

# Respuesta de *Melinis minutiflora* a la inoculación con hongos micorrícico arbusculares en un Inceptisol de Colombia

## Response of *Melinis minutiflora* to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi in an Inceptisol of Colombia

Lyda Minelly Zárate Quiroga<sup>1</sup>; Marina Sánchez de Prager<sup>2</sup>; Edmundo Barrios<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Universidad Nacional de Colombia. AA 237, Palmira. Valle del Cauca, Colombia.

<sup>3</sup> Biol. Ph D. Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) Institute of CIAT, AA 6713, Cali. Valle del Cauca, Colombia.

Autor para correspondencia: lmzarateq@unal.edu.co

Rec.:24-11-08    Acept.: 19-10-09

### Resumen

En un invernadero del Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Cali (Colombia) se evaluó la aplicación de cinco inóculos de hongos micorrícico arbusculares, HMA: *Kuklospora colombiana*, *Gigaspora margarita*, *Glomus manihotis* y la mezcla de estos con y sin esterilización, en sustrato sin desinfectar (SD) y desinfectado (D) sobre variables de rendimiento (biomasa aérea y radical, longitud radical), colonización por HMA y concentración foliar de nutrientes en la gramínea *Melinis minutiflora* Beauv., con el objetivo de seleccionar los inóculos más eficientes. Se utilizaron como unidades experimentales materos de 13.5 x 16.0 x 14.0 cm. El sustrato empleado fue suelo procedente de un Inceptisol con baja disponibilidad de nutrientes, tamizado y mezclado con arena. Los inóculos de *Gi. margarita* y *Gl. manihotis* presentaron los mejores resultados en la acumulación de biomasa aérea y radical, longitud radical, porcentaje de colonización micorrícica y concentración de elementos. *Kuklospora colombiana* presentó efectos inhibitorios sobre las variables evaluadas. La condición del sustrato SD favoreció la acumulación de biomasa aérea y radical y la concentración de fósforo (P) en la biomasa aérea, además, estimuló la longitud radical de *M. minutiflora*. La concentración de N, K, Ca y Mg en la biomasa aérea fue mayor en el sustrato D. Los resultados muestran que *Melinis minutiflora* con inoculación HMA es promisorio para la recuperación de suelos degradados.

**Palabra clave:** *Kuklospora colombiana*, *Gigaspora margarita*, *Glomus manihotis*, *Melinis minutiflora*, Inceptisol, micorrizas arbusculares vesiculares.

### Abstract

The effect of five inocula of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on the grass *Melinis minutiflora* Beauv. was investigated under greenhouse conditions at the International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia, with the aim of selecting the most efficient AMF inocula. Non-disinfected (ND) and disinfected (D) substrates were studied. Inocula were: *Kuklospora colombiana*, *Gigaspora margarita*, *Glomus manihotis* and a mixture of those three species of AMF with and without sterilization. Yield parameters were aerial and radical biomass, root length, mycorrhizal colonization and N, P, K, Ca, and

1 Bióloga, M.Sc. Ph.D. en Ciencias Agropecuarias

2 Ing. Agrónoma, M.Sc. Ph.D. Profesora Asociada

3 Biólogo, Ph.D.

Mg concentrations in the aerial biomass. Pots measuring 13.5 x 8.0 x 14.0 cm were used as experimental units. Inceptisol soil, with low nutrient availability, previously sieved and mixed with sand was used as substrate. *Gi. margarita* and *Gl. manihotis* inocula showed the best results in the accumulation of aerial and root biomass, root length, mycorrhizal colonization and concentration of elements in the aerial biomass, while *Ku. colombiana* presented inhibitory effects on the variables evaluated. ND substrate condition increased accumulation of aerial and radical biomass and P concentration in the aerial biomass, also stimulated root length of *M. minutiflora*. Aerial biomass had higher concentrations of N, K, Ca, and Mg in D substrate. *Melinis minutiflora* is a promising grass species for rehabilitation of degraded soils in combination with arbuscular mycorrhizal fungi inoculation.

**Key words:** *Kuklospora colombiana*, *Gigaspora margarita*, *Glomus manihotis*, *Melinis minutiflora*, vesicular arbuscular micorrhizae.

## Introducción

En procesos de rehabilitación de áreas degradadas los hongos micorrízico arbusculares (HMA) nativos e introducidos en combinación con coberturas vegetales, pueden contribuir a generar un mayor impacto benéfico (Silveira, 1992). Sin embargo, los efectos pueden variar en razón de la diversidad funcional que presentan las diferentes especies de HMA para desempeñar su labor (Brundett, 2000; Marschner, 1995) y sugieren la existencia de cierto grado de selectividad entre HMA y hospedero en condiciones particulares de suelo (Caldeira et al., 1983) lo cual es denominado por Siqueira y Franco (1988) como 'habilidad discriminatoria' de los HMA.

El programa Manejo de Suelos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ha evaluado y explorado algunas especies vegetales y prácticas de manejo del suelo para rehabilitar áreas degradadas y controlar la erosión en zonas de ladera del municipio de Caldon, departamento del Cauca, Colombia, investigando el papel que desempeñan los barbechos, los efectos de las plantas hospederas de HMA y la influencia del micelio externo de HMA en las propiedades físicas del suelo (Torres, 2000).

*Melinis minutiflora* es originaria de África y actualmente se encuentra en América del Sur, América Central, el Caribe y partes de la India (Cornell, 2008). A Colombia fue introducida en 1906 (Pérez, 1996) y se le conoce con el nombre común de pasto yaraguá. Si bien la condición micotrófica de la especie ya ha sido registrada (Gomide y Zometa, 1978), Reyes (2001) lo confirmó para las condiciones

del departamento del Cauca (Colombia) donde esta gramínea constituye pasturas naturalizadas (Filipe, 1997). La FAO (2008) la considera una especie valiosa en razón de su fácil establecimiento y su capacidad productiva, de aceptable valor nutritivo y de su empleo para conservación de suelos en laderas escarpadas con suelos pobres. Zárate (2007) encontró una importante participación de su sistema radical junto con el micelio externo de los HMA en el mejoramiento de la estructura del suelo. Estas condiciones resaltan la importancia tanto comercial como ambiental de la especie y su inclusión en planes de manejo y conservación de suelos.

Considerando que existe la necesidad de investigar el potencial de especies individuales de HMA con el fin de seleccionar inoculantes específicos en planes de restauración y/o reducción de la erosión del suelo (Dodd, 1994), el Programa Manejo de Suelos del CIAT se planteó como objetivo en este trabajo seleccionar los inóculos de HMA más eficientes en el rendimiento de *M. minutiflora*, a través de la evaluación de los efectos de la inoculación de tres especies de HMA en la longitud y las biomasa aérea y radical, en un periodo de noventa días, además, analizar el comportamiento de los HMA mediante el porcentaje de colonización micorrízica y su efecto en la concentración de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en la biomasa aérea.

## Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en un invernadero del CIAT (Cali, Valle del Cauca, Colombia) entre septiembre de 2004 y agosto de 2005. Se utilizó un Inceptisol (IGAC, 1979),

franco, pH = 5.2, 16.7% de MO, N-total = 6575 ppm, P-Bray II = 0.8 ppm, K = 0.31, Ca = 1.89, Mg = 0.74, Al = 0.52 meq/100g de la vereda Pescador, municipio de Caldoño (2° 48' N, 76° 33' O y a 1500 m.s.n.m.), departamento del Cauca (CIAT, 2000).

Las semillas de *M. minutiflora* utilizadas en el ensayo fueron recolectadas de pasturas naturalizadas en la vereda antes mencionada, se desinfectaron (hipoclorito de sodio 10% por 5 min) y pregerminadas en arena esterilizada antes de su siembra en los materos. El inóculo de HMA empleado fue de suelo con esporas procedente de la colección de micorrizas del CIAT. Los materos usados como unidades experimentales (UE) medían 13.5 x 16.0 x 14.0 cm. El sustrato empleado se obtuvo de la mezcla de suelo tamizado en malla de 2 mm más arena en proporción 2:1 (p/p) (Thomas et al., 1993), el cual fue desinfectado durante 15 días con 60 g/m<sup>3</sup> de Basamid (tetrahidro-3,5-dimetil-2H-1,3,5-tiadiazina-2-tiona), según lo propuesto por Reyes (2001).

El arreglo de las unidades experimentales se llevó a cabo al finalizar el proceso de desinfección del sustrato. Los materos se llenaron hasta 2/3 partes de su capacidad, luego se depositó el inóculo de HMA (700 esporas por cada UE) antes de completar el llenado. El sustrato se humedeció a capacidad de campo (22%) y al día siguiente se sembraron 4 plantas de 3 semanas de edad por matero.

El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas con 4 repeticiones. La parcela principal resultó de un factorial 2 x 5, así, dos condiciones de sustrato: sin desinfectar (SD) y desinfectado (D) y cinco inóculos de HMA: *Kuklospora colombiana* (KCLB) Oehl y Sieverding (2006), *Gigaspora margarita* (GMRG) W.N. Becker y I. R. Hall (1976), *Glo-mus manihotis* (LMNH) R.H. Howeler, Siever y N.C. Schenck (1984), mezcla de las tres especies de HMA sin esterilizar (Mezcla) y mezcla esterilizada (O). Las subparcelas fueron los tiempos de muestreo (1, 2 y 3 correspondientes a 30, 60 y 90 días respectivamente).

Después de 30, 60 y 90 días de la siembra se determinó la longitud radical (LR, expresada en metros por unidad experimental, m/UE) previa separación y lavado de las

raíces, utilizando un Comair Root Length Scanner (Commonwealth Aircraft Corp. Ltd, Melbourne, Australia) y se evaluaron gravimétricamente la biomasa aérea (BA) y radical (BR) posterior al secado a 60 °C por 48 h, los resultados se expresan en gramos por unidad experimental, g/UE. Se estimó la colonización micorrícica (expresada como % de colonización) utilizando el método de tinción de raíces según Sieverding (1983) y la cuantificación del porcentaje de colonización por HMA según método de Allen y Allen (Sieverding, 1983). A los 90 días se determinó la concentración de N (semimicro Kjeldahl, digestión con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), P (digestión con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y K, Ca y Mg (digestión nitro-perclórica) en la BA. Los datos se analizaron en el programa SAS (SAS Institute Inc. 1998-2000), se llevaron a cabo pruebas de normalidad, ANOVA, pruebas de Duncan y análisis de correlación entre las variables.

## Resultados

### Efecto de la inoculación en la producción de biomasa

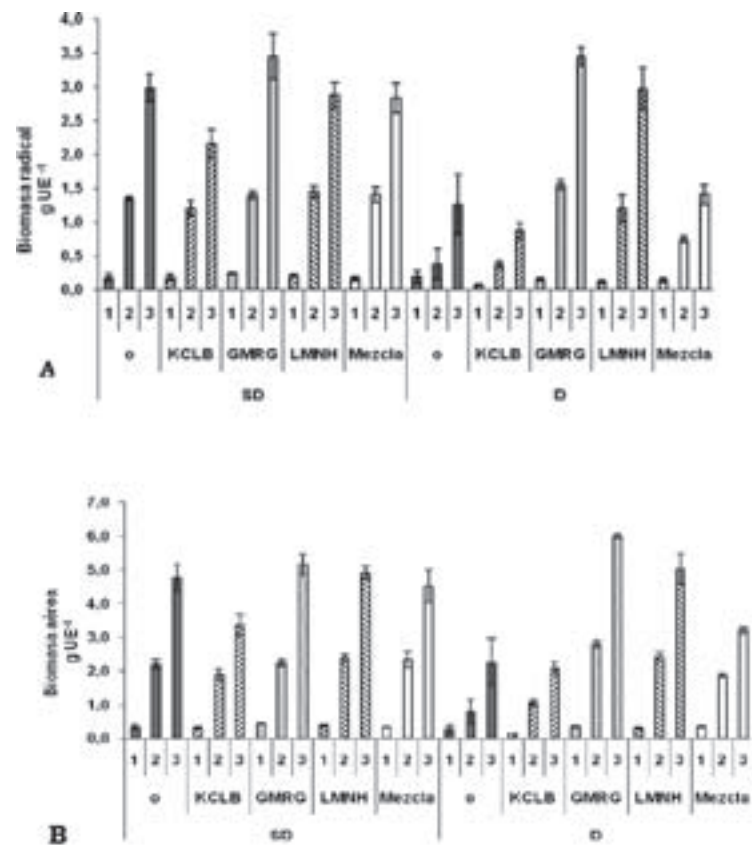
El análisis de varianza (Cuadro 1) mostró diferencias altamente significativas en BA y BR por efecto de la inoculación con HMA, condición del sustrato, tiempo de evaluación e interacciones. El promedio general de BA en el tiempo de evaluación se incrementó gradualmente a partir de los 30 días. Los factores individuales en la BA mostraron que la condición del sustrato sin desinfectar (SD) favoreció la acumulación de BA en *M. minutiflora* en 20% respecto a sustrato desinfectado (D). La mayor acumulación de BA ocurrió en las plantas inoculadas con GMRG (*Gi. margarita*) con 2.8 g/UE, y la menor en KCLB (*Ku. colombiana*) con 1.5 g/UE (P < 0.05) (Figura 1A).

La condición SD incrementó en 50% la acumulación promedio general de BR. GMRG presentó el mayor valor, 1.7 g/UE; y, en el tiempo, la variable se incrementó hasta alcanzar 2.4 g/UE en el tercer muestreo (P < 0.05) (Figura 1B). La correlación positiva y altamente significativa (P < 0.01) de la BA y BR confirmó que en el tiempo los incrementos de BA fueron acompañados por incrementos en BR (r = 0.86, 0.92 y 0.94 en tiempos 1, 2 y 3 respectivamente).

**Cuadro 1.** Análisis de varianza de biomasa aérea y radical, longitud radical y colonización micorrícica en *M. minutiflora*.

Fuente de variación	Gl	Cuadrados medios			
		Biomasa aérea (g/UE)	Biomasa Radical (g/UE)	Longitud Radical (m UE <sup>-1</sup> )	Colonización micorrícica (%)
Repetición (R)	3	1.536*	0.827*	2128.916 ns	203.632 ns
Condición de sustrato (S)	1	5.883**	6.878**	0.382 ns	2887.868*
Inóculo (I)	4	7.464**	3.034**	4939.661*	2732.446**
S x I	4	2.854**	1.046**	5873.341*	846.411**
Tiempo (T)	2	146.235**	51.532**	197533.120**	889.656**
S x T	2	1.379**	1.646**	5371.399**	454.075*
I x T	8	2.486**	1.143**	2363.455*	194.603 ns
S x I x T	8	0.908**	0.413**	3297.050**	524.465**
Promedio		2.150	1.233	100.575	38.539
Coefficiente de Variación		17.793	21.543	30.314	29.412

\*significativo (P < 0.05), \*\* altamente significativo (P < 0.01), ns: no significativo.

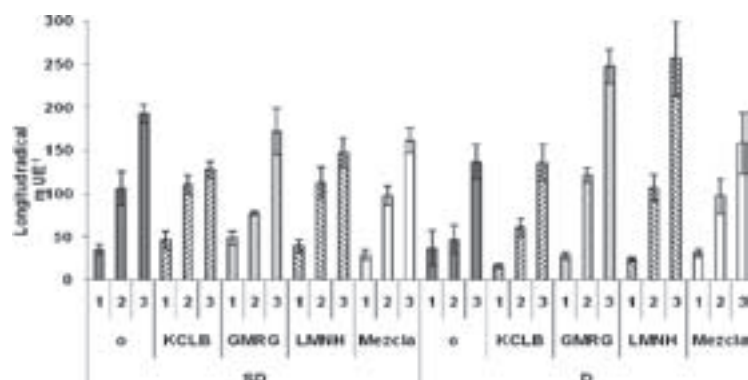


**Figura 1.** A = Biomasa aérea y B = Biomasa radical de *M. minutiflora* resultado de la interacción sustrato, inóculo de HMA y tiempo de evaluación. Barras indican error estándar. P < 0.05.

### Efecto sobre la longitud radical

En la longitud radical (LR) se encontraron diferencias significativas para inóculo de HMA y la interacción inóculo – condición del sustrato y diferencias altamente significativas en relación con el tiempo de evaluación, y la interacción de este factor con la condición del

sustrato y los inóculos de HMA (Cuadro 1). Los factores individuales mostraron que LR se incrementó en el tiempo y que los inóculos LMNH y GMRG en el sustrato D estimularon el crecimiento radical alcanzando al final del ensayo 256.9 y 247.4 m/UE respectivamente (P < 0.05) (Figura 2). En contraste, en el sus-



**Figura 2.** Efecto del sustrato, inóculo de HMA y tiempo de evaluación en la longitud radical de *M. minutiflora*. Barras indican error estándar.  $P < 0.05$ .

trato SD fueron los HMA nativos (SD+o) los que favorecieron el incremento en la longitud radical (193.2 m/UE).

#### Efecto sobre la nutrición de *M. minutiflora*

La condición del sustrato, además de influir en la BA, BR y LR, incidió en la concentración de nutrientes (Cuadro 2). Para los inóculos de HMA evaluados la concentración de N, K, Ca y Mg en la BA fue mayor en el sustrato D y el P, en el sustrato SD. Los efectos de los tratamientos en las concentraciones de P en la BA presentaron correlación positiva y significativa ( $P < 0.05$ ) con la colonización micorrícica (COL) ( $r = 0.32$ ) y, a su vez, ésta con las BA y BR presentó correlación significativa ( $P < 0.05$ ) y positiva en el segundo ( $r = 0.41, 0.38$ ) y tercer muestreo ( $r = 0.37, 0.39$ ). De otro lado, los contenidos de N y Mg presen-

taron una correlación significativa y negativa con la colonización ( $r = -0.51$  y  $-0.54$ , N y Mg respectivamente).

#### Efecto sobre la colonización micorrícica

El porcentaje de COL presentó diferencias significativas para la condición del sustrato y altamente significativas para inóculo, época de muestreo y las interacciones sustrato - inóculo y sustrato - inóculo - tiempo (Cuadro 1). La condición del sustrato SD estimuló la colonización micorrícica para todos los inóculos evaluados. Sin embargo, LMNH expresó el más alto potencial de micorrización en las dos condiciones del sustrato. El proceso de desinfección aplicado al suelo redujo casi en su totalidad la actividad de los HMA nativos (D + o) (Cuadro 3).

**Cuadro 2.** Concentración de nutrientes (mg/g) en la biomasa aérea (BA) de *M. minutiflora* noventa días después de la siembra.

Tratamiento	mg/g					g/UE (BA)
	N	P	K	Ca	Mg	
SD + o	10.1	0.4	11.7	1.7	1.5	4.8
SD + KCLB	12.1	0.7	12.8	2.0	1.7	3.4
SD + GMRG	9.8	0.4	11.6	1.4	1.3	5.2
SD + LMNH	8.9	0.8	13.4	1.9	1.4	4.9
SD + Mezcla	11.0	0.6	14.5	1.6	1.5	4.5
D + o	21.2	0.4	14.1	1.9	2.2	2.3
D + KCLB	24.9	0.6	18.2	2.5	2.0	2.1
D + GMRG	14.9	0.4	15.9	1.8	1.5	6.0
D + LMNH	16.4	0.4	18.0	2.1	1.6	5.0
D + Mezcla	21.4	0.4	20.3	2.2	1.9	3.2

SD: sin desinfectar, D: desinfectado. KCLB: *Kuklospora colombiana*, GMRG: *Gigaspora margarita*, LMNH: *Glomus manihotis*, Mezcla: mezcla de HMA anteriores y o: mezcla de HMA esterilizados.

**Cuadro 3.** Porcentaje de colonización micorrícica (COL) en *M. minutiflora*. Promedio general de los tres tiempos de muestreo.

sustrato	COL (%), según inóculo de HMA				
	o	KCLB	GMRG	LMNH	Mezcla
SD	37	39	44	49	47
D	9	26	38	52	43

SD: sin desinfectar, D: desinfectado. KCLB: *Kuklospora colombiana*, GMRG: *Gigaspora margarita*, LMNH: *Glomus manihotis*, Mezcla: mezcla de HMA anteriores y o: mezcla de HMA esterilizados.

## Discusión

Los valores registrados en la BA y BR permitieron establecer la siguiente secuencia general por acción de los micosimbiontes en las condiciones de sustrato, SD: RG > LMNH > Mezcla > o > KCLB; y D: GMRG > LMNH > O > Mezcla > KCLB. Las BA y BR sugieren que en el sustrato D se expresaron particularmente el potencial de los HMA inoculados individualmente, y en SD los procesos de interacción entre HMA inoculados y nativos. Así, GMRG presentó los mejores resultados en cuanto a su capacidad de estimular la acumulación de biomasa en *M. minutiflora*. En contraste, KCLB en los dos sustratos evaluados presentó una respuesta inhibitoria en la acumulación de biomasa tanto aérea como radical, al presentar valores por debajo del tratamiento con el sustrato desinfectado e inoculado con un inóculo esterilizado (D + O) que para efectos de la inoculación actúa como un testigo absoluto. En *B. decumbens* también se han encontrado efectos negativos en la acumulación de biomasa en plantas inoculadas con HMA del género *Glomus* (Sosa et al., 2006). Los resultados mostraron evidencia de cómo la actividad de los HMA nativos permitió superar los efectos antagónicos o de competencia que resultan de la mezcla de las tres especies de HMA (SD + Mezcla vs. D + Mezcla), cuya respuesta en el sustrato D fue inhibitoria.

La acumulación de biomasa en *M. minutiflora* para todos los inóculos evaluados, fue mayor en la parte aérea, resultado que coincide con los registrados por Filipe (1997) para la misma especie en condiciones de campo, pero difiere de los encontrados por Reyes (2001) para este hospedero. Los contrastes en la proporción de distribución de la biomasa entre la parte aérea y la raíz pueden tener su

origen en la presencia de diferentes especies y/o comunidades de HMA (Silveira, 1992) y la respuesta del hospedero a dichos cambios en condiciones particulares del suelo.

La respuesta de la LR mostró una tendencia similar que la BA y BR, en relación con los inóculos que estimularon la variable (Figura 2), así, GMRG y LMNH estimularon la longitud del sistema radical de *M. minutiflora* y KCLB presentó una respuesta inhibitoria. Además, se encontraron correlaciones altamente significativa ( $P < 0.01$ ) y positiva entre BA y BR y la LR durante el ensayo ( $r = 0.71, 0.70, 0.58$  y  $0.81, 0.70, 0.58$  en los tiempos 1, 2 y 3 para BA y BR respectivamente).

Las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg encontradas en la biomasa aérea de *M. minutiflora* están dentro de valores antes registrados para la especie (Primavesi, 1982; Gomide y Zometa, 1978; Caldeira et al., 1983; Filipe, 1997). Con base en la acumulación de BA se encontró que los tratamientos con un valor >3.2 g/UE presentaron la siguiente relación entre los elementos evaluados: K > N > Ca > Mg > P; cuando el valor fue igual o menor a éste, la relación fue: N > K > Ca > Mg > P (Cuadro 2). Laredo (1985) y Reyes (2001) encontraron que K > N cuando las plantas tienen más de 40 días de edad, en tanto que en etapas más tempranas la relación es inversa. Los resultados mostraron que la inversión estuvo asociada con la acumulación de BA más que con la edad.

La mayor concentración de P en la condición de sustrato SD coincide con los resultados obtenidos por Schweiger et al. (2000) al comparar plantas creciendo en suelos fumigados y no fumigados, y sugiere que en la dinámica de este elemento es importante la interacción de los efectos de las HMA con la actividad de toda la población microbiana nativa del suelo intensificada por el efecto micorrizosfera (Sánchez, 2007), más aún, si se considera la baja fertilidad del suelo empleado en este estudio. En relación con las respuestas registradas en el sustrato D, es importante mencionar que procesos de esterilización pueden provocar cambios en la disponibilidad de N, Mn y K (Russell y Russell, 1964; Sánchez, 1999; Torres, 2000) y afectar por esta vía la respuesta de los HMA y la planta hospedera.

*Melinis minutiflora* mostró un marcado contraste entre la concentración de elementos en la BA y la acumulación de biomasa para los inóculos evaluados (Cuadro 2), lo cual es evidente en la correlación altamente significativa ( $P < 0.01$ ) y negativa entre los contenidos de N, Ca y Mg y la BA ( $r = 0.65, -0.55, -0.80$  con N, Ca y Mg respectivamente). Primavesi (1982) y Siqueira y Franco (1988) explican en parte este fenómeno por el efecto de dilución que se genera cuando se produce un crecimiento acelerado de la planta. De otro lado, Smith y Read (1997) sostienen que incrementos en la concentración de nutrientes y respuesta negativa en el crecimiento de las plantas micorrizadas es evidencia directa de plantas con limitaciones por C más que por nutrientes. Por su parte Primavesi (1982) afirma que niveles muy altos de nutrientes en el tejido vegetal no se pueden tomar como señal de óptima nutrición. Los resultados obtenidos difieren de los registrados por Caldeira et al. (1983) quienes encontraron que las especies de HMA que indujeron mayor acumulación de BA en *M. minutiflora*, también aumentaron la concentración de nutrientes.

Los resultados sugieren que no es posible relacionar de manera directa la COL y la efectividad de la simbiosis, pues, si bien KCLB no presentó los menores porcentajes de colonización, las respuestas registradas en los tratamientos donde se inoculó fueron de tipo inhibitorias, en contraste, el inóculo 'O' mostró los menores porcentajes de COL y sus resultados tuvieron valores intermedios. Se necesitan estudios a largo plazo para evaluar otro tipo de efectos, por ej., no nutricionales asociados con la presencia de la simbiosis micorrícica que pueden tener impacto positivo en el establecimiento de la especie hospedera. Los porcentajes de colonización micorrícica registrados en *M. minutiflora* son similares a los encontrados por Posada (2006) en pasturas de *Brachiaria* sp. en condiciones de campo, pero inferiores a los registrados por Caldeira et al. (1983) para *M. minutiflora* en suelos de Brasil.

### Conclusiones

- La condición del sustrato SD favoreció la acumulación de biomasa aérea y radical

y la concentración de P en la BA, además estimuló la longitud radical de *M. minutiflora*.

- *Kuklospora colombiana* presentó efectos inhibitorios sobre las variables evaluadas.
- Considerando los resultados presentados en la BA, BR, LR, COL y concentración de elementos, los inóculos de *Gi. margarita* (GMRG) seguido de *Gl. manihotis* (LMNH) se podrían sugerir para *M. minutiflora*, si se considera su utilización en planes de rehabilitación de pasturas en la zona de Pescador, Cauca, o en sitios con suelos de características similares al Inceptisol utilizado en este ensayo, sin embargo, no se debe desestimar el potencial de los HMA nativos.

### Agradecimientos

El artículo se derivó de la Tesis de Maestría de L. M. Zárate adelantada en cooperación entre el Proyecto Manejo de Suelos del Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Cali, Colombia y la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Los autores también reconocen los valiosos aportes del doctor. Luis Martín Caballero, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

### Referencias

- Becker W. N., Hall I.R. 1976. Global Name Index. (online). [http://www.globalnames.org/name\\_strings?search\\_term=Gigaspora+margarita&commit=Search](http://www.globalnames.org/name_strings?search_term=Gigaspora+margarita&commit=Search). Consultado 15 de enero de 2009.
- Brundett, M. 2000. CSIRO Forestry and Forest Products. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR). En: [www.ffp.csiro.au/research/mycorrhiza](http://www.ffp.csiro.au/research/mycorrhiza) (fecha de consulta: 20 de noviembre 2005.)
- Caldeira, S. F.; Chaves, G. M.; y Zambolim, L. 1983. Associação de micorriza vesicular-arbuscular com café; limão-rosa e capim-gordura. Pesq. Agropec. Bras. 18 (3): 223-228.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Annual report 2000. Project PE-2. Overcoming Soil Degradation through Productivity Enhancement and Natural Resource Conservation. s.p.

- Cornell University. 2008. Treating Livestock with Medicinal Plants: Beneficial or Toxic?. *Melinis minutiflora*. <http://www.ansci.cornell.edu/plants/medicinal/melinis.html> Consultado 10 de diciembre de 2008.
- Dodd, J. C. 1994. Approaches to the study of the extraradical mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi. En: Gianinazzi S.; Schuepp H. (eds.). Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems. Birkhäuser Verlag, Basilea, Suiza. p 147-166
- FAO. 2008. A97 *Melinis minutiflora* Beauv. (online). [www.fao.org/AG/aga/AGAP/FRG/AFRIS/es/Data/116.HTM](http://www.fao.org/AG/aga/AGAP/FRG/AFRIS/es/Data/116.HTM) Consultado 26 de noviembre de 2008.
- Filipe, D. 1997. Shoot and Root Attributes of Introduced and Naturalized Pastures in a Volcanic-ash soil of the Andean Hillsides (Department of Cauca; Colombia). CIAT, Faculté des Sciences et Technologie Université Paris XII Val-de-Marne. Paris, France. p 1-39.
- Gomide, J. A. y Zometa, A. T. 1978. Composición mineral de los forrajes cultivados bajo condiciones tropicales. En: McDowell L.R. y Conrad J.H. (eds.). Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los Rumiantes en Pastoreo. Belo Horizonte, Brasil, 1976. Memorias de la Conferencia. University of Florida, Gainesville, FL, USA. p 39-46.
- Howeler R. H., Siever y Schenck N. C. 1984. Global Name Index. (online). [http://www.globalnames.org/name\\_strings?search\\_term=Glomus+manihotis&commit=Search](http://www.globalnames.org/name_strings?search_term=Glomus+manihotis&commit=Search) Consultado 15 de enero de 2009.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1979. Estudio General de los Suelos de los Municipios de Santander de Quilichao; Piendamó; Morales; Buenos Aires; Cajibío y Caldonó (Departamento del Cauca). Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia. 95 p.
- Laredo, M. A. 1985. Tabla de contenido nutricional en pastos y forrajes de Colombia. Ministerio de Agricultura, Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. Bogotá, Colombia. 63 p.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. London, UK. p. 537 – 595.
- Oehl, F., Sieverding E. 2006. Global Name Index. (online). [http://www.globalnames.org/name\\_strings?page=2&search\\_term=ns%3AKUK\\*](http://www.globalnames.org/name_strings?page=2&search_term=ns%3AKUK*). Consultado 15 de enero de 2009.
- Pérez, E. 1996. Plantas útiles de Colombia. Quinta edición. Fondo FEN Colombia. Bogotá, Colombia. 831 p.
- Posada A., R.H.; Franco C., L.A.; y Medina G., E. 2006. El tiempo de establecimiento de pasturas y su relación con la micorriza arbuscular en paisajes de loma y vega. Acta biol. Colomb. [online]. Vol.11 supl.1 [citado 11 enero 2009], .55-64. Disponible en la World Wide Web: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-548X2006000300004&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2006000300004&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0120-548X.
- Primavesi, A. 1982. Manejo Ecológico del Suelo. Quinta Edición. Editorial el Ateneo. Buenos Aires, Argentina. 499 p.
- Reyes, J. T. 2001. Micelio externo de hongos micorrícicos arbusculares y su potencial influencia en la recuperación de suelos degradados en laderas del Cauca; Colombia. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Palmira, Valle del Cauca, Colombia. 88 p.
- Rusell E. J. y Rusell E. W. 1964. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. Ed. Aguilar. España. 771 p.
- Sánchez, M. 1999. Endomicorrizas en agroecosistemas colombianos. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Valle del Cauca, Colombia. p 31-89
- Sánchez, P. M. de (ed.). 2007. Las endomicorrizas: expresión biodáfica de importancia en el trópico. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Editorial Feriva. Cali, Valle del Cauca, Colombia. 351p
- SAS Institute Inc. 199-2000. SAS User's Guide: Statistics. Release 8.1. SAS Institute. Cary, N.C. USA.
- Schweiger, P. y Jakobsen, I. 2000. Laboratory and field methods for measurement of hyphal uptake of nutrients in soil. Plant Soil. 226 (2): 237-244.
- Sieverding, E. 1983. Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo – arbuscular en el laboratorio. CIAT, Cali, Colombia. s.p.



- Silveira, A. 1992. Micorrizas. En: Cardoso, E.; Tsai, S.; y Neves, M C (eds.). Microbiología do solo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo. P. 257-282.
- Siqueira, J. O. y Franco, A. A. 1988. Biotecnología do solo: Fundamentos e Perspectivas. Ministério da Educação (MEC), Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão (FAEPE), Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior (ABEAS). Brasília D.F, Brazil. 236 p.
- Smith, S.E., Read, D.J. 1997. Mycorrhizal symbiosis. Academic Press. Londres. p 9-126.
- Sosa R., T.; Sánchez N., J.; Morales G., E.; y Cruz C., F. 2006. Interacción micorrizas arbusculares-*Trichoderma harzianum* (Moniliaceae) y efectos sobre el crecimiento de *Brachiaria decumbens* (Poaceae). *Acta biol. Colomb.* [online]. Vol.11, no.1 [citado 11 Febrero 2009], p.43- Disponible en la World Wide Web: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-548X2006000100004&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2006000100004&lng=es&nrm=iso)>.
- Thomas, R. S.; Franson, R. L.; y Bethlenfalvay, G. J. 1993. Separation of vesicular – arbuscular mycorrhizal fungi and root effects on soil aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:77-81.
- Torres, R. 2000. El papel del micelio externo de hongos que forman micorrizas arbuscular asociado a barbechos mejorados en suelos degradados de ladera de pescador (Cauca). Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Palmira, Colombia. 89 p.
- Zárate, L. M.; Barrios, E.; Sánchez, M.; y Caballero, L. M. 2007. Participación del micelio externo de hongos micorrízico arbusculares en la formación de agregados estables al agua en suelos de ladera con influencia de cenizas volcánicas. *Suelos Ecuatoriales.* 37(1):75-80.

# Caracterización de la diversidad genética en naranja y comparación del polimorfismo de microsatélites amplificados al azar (RAMs) usando electroforesis de poliacrilamida y agarosa

Characterization of the genetic diversity in orange, and comparison of polymorphism in randomly-amplified microsatellites (RAMs), using polyacrylamide and agarose electrophoresis

Ana Cruz Morillo Coronado<sup>1</sup>, Yacenia Morillo Coronado<sup>1</sup>, Yamilet Chagüeza Villarreal<sup>1</sup>, Álvaro Caicedo Arana<sup>2</sup>, Juan Jaramillo Vásquez<sup>2</sup>, Oscar Julián Muñoz Rivera<sup>2</sup>, Alba Lucía Arcos<sup>1</sup>, Herney Darío Vásquez Amariles, Jaime Eduardo Muñoz Flores<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia. AA 237. Palmira, Valle del Cauca, Colombia. <sup>2</sup>Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Corpoica, Colombia. Autor para correspondencia: jemunozf@palmira.unal.edu.co, yaceniamic@yahoo.es

Rec.:02-07-09 Acept.:13-10-09

## Resumen

Se compararon las eficiencias de tres métodos de electroforesis en agarosa y poliacrilamida, usando la cámara pequeña de DNA Sequencing System y cámara grande OWL Sequi-Gen Sequencing Cell, en la detección del polimorfismo en 21 accesiones de naranja (*Citrus sinensis*) con empleo del cebador CGA. El gel de poliacrilamida dio mejor resolución de los productos amplificados vía PCR producidos por RAMs. Este permitió una mejor detección de bandas de ADN polimórficas, lo que facilitó la identificación de la variabilidad genética. La electroforesis en agarosa puede ser más conveniente en otras aplicaciones, debido al bajo costo y fácil aplicación. El estudio de diversidad genética en naranja usando microsatélites RAMs diferenció 51 accesiones en siete grupos con 0.75 de similaridad y 0.25 de heterocigosidad, lo que revela bajo polimorfismo genético. La técnica RAMs permitió agrupar las accesiones en Comunes o Blancas, Navel y Pigmentadas o Sanguinas.

**Palabras clave:** *Citrus sinensis*, electroforesis, agarosa, poliacrilamida, RAMs.

## Abstract

We compared the efficiency of three methods of agarose and polyacrylamide electrophoresis (using the small tank of the DNA Sequencing System and the large OWL Sequi-Gen Sequencing Cell), for the de-

1 Ing. Agrónoma, Ph.D. en Fitomejoramiento y Producción de Semilla.

2 Ing. Agrónoma, Ph.D. en Fitomejoramiento y Producción de Semilla.

3 Ing. Agrónoma.

4 Ing. Agrónomo, M.Sc. en Citricultura.

5 Ing. Agrónomo, M.Sc. en Genética y Mejoramiento de Plantas, Ph.D. en Horticultura.

6 Biólogo, Especialización en Microbiología.

7 Ing. Agrónoma, M.Sc. en Fitomejoramiento

8 Ing. Agrónomo, Especialización en Fruticultura Cítrico

9 Ing. Agrónomo, M.Sc. Ph.D. en Ciencias Agrarias con énfasis en Mejoramiento Vegetal.

tection of polymorphism in 21 accessions of orange (*Citrus sinensis*), using the primer CGA. The polyacrylamide gel gave better resolution of the PCR-amplified RAM products. This method allowed better detection of polymorphic DNA bands, facilitating the identification of genetic variability. The agarose electrophoresis may be more convenient in other applications, due to its low cost and easy implementation. The study of genetic diversity in orange using RAMs separated 51 accessions into seven groups with 0.75 similarity, and 0.25 heterozygosity, revealing low genetic polymorphism. The RAMs technique grouped the accessions into “Common or White”, “Navel” and “Pigmented or “Sanguine”.

**Key words:** *Citrus sinensis*, electrophoresis, agarose, polyacrylamide, RAMs.

## Introducción

El género *Citrus* ( $2n = 18$ ) es nativo del sudeste de Asia y del archipiélago indo-malayo (Avilán et al., 1989), contiene la mandarina *Citrus reticulata*, limón *C. medica* y pomelo *C. maxima* los cuales son los ancestros de las especies comerciales. La apomixis facultativa es predominante en *C. reticulata* y ha sido determinante en la evolución de *Citrus*.

Los cítricos son producidos en zonas subtropicales y tropicales, sus frutas son consumidas cada día por millones de personas alrededor del mundo, la naranja *Citrus sinensis* L. Osbeck es la especie más representativa y reconocible de este grupo. Se originó en el sureste asiático y su híbrido característico parece provenir de un cruce entre mandarina *Citrus reticulata* y pomelo *Citrus grandis* L. Osbeck (Davies y Albrigo, 1992; Nicolosi et al., 2000).

La caracterización de los bancos de germoplasma, la variación genética y el mejoramiento en naranjas y otras especies de *Citrus* no han sido exitosos debido a las características relacionadas con la biología reproductiva de estas especies, por ejemplo, alta fertilidad interespecífica, reproducción apomíctica, poliembrionía, una larga fase juvenil y la escasez de marcadores de ADN polimórficos (Bretó et al., 2001; Corazza-Nunes et al., 2002).

El mejoramiento genético de los cítricos mediante métodos convencionales se encuentra limitado debido a sus características genéticas y reproductivas. Los cítricos tienen un sistema de reproducción complejo, con muchos casos de esterilidad y de inter y autocompatibilidad, apomixis, elevada heterocigosis y la mayoría de las especies presentan un prolongado período juvenil. Además, se desconoce el modo de herencia de la mayor

parte de caracteres agronómicos de interés (Grosser y Gmitter, 1990).

Las técnicas biotecnológicas tales como el cultivo de tejidos y de células y la biología molecular han ayudado a los mejoradores a sobrellevar estas dificultades. Además, la hibridación a través de la fusión de protoplastos y la transformación genética han contribuido significativamente a superar estas limitaciones (Mendes-da-Glória et al., 2000). Las técnicas moleculares han permitido el desarrollo de marcadores de ADN asociados con características de interés, así como el desarrollo del mapa de ligamiento de los cítricos, los cuales han mostrado ser útiles en la realización de una selección temprana en la progenie con los caracteres deseados en programas de mejoramiento clásico (Mendes-da-Glória et al., 2000).

Los marcadores moleculares tales como el polimorfismo en la longitud de los fragmentos de restricción (RFLP), ADN polimórfico amplificado al azar (RAPD), microsatélites e isoenzimas han sido desarrollados para estudiar la diversidad genética y domesticación, establecer mapas moleculares, caracterizar variedades y ayudar en los programas de mejoramiento. Los marcadores microsatélites son simples de usar, son codominantes, tienen alto polimorfismo, y se pueden emplear para esclarecer la diversidad genética en *Citrus* en los niveles interespecífico, intraespecífico e intrapoblacional. La caracterización de marcadores microsatélites ha sido ya publicada en *C. limon* (Golein et al., 2005), *C. sinensis* (Ahmad et al., 2003; Novelli et al., 2006), *C. limonia* x *P. trifoliata* (Kijas et al., 1997) y *C. reticulata* (Koehler-Santos et al., 2003).

Los marcadores moleculares conocidos como los RAMs son útiles para medir la diversidad genética en plantas y animales,

con poder discriminatorio entre familias y especies e igualmente intraespecífico (Muñoz et al., 2008), muestran la base misma de la variación de los individuos, permiten seleccionar regiones concretas dentro de la molécula de ADN para estudios determinados, el número de polimorfismos detectables es teóricamente ilimitado y permiten analizar tanto la información que se expresa como la que no lo hace (Mahuku et al., 2002). Esta metodología es factible en pequeños laboratorios en términos de equipos y facilidades de costo, no requiere el conocimiento previo de secuencias ni el uso de isótopos radioactivos (Hantula et al., 1996). Los marcadores obtenidos por los RAMs se pueden usar igualmente para estudios de poblaciones (Hantula, et al., 1996).

Se han utilizado diferentes métodos para la separación y la detección de fragmentos de ADN amplificado. La electroforesis con geles de poliacrilamida con radioactividad y tinción con plata fue el primer método usado en el análisis de los fragmentos de ADN amplificado por PCR (Cipriani et al., 1999). La electroforesis en geles de agarosa es un método utilizado como alternativa al de poliacrilamida debido a que es más barata y de fácil aplicación (Morgante et al., 2001). Recientemente, se han desarrollado nuevos métodos para el análisis de la PCR de marcadores microsatélites, basados en la utilización de un secuenciador automatizado de electroforesis capilar (Aranzana et al., 2003; Ahmad et al., 2004). Sin embargo, no se ha hecho la comparación de la eficiencia de estos métodos para la separación y análisis de los fragmentos de ADN y las implicaciones en la evaluación de la diversidad y relaciones genéticas.

El objetivo de este trabajo fue estudiar mediante la técnica RAMs la diversidad genética y comparar el polimorfismo de los métodos de electroforesis de poliacrilamida y agarosa utilizados en la caracterización molecular de naranja (*Citrus sinensis*).

### **Materiales y Métodos**

En la caracterización molecular de la diversidad genética se utilizaron 51 accesiones de naranja *C. sinensis* de las 54 del banco de

germoplasma de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Palmira. Para la comparación de los tres métodos de electroforesis se evaluaron 21 accesiones (Cuadro 1). La caracterización molecular se hizo en la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Para la extracción de ADN se utilizó el protocolo de Dellaporta et al (1983).

Los ADN totales se visualizaron en geles de agarosa al 0.8%, teñidos con bromuro de etidio en una cámara Maxicell Primo EC-340 Electroforesis Gel System. Para determinar la concentración de ADN de cada accesión se construyó una curva de dilución con ADN del bacteriófago Lambda, de concentración inicial 20 ng/μl y se llevó a concentraciones finales de 20, 40, 60, 80 y 100 ng/μl. El ADN cuantificado se diluyó en agua tipo HPLC a un volumen total de 100 μl a 10 ng/μl y se almacenó a -20 °C.

Para el análisis RAMs se utilizaron siete cebadores polimórficos (Technologies Inc) (Bonilla et al., 2004; Mahuku et al., 2002; Álvarez et al., 2003) (Cuadro 2). Para estandarizar las condiciones de cada uno de los cebadores se preparó una mezcla de reactivos en un tubo estéril de microcentrifuga (1.5 ml) para un volumen final de 25 μl (Cuadro 3).

La amplificación se llevó a cabo en un termociclador PTC 100 Programmable Thermal Controller (M.J. Research, Inc). La desnaturalización inicial fue a 95 °C durante 5 min; desnaturalización a 95 °C por 30 seg, hibridación a una temperatura de 50 °C (cebador AG y CA), 55 °C (cebador CCA-TG-CT) y 58 °C (cebador GT-CGA) durante 45 seg, una extensión de 72 °C por 2 min, 37 ciclos desde la desnaturalización a extensión y por último, una extensión a 72 °C durante 7 min.

Para la comparación de los métodos de electroforesis se utilizaron 21 de las 51 accesiones de naranjas (Cuadro 1) que fueron evaluadas con el cebador CGA. Los productos amplificados fueron separados en geles de agarosa al 1.2%, a 90 voltios durante 2 h y 30 min en una cámara Maxicell Primo EC-340 Electroforesis Gel System. Posteriormente, se observaron mediante electroforesis en geles de poliacrilamida al 7% a 150 voltios por 1 h en una cámara pequeña de DNA Sequencing

**Cuadro 1.** Accesiones de naranja *Citrus sinensis* L. del Banco de Germoplasma de Corpoica utilizadas para la caracterización molecular con microsatélites RAMs.

Nombre	Sitio de recolección	Tipo de material
Jaffa*	U. California-Riverside	Introducido
Valencia 1-D-E*	U. California-Riverside	Introducido
Valencia Cutter*	Indio-California	Introducido
Galicia*	Finca Galicia-Palmira	Variedad agricultor
Indian River*	U. California-Riverside	Introducido
Joppa*	U. California-Riverside	Introducido
Salerma*	El Bolo-Palmira	Variedad agricultor
Cuban Queen*	U. California-Riverside	Introducido
Valencia Olinda*	Indio-California	Introducido
Sanguinella	Cartagena-Colombia	Introducido
Salustiana*	U. California-Riverside	Introducido
Shamoutti	California	Introducido
Frost Washington	Indio-California	Introducido
Nativa de Chocó*	Juribidó-Chocó	Variedad Agricultor
Old Vini*	U. California-Riverside	Introducido
Lue Gim Gong*	U. California-Riverside	Introducido
Morocco Blood*	California	Introducido
Star Calyx*	C.I.T. Ospina-Antioquia	Introducido
Valencia Frost*	Indio-California	Introducido
Weldon*	C.I.T. Ospina- Antioquia	Introducido
Du Roi*	C.I.T. Ospina- Antioquia	Introducido
Rico*	U. Pto. Rico-Mayaquez	Introducido
Valencia Campbell*	Indio-California	Introducido
Australian Navel*	U. California-Riverside	Introducido
Valencia Variegado	U. Pto. Rico-Mayaquez	Introducido
Wialua	C.I.T. Ospina-Antioquia	Introducido
Homosassa	C.I.T. Ospina-Antioquia	Introducido
Ruby Blood	U. California-Riverside	Introducido
Palmira Ruby	Granja Palmira-Palmira	Variedad Agricultor
Bessie	C.I.T. Ospina-Antioquia	Introducido
Lerma	Finca Lerma-El Bolo-Palmira	Variedad Agricultor
Nave Late	IVIA-Valencia-España	Introducido
Lane Late	U. California-Riverside	Introducido
Pera del Río	Río de Janeiro-Brasil	Introducido
Valle Washington	Granja Palmira-Palmira	Introducido
Valencia Olinda2	IVIA-Valencia-España	Introducido
Lima dulce	San Joaquín-Palmira	Variedad Agricultor
St. Michael	C.I.T. Ospina-Antioquia	Introducido
García Valencia	Finca García-Chodular-Palmira	Variedad Agricultor
Golden Nugget Navel	U. California-Riverside	Introducido
Mediterranean	U. California-Riverside	Introducido
New Hall	IVIA-Valencia-España	Introducido
Enterprise	Desconocido	Introducido
Navelina	IVIA-Valencia-España	Introducido
Cafetera N°1	Zona Cafetera	Variedad Agricultor
Moro Blood	U. California-Riverside	Introducido
Margarita	Mompox	Variedad Agricultor
Valencia Costa Rica	Costa Rica	Introducido
Atwood Navel	U. California-Riverside	Introducido
ICA-Hamlin Nucelar 7	Desconocido	Variedad Mejorada
Pineapple	U. California-Riverside	Introducido

\* Accesiones utilizadas para la comparación entre los tres métodos de electroforesis evaluados.

**Cuadro 2.** Cebadores utilizados en la técnica de microsatélites RAMs.

Cebador	Secuencia (5'a 3')*
CCA	DDB(CCA) <sub>5</sub>
CGA	DHB(CG A) <sub>5</sub>
GT	VHV(GT) <sub>7</sub> G
AG	HBH(AG) <sub>7</sub> A
CT	DYD(CT) <sub>7</sub> C
TG	HVH(TG) <sub>7</sub> T
CA	DBDA(CA) <sub>7</sub>

\*Las siguientes designaciones se usan para los sitios degenerados: H (A ó T ó C); B (G ó T ó C); V (G ó A ó C) y D (G ó A ó T).

**Cuadro 3.** Mezcla para la amplificación de ADN de los 51 materiales de naranja *Citrus sinensis* (L) incluidos en el estudio.

Coctel	Volumen (µl)
Buffer Taq (1x)	2.5
dNTPs (0.2mM)	4.0
Cebador (2mM)	2.0
MgCl <sub>2</sub> (1.5mM)	2.5
ADN (10ng)	5.0
Taq Polimerasa ()	0.2
H <sub>2</sub> O	8.8
Total	25

System. FB-SEQ-3545 de FisherBiotech. Finalmente, éstas fueron separadas en una cámara de secuenciación (OWL-Sequi-Gen Sequencing Cell) en geles de poliacrilamida al 4% (29:1 acrilamida-bisacrilamida), en condiciones denaturantes (urea 5M). A cada producto PCR se le adicionaron 10 µl de buffer denaturante (95% Formamida, 0.025% Azul de Bromofenol, 0.025% Xylene cyanol). Se cargaron 5 µl de la mezcla previamente desnaturalizadas a 95 °C durante 5 min y se corrió el gel a 120 Watts, 1600 V, durante 2 h. La tinción se realizó usando sales de plata.

Se generó una matriz binaria de ausencia (0) y presencia (1). La similitud genética entre los individuos se calculó utilizando el coeficiente de similitud de Nei y Li (1979) también conocido como DICE (1945) (Sneath y Sokal, 1973). El análisis de conglomerados se realizó con el empleo del algoritmo UPGMA y se generó un dendrograma utilizando el paquete estadístico NTSYS (Numerical Taxonomy System for personal Computer, versión 2.02 PC). Para evaluar la diversidad genética se estimó la heterocigosidad insesgada y el porcentaje de loci polimórficos utilizando el paquete estadístico TFPGA (Tools For Population Genetic Analices, versión 1.3, 1997). Se determinó el valor de 'F' estadístico insesgado con un intervalo de confianza del 95%.

## Resultados y discusión

### Comparación de los métodos de electroforesis

Los métodos de electroforesis geles de agarosa al 1.2% y geles de poliacrilamida fueron eficientes en la separación de los fragmentos amplificados. El primero reveló el nivel más bajo de polimorfismo en comparación con los otros dos métodos utilizados (Cuadro 4). El coeficiente de diferenciación genética (Fst) fue 0.20, con una desviación estándar (DE) de 0.04, lo que ratificó la existencia de una diferenciación genética intermedia.

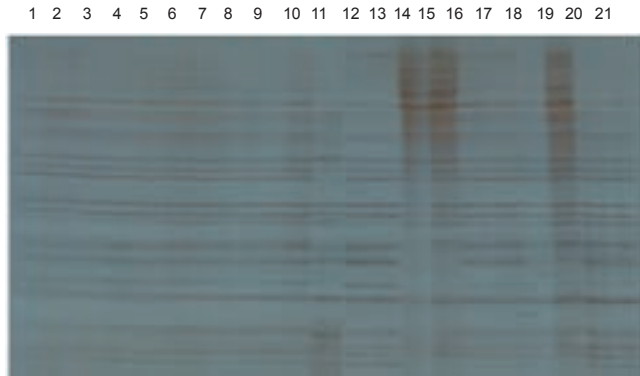
Los geles de agarosa permiten una electroforesis rápida, pero con una resolución limitada por cuanto las bandas formadas tienden a ser difusas y a expandirse, debido al tamaño de los poros lo que no puede ser controlado (Westermeier, 1997). No obstante tienen la ventaja de favorecer un amplio rango de separación para fragmentos de alto peso molecular (100 pb a 50 Kpb) (Fernández-Tresguerres, 2003). Este tipo de electroforesis es preferido para la resolución de fragmentos de ADN resultantes de la amplificación vía PCR usando marcadores RAPDs (Williams et al., 1990). Sin embargo, cuando se generan varios fragmentos de ADN de tamaños similares, como ocurre a menudo en la amplificación de ADN 'fingerprinting', la agarosa no resulta eficiente (Caetano-Anollés, 1991).

El número de bandas obtenido por el cebador CGA en geles de poliacrilamida cámara pequeña fue de 31. El porcentaje de loci polimórficos fue 16.13%, con una heterocigosidad de 0.09 (Cuadro 4). En comparación con el gel de agarosa, en el presente trabajo se obtuvo mayor número de bandas ya que la poliacrilamida permite una mejor resolución y separación de los productos amplificados y, por tanto, mayores valores de heterocigosidad. Aunque el valor de Fst fue mayor que en el de agarosa (0.23), lo que revela una diversidad genética intermedia.

Cuando los fragmentos amplificados fueron separados en la cámara grande OWL, se obtuvo el mayor número de bandas (53), con un 74% de loci polimórficos, una heterocigosidad promedio esperada de 0.33 y un Fst de 0.09 (Cuadro 4). En la Foto 1 se observa el patrón de amplificación del cebador CGA evaluado en las 21 accesiones de naranja. La poliacrilamida es un soporte empleado frecuentemente en electroforesis en gel, siendo químicamente inerte, de propiedades uniformes, y de preparación rápida y reproducible. Forma geles transparentes

**Cuadro 4.** Métodos de electroforesis utilizados para la separación de productos amplificados del cebador CGA en 21 accesiones de naranja *Citrus sinensis* L.

Método	No. de bandas	He	% Loci polimórficos (95%)	Fst	SD
Agarosa	10	0.03	10.00	0.20	0.04
Cámara pequeña	31	0.09	16.13	0.23	0.22
Cámara OWL	53	0.33	73.53	0.09	0.02



**Foto 1.** Patrones de bandas en *Citrus sinensis* L. generadas por el cebador microsatélite RAM (CGA)<sub>n</sub> en gel de poliacrilamida utilizando una cámara de secuenciación OWL Sequi-Gen Sequencing Cell.

con estabilidad mecánica, insolubles en agua, relativamente no-iónicos, que permiten buena visualización de las bandas durante tiempo prolongado. Además tiene la ventaja de que al variar la concentración de polímeros se puede modificar de manera controlada el tamaño del poro (Campbell, 1995). Las diferencias entre los tres métodos de electroforesis son importantes, ya que métodos de mayor poder de resolución permiten detectar mayores diferencias.

Es posible utilizar el método de electroforesis de poliacrilamida para identificar variación alélica entre cultivares de naranja a una escala más fina; sin embargo, la detección es más costosa en términos de equipos y análisis, usa reactivos más tóxicos, requiere mayor tiempo y personal calificado.

En forma general, en el gel de poliacrilamida, cámara pequeña, las bandas primarias u oscuras frecuentemente coalescen con las secundarias, dando bandas tenues, especialmente aquellas de menor peso molecular. Por el contrario, las bandas en el gel poliacrilamida de cámara grande fueron más nítidas, de mayor tamaño y de grosor uniforme y las bandas primarias y secundarias fueron identificadas con relativa facilidad. Las bandas primarias presentaron buena resolución en agarosa, pero las secundarias no aparecieron claramente. El 'background' fluorescente de bromuro de etidio redujo significativamente la claridad de los fragmentos de ADN, especialmente en las bandas tenues o secundarias.

El uso de poliacrilamida en cámara grande permite una mejor identificación de

bandas polimórficas que los otros métodos usados, ya que bandas solas son resueltas en dos bandas, además, no utiliza compuestos tóxicos como el bromuro de etidio que es mutagénico. La electroforesis fue más rápida y más tolerante a temperaturas más elevadas de corrida y esto permitió el uso de voltajes más altos (100 Watt). El gel de poliacrilamida se crece durante la tinción, lo que hace que sea más fácil distinguir bandas y calcular el polimorfismo, además se pueden almacenar por largos períodos sin ninguna distorsión de los frentes de corrida. Una ventaja importante de los geles de poliacrilamida es que son químicamente inertes, transparentes y estables en un amplio rango de pH, temperatura y fuerza iónica.

Los geles de agarosa y poliacrilamida se pueden emplear en multitud de tamaños, grosores y porosidades y permiten desarrollar la electroforesis en diferentes configuraciones. La elección depende principalmente del tamaño de los fragmentos a separar.

Los geles de poliacrilamida en vertical son el método de elección más efectivo en la separación de pequeños fragmentos de ADN (5 a 500 pb). El poder de resolución es tan alto, que es posible separar fragmentos de ADN que difieren en tamaño en 1 pb, como ocurre en el caso de la secuenciación de ADN. Los principales limitantes de los geles de poliacrilamida son la neurotoxicidad de la acrilamida y la dificultad de preparación y manejo. El estudio mostró que el gel de poliacrilamida da una mejor resolución de los productos amplificados vía PCR producidos por RAMs. Este método permitió una rápida electroforesis de fragmentos de ADN y facilitó una mejor detección de bandas de ADN polimórficas, facilitando la identificación de la variabilidad genética existente en poblaciones naturales. Por tanto, el análisis de los productos amplificados de PCR por electroforesis de agarosa tiene que ser completado con la electroforesis de poliacrilamida, debido a su más bajo nivel de precisión. El método de agarosa puede ser utilizado en otros estudios debido a su bajo costo y fácil aplicación.

De acuerdo con los resultados, la técnica RAMs puede ser una herramienta útil para caracterizar la diversidad genética de dife-

rentes accesiones dentro del género *Citrus*, además es una técnica que no necesita información previa, utiliza un cebador, puede ser reproducible por el tamaño del cebador, diferencia entre especies y variaciones intra-específicas, detecta relaciones entre grupos biológicos y grupos formados por la técnica, es de bajo costo y de fácil implementación (Muñoz et al., 2008).

**Estudio de diversidad genética con electroforesis en cámara de secuenciación**

Los siete cebadores RAMs generaron 176 bandas; que fluctuaron entre 32 (CCA) y 55 (TG). El número de loci polimórficos varió entre 18 y 34 para los cebadores CT y CGA, respectivamente (Cuadro 5). El análisis mediante el coeficiente de Nei-Li, a un nivel de similitud de 0.75, diferenció la población en siete grupos (Figura 1). El **grupo 1** estuvo conformado por naranjas comunes, ‘Jaffa’, ‘Indian River’, ‘Cuban Queen’, ‘Salustiana’, de frutos esféricos, achatados o elipsoidales, de medianos a grandes y sin ombligo, con coloraciones desde amarillo-naranja a naranja intenso. Algunas variedades tienen numerosas semillas. En el **grupo 2** se localizaron la mayoría de las accesiones tipo ‘Navel’ u ‘ombligonas’, sus frutos son partenocárpicos y carecen de semillas lo cual contribuye a que los individuos sean similares. El principal destino de frutos del grupo Navel es el consumo en fresco y una pequeña parte se destina a la industrialización debido a que el contenido en zumo es elevado y la presencia de limonina da lugar a un sabor amargo. Dentro del grupo 2 también se situaron algunas accesiones de naranjas ‘comunes’: ‘Pera del Río’, ‘Lima Dulce’ y ‘En-

terprise’, entre otras, poniendo de manifiesto la existencia de relaciones genéticas entre los tipos de naranjas evaluadas. En los **grupos 3 a 6** se encontró una combinación de diferentes tipos de naranjas ‘blancas’, ‘Valencia’ o ‘comunes’, lo que pone de manifiesto el continuo intercambio de materiales entre los agricultores. Las naranjas ‘pigmentadas’ o tipo ‘sanguina’ se diferenciaron del resto de accesiones evaluadas (**grupo 7**) por la presencia de antocianinas en la pulpa y a veces en la epidermis. Las naranjas ‘sanguinas’ mantienen y superan los beneficios de la naranja común, ya que aportan más betacarotenos, además son interesantes en la industria ya que su sabor recuerda ligeramente al de las cerezas o las frambuesas.

La heterocigosidad promedio (He) para la población total fue 0.25 y reveló un bajo polimorfismo genético. El cebador TG hizo el mayor aporte a la variación genética (Cuadro 6). Novelli et al (2006) desarrollaron y caracterizaron marcadores moleculares microsátelites polimórficos para naranja dulce *C. sinensis* L, encontrando valores de He en un rango comprendido entre 0.49 y 0.57 con un promedio de 0.50, una heterocigosidad observada (Ho) entre 0.88 y 1.00 y una Ho promedio de 0.99, que son valores altos en comparación con los encontrados en el presente estudio.

Tapia et al. (2005) evaluaron 63 cultivares de mandarina (*Citrus spp.*) usando marcadores morfológicos y AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) para 20 caracteres cuantitativos y 10 cualitativos de hojas, flores y frutos. Las mejores combina-

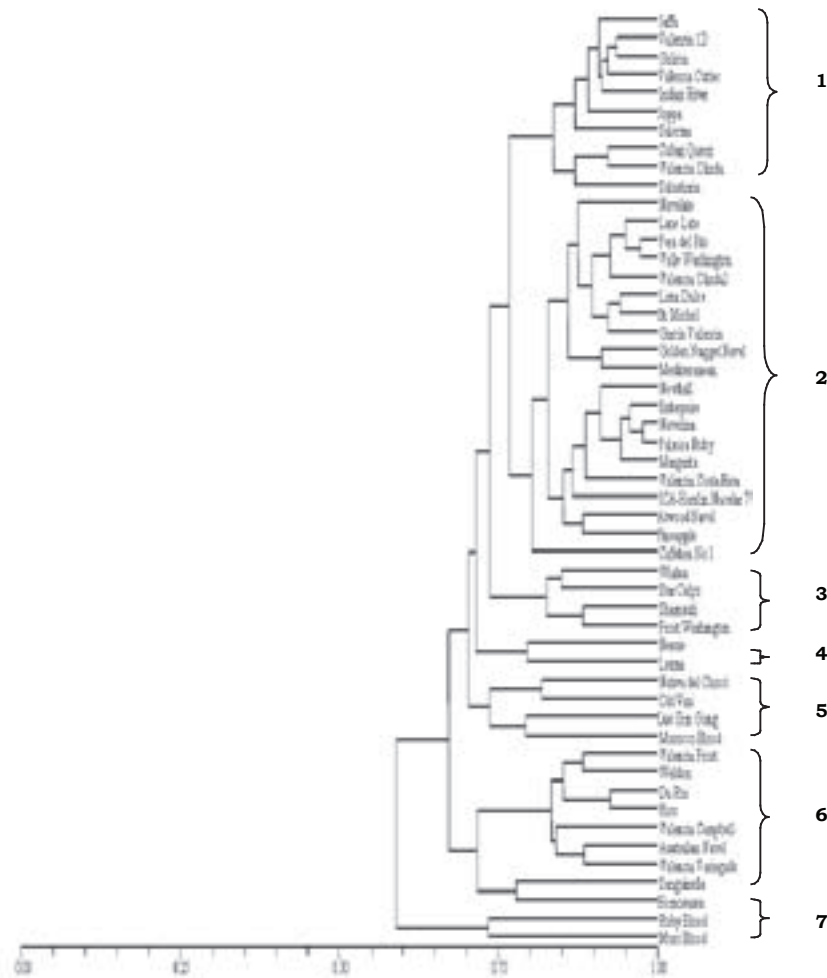
**Cuadro 5.** Cebadores RAMs utilizados para la evaluación de la diversidad genética en *Citrus sinensis*.

Cebador	No. Loci polimórficos	% Loci polimórficos (95%)
CA	23	73.9
CGA	34	73.5
CT	18	55.6
CCA	28	25.0
AG	26	58.2
TG	27	96.2
GT	20	30.0
Población total		64.8

**Cuadro 6.** Heterocigosidad promedio estimada (He) y porcentaje de loci polimórficos para los siete cebadores RAMs evaluados en 51 accesiones de naranja *Citrus sinensis*.

Cebador	He estimada	% Loci polimórficos (95%)
CA	0.28	73.9
CGA	0.27	73.5
CT	0.21	55.6
CCA	0.09	25.0
AG	0.31	58.2
TG	0.34	96.2
GT	0.15	30.0
Población total	0.25	64.8





**Figura 1.** Dendrograma de la estructura genética de 51 accesiones de *Citrus sinensis* basado en el Coeficiente de Nei-Li, y calculado de los datos combinados de los siete cebadores microsatélites RAMs.

ciones de iniciadores AFLP fueron la Mse + CAG más Eco + ACA, y Mse + CAA más Eco + AGG, dando un total de 109 bandas con un 86% de polimorfismo. Tanto los marcadores morfológicos como los moleculares mostraron un alto grado de variación entre los individuos analizados, lo que indica que ésta es una fuente importante de variabilidad para programas de mejoramiento genético. Aunque la comparación de los resultados morfológicos y moleculares, usando la prueba de Mantel, no mostró una correlación significativa ( $r = 0.31$ ), ambas técnicas parecen ser complementarias para la caracterización de mandarinas.

Golein et al (2005) reportaron el aislamiento y caracterización de siete loci microsatélites polimórficos en *Citrus*. Estos marcadores produjeron entre 4 y 9 alelos

por locus (con un promedio de 6.14) en 32 cultivares de *C. limon* evaluados. Los valores de heterocigosidad promedio observada estuvieron comprendidos entre 0.43 y 0.72. Los niveles de polimorfismo encontrados en este estudio sugieren que estos loci microsatélites pueden ser una herramienta importante para estudios genéticos en *Citrus*.

En el presente estudio el coeficiente de diferenciación genética ( $F_{st}$ ) obtenido al evaluar las 51 accesiones de naranja con los siete microsatélites RAMs fue de 0.07, con una desviación estándar de 0.01 (Cuadro 7). Según Wrigth (1978) valores comprendidos entre 0 y 0.05 muestran poca diferenciación genética, de 0.05 a 0.15 moderada, y mayores de 0.25 una gran diferenciación. Teniendo en cuenta lo anterior, el valor de  $F_{st}$  encontrado

**Cuadro 7.** Diferenciación poblacional y estadístico Fst para 51 accesiones de naranja con los siete cebadores RAMs evaluados.

Cebador	Fst	SD
CA	0.11	0.03
CGA	0.09	0.02
CT	0.04	0.04
CCA	0.11	0.02
AG	0.01	0.01
TG	0.05	0.02
GT	0.09	0.02
Población total	0.07	0.01

en este estudio muestra que existe una diferenciación genética intermedia.

La baja diferenciación genética encontrada en *C. sinensis*, al igual que en los géneros *Fortunella* y *Poncirus*, se debe a que cada una de sus numerosas formas cultivadas ha sido propagada a partir de un progenitor único por vía asexual a través de injertos, esquejes, acodos y embrionía nucelar, lo que asegura el mantenimiento de la misma constitución genética en la descendencia que forma una variedad hortícola (cultivar) o clonal (Webber, 1943).

La selección de las formas cultivadas ha buscado el mejoramiento de los caracteres útiles para el hombre, como los relacionados con las cualidades del fruto –sabor, contenido del zumo, azúcar y ácido, textura de la pulpa, grado de aspermia, color de la epidermis, forma y talla–, el comportamiento y las características del árbol –vigor, productividad, y forma no espinosa–. Por consiguiente, existe una tendencia a la uniformidad en el proceso de domesticación de cada especie y, por esta razón, entre ciertas variedades hay tantas semejanzas en lo que se refiere a los caracteres más visibles, que resulta difícil diferenciarlos (Webber, 1943).

Se sabe que las naranjas dulces tienen una estrecha base genética y que la variabilidad puede ser producida por diversos factores tales como hibridación, mutación y tipo de reproducción. La baja diversidad intraespecífica contrasta con la alta variabilidad en cuanto a características de importancia agronómica tales como periodo de maduración, tamaño y color de los frutos (Webber, 1943).

## Conclusiones

- La electroforesis con el uso de geles de poliacrilamida en la cámara OWL Sequi-Gen Sequencing Cell, permitió una mejor resolución de los productos amplificados ayudando así a la detección del polimorfismo entre las 21 accesiones de naranja *C. sinensis* evaluadas.
- Los valores de similaridad de Nei-Li y de heterocigosidad revelaron un bajo polimorfismo genético, que puede ser debido a la propagación vegetativa de la especie, la cual tiende a perpetuar genotipos similares a través de varias generaciones.
- La técnica RAMs permitió agrupar las diferentes accesiones de naranjas según los tipos reportados ('Comunes' o 'Blancas', 'Navel' y 'Pigmentadas' o 'Sanguinas'), lo que indica que esta es una herramienta útil para evaluar la diversidad genética en las naranjas evaluadas y que podría ser útil para otras especies de *Citrus*.

## Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos al grupo de Diversidad Biológica de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, a la División de Investigación DIPAL de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira y a la Corporación de Investigación Agropecuaria (Corpoica)-Palmira.

## Referencias

- Ahmad, R; Struss, D; y Southwick, S. M. 2003. Development and characterization of microsatellite markers in *Citrus*. *J. Amer. Societ. Hort Sci*, 128:584 - 590.
- Ahmad, R; Potter, D. and Southwick, S.M. 2004. Identification and characterization of plum and plumcot cultivars by microsatellite markers. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* **79 (1)**:164-169.
- Alvarez, E; Mejia, J.F; and Valle, T.L. 2003. Molecular and pathogenicity characterization of *Sphaceloma manihoticola* isolates from south-central Brazil. *Plant Dis.* 87:1322 - 1328.
- Aranzana, M.J; Cosson, P; Dirlewanger, E; Ascasibar, J; Cipriani, G; Arus, P; Testolin,

- A; King, G.J. y Lezzoni, A. F. 2003. A set of simple-sequence repeat (SSR) markers covering the *Prunus* genome. *Theor. Appl. Genet.* 106(5):819-825.
- Avilán, L; F. Leal, y D. Bautista. 1989. Manual de fruticultura. Editorial América, C.A. Caracas, Venezuela. p 1316-1317.
- Bonilla, M; Espinosa, K; Muñoz, J.E y Vásquez, H. 2004. Colección, caracterización fenotípica y molecular de poblaciones de uchuva *Physalis peruviana* L. Congreso Colombiano de Botánica: Botánica, Diversidad y Cultura. 2, Popayán, Noviembre de 2004. p. 350 - 351.
- Bretó, M. P; Ruiz, C; Pina, J. A; y Asíns, M. J. 2001. The diversification of *Citrus clementina* Hort. ex Tan., a vegetatively propagated crop species. *Mol. Phylogenet. Evol* 21:285 - 293.
- Caetano-Anollés, G; Bassam, B. J.; y Greshoff, P. m. 1991. DNA amplification fingerprinting using very short arbitrary oligonucleotide primers. *Biotechn.* 9: 53 - 557.
- Campbell, M. K. 1995. *Biochemistry*. Second edition; Saunders College Publishing: Orlando, FL, 1995; p. 522.
- Cipriani, G; Lot, G; Huang, W.G; Marrazzo, M.T; Peterlunge, E; y Testolin, R. 1999. AC/GT and AG/CT microsatellite repeats in peach (*Prunus persica* (L.) Basch): isolation, characterization and cross-species amplification in Prunas. *Theor. Appl. Genet.* 99(1-2):65-72.
- Corazza-Nunes, M. J; Machado, M. A; Nunes, W. M.; Cristofani, M. y Targon M. L. 2002. Assessment of genetic variability in grapefruits (*C. paradisi* Macf.) and pummelos (*C. maxima* (Burm.) Merr.) using RAPD and SSRs markers. *Euphytica* 126:169 - 176.
- Davies, F. y Albrigo, L. G. 1992. Taxonomy, cultivars and breeding. En: Gmitter Jr F. G; Grosser, J. W. y Moore G. A (eds.). *Citrus*. CAB International, Wallingford. p. 12 - 51.
- Dellaporta, S. I.; Wood, J. y J. B. Hicks. 1983. A plant DNA minipreparation: Versión II. *Plant Mol. Biol. Rep.* 1(14):19-21.
- Dice, L. R. 1945. Measures of the amount of ecological association between species. *Ecology.* 26:297 - 302.
- Fernández.-Tresguerres, J. A. 2003. *Biotecnología aplicada a la medicina*. Ediciones Díaz de Santos, Madrid. 352 p.
- Golein, B; Koltunow, A. M; Talaie, A; Zamani, Z.; y Ebadi, A. 2005. Isolation and characterization of microsatellites loci in the lemon (*Citrus limon*). *Mol. Ecol. Notes* 5:253 - 255.
- Grosser, J. W y Gmitter, Jr. F. G. 1990. Protoplast fusion and *Citrus* improvement. *Plant Breeding Rev.* 8:339 - 374.
- Hantula, J; Dusabenyagasani, M; Hamelin, R. C. 1996. Random Amplified Microsatellites (RAMs) a novel method for characterizing genetic variation within fungi. *Eur. J. For. Path.* 26: 159-166.
- Henríquez, N. M. 2000. Diversidad genética de *Phaeoisariopsis griseola* (Sacc) Ferraris, utilizando marcadores moleculares. Trabajo de grado Ing Agr. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. 101 p.
- Koehler-Santos, P.; Dornelles, A. L. y Freitas, L. B. 2003. Characterization of mandarin citrus germplasm from southern Brazil by morphological and molecular analyses. *Pesqu. Agropec. Bras.* 38:797 - 806.
- Kijas, J. M.; Thomas, M. R.; Fowler, J. C. y Roose, M. L. 1997. Integration of trinucleotide microsatellites into a linkage map of *Citrus*. *Theor. Appl. Gen.* 94:701 - 706.
- Mahuku, G. S.; Henríquez, M. A.; Muñoz, J. E y Buruchara, R. A. 2002. Molecular markers dispute the existence of the Afro-Andean group of the Bean Angular Leaf Spot pathogen, *Phaeoisariopsis griseola*. *Phytopath.* 96(6):580 - 589.
- Mendes-Da-Glória, F. J.; Mourão Filho, F. A.; Aranha-Camargo, L. E y Mendes, B. M. 2000. Caipira sweet orange + rangpur lime: a somatic hybrid with potential for use as rootstock in the brazilian citrus industry. *Gen. Mol. Biol.* 23(3):661 - 665.
- Morgante, M.; Pfeiffer, A.; Jurman, I.; Paglia, G.; y Olivieri, A. M. 2001. PCR analysis of SSR polymorphisms in plant using agarose gels. En: Karp, A; Isaac, P. G; Ingram, D.S (eds.). *Molecular tools for screening biodiversity*, Kluwer Academic Publ. Dordrecht, Holanda. p. 206 - 207.
- Muñoz, J. E.; Morillo, C. A.; Morillo, C. Y. 2008. Microsatélites Amplificados al Azar

- (RAM) en estudios de diversidad genética vegetal. *Acta Agron.* 57(4):219 - 226.
- Nei, M. y Li, W.H. 1979. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleasa. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 79:5267 - 5273.
- Nicolosi, E.; Deng, Z.N.; Gentile, A.; La Malfa, S.; Continella, G.; y Tribulato, E. 2000. *Citrus* phylogeny and genetic origin of important species as investigated by molecular markers. *Theor. Appl. Genet.* 100:1155 - 1166.
- Novelli, V.M.; Cristofani, M.; Souza, A. A. y Machado, M. A. 2006. Development and characterization of polymorphic micro-satellite markers for the sweet orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Gen. Mol. Biol.* 29(1):90-96.
- Sneath, P. H. y Sokal, R. R. 1973. Numerical taxonomy: the principles and practice of numerical classification. W.H. Freeman & Co., San Francisco. 573 p.
- Tapia, C. E.; Espinosa; G. M.; Warburton, L. M.; Varela, S. A; y Monter, V.A. 2005. Characterization of mandarin (*Citrus* spp.) using morphological and AFPL markers. *Interciencia: Rev. Ciencia y tecnología de América* 30(11):687 - 693.
- Webber, H. J. 1943. Plant characteristics and climatology. En: H.J. Webber y L.D. Batchelor, dirs. *The Citrus Industry*. Berkeley: University of California. Press. 1:41-69.
- Westermeyer, R. 1997. *Electroforesis in Practice: a Guide to Methods and Applications of DNA and Protein Separations* (2a. ed.), VCH Press Weinheim.
- Williams, J. G.; Kubelik, K. J.; Livak, J. A.; Rafalski y, S. V. y Tingey. 1990. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Res.* 18:6531 - 6535.
- Wright, S. 1978. *Evolution and the genetics of populations, variability within and among natural populations*, University of Chicago Press. 4:335.

# Avaliação da composição físico-química de frutos de mandacaru (*Cereus jamacaru* P.)

## Evaluation of the physical-chemical composition of the fruits of Mandacaru

Leirson Rodrigues da Silva<sup>1</sup>, Ricardo Elesbão Alves<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFRSA, Mossoró-RN, Brasil, <sup>2</sup> Pesquisador Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza-CE. Autor para correspondência: [leirsonrodrigues@yahoo.com.br](mailto:leirsonrodrigues@yahoo.com.br); [elesbão@cnpat.embrapa.br](mailto:elesbão@cnpat.embrapa.br);

Rec. 09-02-09 Accept.: 20-10-09

### Resumo

O mandacaru (*Cereus jamacaru* P.) é uma espécie nativa da vegetação da caatinga, onde seus frutos podem constituir uma agradável fonte de alimento, embora ainda não sejam explorados comercialmente. O trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar as características físico-químicas da polpa e da casca dos frutos de mandacaru oriundos do vale do Curu-CE, Nordeste do Brasil. Os frutos foram colhidos e conduzidos às condições de laboratório da Embrapa Agroindústria Tropical, onde para as análises foram selecionados cerca de 2 kg da matéria-prima, sendo os frutos escolhidos aqueles maduros e firmes. Depois foram lavados, sanitizados e submetidos a armazenamento sob refrigeração para as análises posteriores. Os frutos foram caracterizados quanto ao pH, sólidos solúveis (SS), ácido ascórbico e açúcares redutores totais. O delineamento foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. A casca do fruto apresentou valor de pH de 4.42, superior ao da polpa que foi de 4.40. Os teores de ácido ascórbico para a polpa foram de 100 mg/100 g de polpa e casca de 80 mg/100 g de polpa. Para os teores de SS, constata-se diferença significativa entre os valores da polpa e da casca, com 11% e 5%, respectivamente. Portanto, a polpa do fruto apresentou maior porcentagem de açúcar de 5.76, em comparação àquela encontrada na casca de 1.53.

**Palavras chave:** *Cereus jamacaru* P.; qualidade; ácido ascórbico; pós-colheita.

### Abstract

'Mandacaru' (*Cereus jamacaru* P.) is a native species from the vegetation of the Brazilian North East "Caatinga", and its fruits could become an important nutritional source for the population of semi-arid regions, although it is still not commercially exploited. This work was carried out to evaluate the physical and chemical characteristics of the pulp and peel of 'mandacaru' fruit from the Curu Valley, Ceara State, Brazilian North East. 'Mandacaru' fruits were harvested and transported to the Embrapa Tropical Agroindustry Laboratory, where approximately 2 Kg of mature and firm fruits were selected for evaluation. These fruits were washed, sanitized and placed under cold storage for future analysis. The fruit pulp and peel were evaluated for: pH, soluble solids (SS), ascorbic acid and total reducing sugars. The experiment was carried out in a completely randomized design, with four replicates. The peel of 'Mandacaru' fruit presented pH 4.42, being higher than pulp at pH 4.40. Ascorbic acid content was 100 mg/100g<sup>-1</sup> in the pulp, and 80 mg/100g<sup>-1</sup> in the peel. A significant difference in SS was detected between pulp and peel, which were 11% and 5%, respectively. On the other hand, fruit pulp presented higher percentage of reducing sugars of 5.76%, as compared to that found in the peel of 1.53%.

**Key words:** *Cereus jamacaru* P.; quality; ascorbic acid; postharvest.

1 Ing. Agrônomo, M.Sc. Ph.D. em Fitotecnia

2 Ing. Agrônomo, M. Sc. Especialização em Citricultura, Ph.D. em Ciências dos Alimentos.

## Introdução

O mandacaru é uma espécie nativa da vegetação da caatinga, pertencendo à família das cactáceas. Cresce em solos pedregosos e, junto a outras espécies de cactáceas, forma a paisagem típica da região semi-árida do Nordeste. É encontrado nos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e norte de Minas Gerais.

O mandacaru é um cacto colunar abundantemente ramificado e com flores brancas. Os frutos são grandes, avermelhados com polpa branca provida de muitas sementes insípidas, porém, comestíveis (Gomes, 1973). A família das cactáceas está adaptada às condições de intenso xerofitismo e caracterizam a paisagem vegetal das regiões mais secas da América Intertropical. São plantas suculentas com talos carnosos, roliços ou aplanados, de folhas caducas ou completamente ausentes (Gola, 1965).

Segundo Rocha e Agra (2002) esta planta atinge de 3 a 7 m de altura e possui caule cheio de espinhos rígidos, com grande quantidade de água. É utilizada como planta ornamental e ainda serve para alimentação de bovinos, caprinos e ovinos, principalmente na época de estiagem. De acordo com Braga (1960) os artículos novos do mandacaru servem, depois de queimados, de alimento para o gado. O fruto é uma baga, ovóide, com aproximadamente 12 cm de comprimento, vermelho, carnosos, de polpa branca, com inúmeras sementes pretas e bem pequenas. As flores noturnas são visitadas por mariposas e morcegos, de janeiro a agosto.

O combate à fome nas populações carentes tem merecido estudos em inúmeros países, inclusive no Brasil, direcionado ao aproveitamento dos recursos obtidos nas próprias regiões, os quais, além de prescindir de transporte a longas distâncias, se beneficiam do princípio da vantagem comparativa. Esta prática se disseminou no Brasil a partir do início da década de 80, principalmente para grupos considerados biossocialmente vulneráveis, como crianças e gestantes (Santos; Lima; Passos, 2001).

Alguns estudos sobre a composição química e a digestibilidade *in vitro* do mandaca-

ru (fonte forrageira) foi realizado por Araújo (2004); no entanto, poucos são os estudos encontrados na literatura sobre os frutos desta planta, que apesar de serem encontrados em grandes quantidades de fevereiro a setembro, não são explorados comercialmente, ocorrendo seu desperdício ou, então, sendo utilizados, quando muito, na elaboração de doces e geléias.

Awad (1993) afirma que o conhecimento de algumas características físicas e físico-químicas de frutos são indispensáveis para a determinação do estágio de amadurecimento mais adequado para a colheita desses produtos, como o mandacaru.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar as características físico-químicas da polpa e da casca do fruto do mandacaru oriundos do vale do Curu-CE, visando ao seu melhor aproveitamento.

## Materiais e métodos

Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita, da Embrapa Agroindústria Tropical (CNPAT), Fortaleza-CE. Foi utilizada como matéria-prima frutos de mandacaru (*Cereus jamacaru* P.) provenientes da região do vale do Curu, localizado no município de Pentecoste-CE, colhidos no primeiro trimestre de 2007. Os frutos escolhidos para as análises físico-químicas foram aqueles considerados maduros (em pleno amadurecimento) e firmes (Figura 1).

Foi recebido no laboratório cerca de 2 kg da matéria-prima, que foi direcionada para a etapa de pré-limpeza. A pré-limpeza foi realizada lavando-se o material em água corrente e em seguida com aplicação de detergente líquido e o uso de esponja. Em seguida foi realizado o processo de sanitização, imergindo os frutos de mandacaru em uma solução de hipoclorito de sódio a 250 ppm durante 15 min. Posteriormente, foram enxaguados em água corrente para eliminação de resíduos de cloro e colocados para drenar o excesso de água antes do processo de despulpamento.

Efetuada a limpeza e a sanitização, o material foi encaminhado para o processo de descascamento manual para separar a casca e a polpa. Estes dois tipos de mate-



**Figura 1.** Frutos de Mandacaru provenientes do vale do Curu (Fortaleza, 2007).

riais foram triturados, individualmente, em liquidificador até a total homogeneização. Depois de processados, a casca e a polpa, foram acondicionadas em embalagens plásticas com cerca de 200 g de polpa e 150 g de casca, de cada material. Logo em seguida, as amostras embaladas foram colocadas em geladeira doméstica a 15 °C, para obter congelamento rápido até o momento da realização das análises.

As amostras (casca e polpa) foram descongeladas e caracterizadas quanto às análises físico-químicas, realizadas em quadruplicata. O pH foi determinado pelo método potenciométrico em pHmetro da marca Tecnal, calibrado com soluções tampões de pH 4 e 7. Os sólidos solúveis (SS) foram determinados por leitura direta da amostra em refratômetro do tipo Atago, com as leituras expressas em Brix.

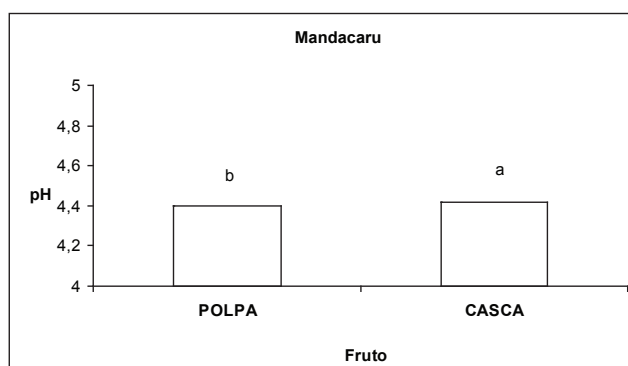
Os açúcares redutores (%) foram extraídos pelo método de DNS (ácido 3,5-dinitro salicílico), segundo método de Lane-Enyon, de acordo com a técnica preconizada pelo Instituto Adolfo Lutz (1985). O teor de ácido ascórbico seguiu a metodologia da AOAC (1997), a qual se baseia na redução do 2,6-diclorofenol indofenol-sódio (DFI) pelo ácido ascórbico, modificada por Benassi e Antunes

(1998), que utiliza como solução extratora o ácido oxálico.

A análise estatística dos dados foi realizada utilizando-se o programa computacional Stast em delineamento experimental inteiramente casualizado com a comparação entre médias pelo teste de Tukey.

### Resultados e discussão

Na Figura 2 são apresentados os valores de pH da polpa e da casca de frutos de mandacaru. Verifica-se que valores do pH das amostras apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, sendo o pH da casca maior que o da

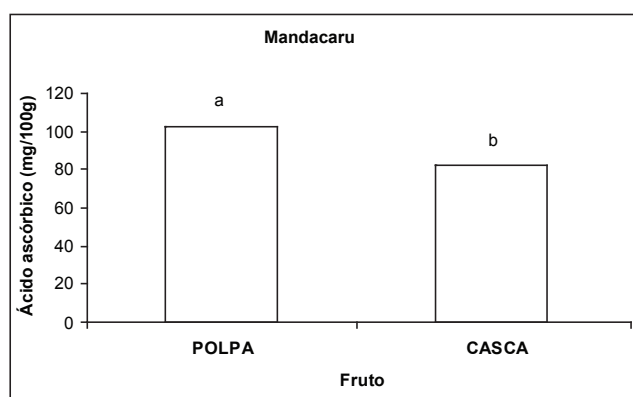


**Figura 2.** Valores médios do pH da polpa e casca de frutos de mandacaru (Fortaleza, 2007).

polpa. Lima et al. (2005) determinaram para a polpa do facheiro pH variando de 4.69 a 4.98, estando na mesma faixa do pH da polpa de mandacaru. Baseado na classificação de Baruffaldi e Oliveira (1998) a polpa e casca de frutos de mandacaru são considerados como produtos pouco ácidos (pH acima de 4.5) e ácidos (pH entre 3.7 e 4.5), respectivamente. Ainda segundo esses pesquisadores o valor do pH interfere de maneira significativa no desenvolvimento de microrganismos, e nos produtos pouco ácidos são susceptíveis ao crescimento de cepas de *Clostridium botulinum* que podem produzir toxinas, requerendo tratamento térmico de 115.5 °C, ou maior, para obter controle dos microrganismos.

Oliveira et al. (2004) estudando as características físico-químicas dos frutos do mandacaru obtiveram maiores teores de pH (4.52) quando comparado com os valores obtidos neste trabalho. Essas diferenças podem ser atribuídas ao tipo de fruto e às variações climáticas do ano em que foram coletados.

As médias referentes aos teores de ácido ascórbico (Figura 3) foram maiores na polpa que na casca. Verificou-se que a quantidade de ácido ascórbico existente na polpa apresentou média superior a quantidade existente na casca. Oliveira et al. (2004) estudaram as características físico-químicas da polpa do fruto do mandacaru do município de Queimadas, PB e verificaram que ela é semi-ácida e pobre em ácido ascórbico. Valores baixos de ácido ascórbico também foram verificados para a ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata*) com cerca de 2 mg/100 g para os frutos (Morton, 2004). Cantwell (2001) obteve para o cladódio



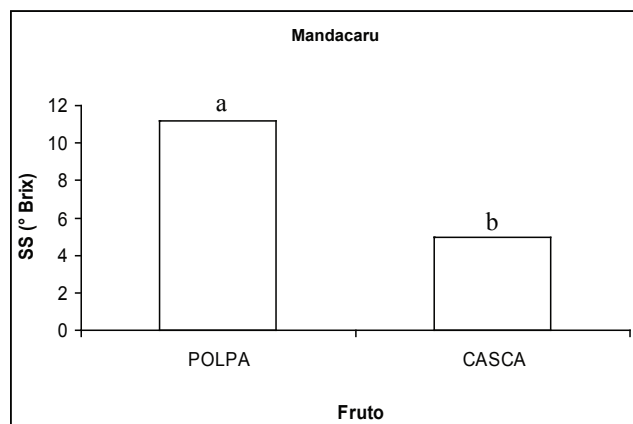
**Figura 3.** Valores médios da Vitamina C da polpa e casca de frutos de mandacaru (Fortaleza, CE).

da palma teor de ácido ascórbico de 11mg/100 g e Lima et al. (2005) determinaram valores variando de 0.34 a 1 mg/100 g em polpas de facheiro.

Tem-se na Figura 4 os resultados referentes aos sólidos solúveis das amostras de frutos de mandacaru. Constata-se diferença significativa entre os valores dos SS, com o teor de SS da polpa mais de 100% superior ao determinado na casca. Embora, a polpa de mandacaru tenha aparência semelhante à polpa de alguns frutos tropicais, seu teor de SS é superior ao valor mínimo de padrão de qualidade exigido pela legislação vigente (Brasil, 2000), que é de 7 e 10 °Brix, respectivamente, o que não ocorreu com os valores observados na casca, que apresentou baixos teor de sólidos solúveis, semelhantes ao do mandacaru foram verificados por Lima et al. (2005) para o facheiro (3.13 a 4.26 °Brix).

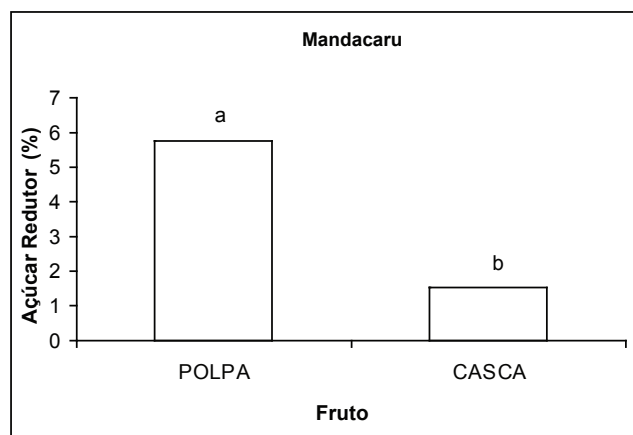
Baseado no teor de SS de mandacaru pode-se estimar a quantidade de sacarose a ser adicionada para produzir doces ou similares, uma vez que a legislação brasileira estabelece para frutas em calda concentrações de SS variando entre 14 °Brix e 40 °Brix e os produtos com concentrações maiores são registrados como doces (Torrezan, 2003). Os teores de sólidos solúveis da polpa dos frutos do mandacaru foram maiores que os encontrados nos frutos de algumas cultivares de goiabeiras estudadas, indicando que estes frutos podem ser utilizados no fabrico de doce tipo pasta e geléias.

Na Figura 5 encontram-se os valores de açúcares redutores (%) da polpa e da casca



**Figura 4.** Valores médios de SS da polpa e casca de frutos de mandacaru (Fortaleza, CE).





**Figura 5.** Valores médios de AR da polpa e casca de frutos de mandacaru (Fortaleza, CE).

de frutos de mandacaru. Comparando-se os resultados obtidos na polpa e na casca, constataram-se diferenças de 5.76% e 1.53%, respectivamente. Oliveira et al. (2004) estudando as características físico-químicas dos frutos do mandacaru obteve menor teor de açúcares redutores na polpa e maior na casca quando comparado com o valor obtido neste trabalho, que foi de 0.2110 (% ácido cítrico) e 9.54 (% glicose), respectivamente. Essas diferenças podem ser atribuídas ao tipo de fruto e às variações climáticas do ano em que foram coletados, indicando que estes valores estão abaixo aos de algumas frutas como o limão (8.1%) e o mamão (8.3%) de acordo com a Tabela de composição de alimentos (IBGE, 1977).

### Conclusões

- Os valores médios de pH dos frutos de mandacaru demonstram, que esses frutos apresentam melhores características com relação ao processamento, armazenamento e conservação. A polpa e a casca apresentaram pH em níveis semelhantes aos reportados para algumas hortaliças e frutas.
- A polpa de mandacaru apresentou valores de sólidos solúveis totais (°Brix) e ácido ascórbico superiores à casca.
- Os teores de ácido ascórbico para polpa e casca foram muito expressivos, com valores de 100 mg/100 g e 80 mg/100g, respectivamente.
- Os frutos do mandacaru em estudo, prove-

nientes do vale do Curu-CE, apresentaram características adequadas para o consumo *in natura*, bem como para o processamento industrial.

### References

- AOAC. Association Of Official Analytical Chemists. 1997. Official methods of analysis of AOAC international. 16th ed. Gaithersburg: AOAC. 1141 p.
- Araújo, L. F. 2004. Enriquecimento Protéico do Mandacaru sem Espinhos (*Cereus jama-caru P.DC.*) e da Palma Forrageira (*Opuntia Ficus-índica Mill*) em Meio Semi-Sólido por Processo Biotecnológico. (Tese de doutorado) - Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, UFCG. 175 p.
- Awad, M. 1993. Fisiologia Pós-Colheita de Frutos. São Paulo: Nobel, 114 p.
- Baruffaldi, R. e Oliveira, M. N. 1998. Fatores que condicionam a estabilidade de alimentos. p. 13-25. Fundamentos de tecnologia de alimentos. São Paulo: Atheneu, v. 3, cap. 2.
- Benassi, M. T. e Antunes, A. J. A. 1998. Comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as extractant solutions for determination of vitamin C in selected vegetables. Arq. Biol. Technol, 31(4):507.
- Braga, R. 1960. Plantas do Nordeste, especialmente do ceará. Fortaleza: ESAM, 540 p.
- Brasil. 2000. Estabelece o regulamento técnico para a fixação dos padrões de identidade e qualidade para a polpa de fruta. Instrução normativa no. 1, de 7 de janeiro de 2000. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 10 jan. Seção 1, no. 6, p. 54-58.
- Cantwell, M. 2001. Manejo pós-colheita de frutas e verduras de palma forrageira. Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira. Paraiba: SEBRAE/PB. p. 20-27.
- Gola, G. Negri, J; e Capalletti, C. 1965. Tratado de Botânica. 2. ed. Barcelona: Labor. 160 p.
- Gomes, P. 1973. Forragens fartas na seca. São Paulo: Nobel. 236p.
- Instituto Adolfo Lutz. 1985. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos físicos e químicos para análise de alimentos.

3. ed. São Paulo: IAL, 1:533.  
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1977. Tabela de composição dos alimentos. Rio de Janeiro. 202 p.
- Lima, E. E.; Queiroz, A. J. M.; Figueiredo, R. M. F.; e Silva, A. S. 2005. Estudo das polpas do facheiro em função da parte do ramo. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 34; 2005. Anais... Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, CD Rom.
- Morton, J. F. 2004.. Barbados gooseberry. Fruits of warm climates. Disponível em: <<http://www.hort.purdue.edu/newcrop>>. Acesso em: 7 de julho.
- Oliveira, F. M. N.; Alexandre, H. V.; Figueiredo, R. M. F.; Queiroz, A. J. M.; e Oliveira, A. R. 2004. Características físico-químicas da polpa e casca do fruto do mandacaru. En: XIX Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2004, Recife. Anais... Recife: Centro de Convenções de Pernambuco, 7 a 10 de setembro, (CD).
- Rocha, E. A e Agra, M. F. 2002. Flora do pico do jabre, Brasil: Cacteaceae juss. Acta Botânica Brasília. 16:15-21.
- Santos, L. A. S.; Lima, A. M. P.; e Passos, I. V. 2001. Use and perceptions of alternative food in the state of Bahia: a preliminary study. Rev Nut. 14:35 - 40.
- Torrezan, R. 2003. Processo de produção. Iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial: frutas em calda, geléias e doces. Brasília. Informação Tecnológica, Embrapa. p. 11-84.

# Estadísticos vitales de *Bemisia tabaci* biotipo B en frijol e interacción con el parasitoide *Amitus fuscipennis*

## *Bemisia tabaci* biotype B in bean: Life history parameters and absence of host-parasitoid interaction with *Amitus fuscipennis*

María del Rosario Manzano Martínez,<sup>1</sup> William Andrés Mosos Martínez,<sup>2</sup> Cristian Andrés Vélez Mera.<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Departamento de Ciencias Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias. <sup>2</sup>Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Autor para correspondencia: mrmanzanom@palmira.unal.edu.co

Rec.:25-02-09 Acept.: 09-10-09

### Resumen

Se determinaron los estadísticos vitales de la mosca blanca *Bemisia tabaci* biotipo B en condiciones de laboratorio ( $26 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $80 \pm 5 \%$  de HR) en frijol cultivar ICA-Pijao. Los valores promedios fueron: longevidad  $34 \pm 1.64$  días, fecundidad de  $211.4 \pm 15.1$  huevos/hembra y tasa de oviposición de  $6.1 \pm 0.28$  huevos/día. La tasa neta reproductiva fue de 137.8. El tiempo generacional de 43.8 días y la tasa intrínseca de crecimiento poblacional ( $r_m$ ) de 0.125. Estos valores son coincidentes con los reportados en la literatura e indicaron la utilidad del frijol (*Phaseolus vulgaris* L) ICA-Pijao para la multiplicación de *B. tabaci*. No se logró la reproducción de *Amitus fuscipennis* en *B. tabaci*. Estudios de comportamiento mostraron que el parasitoide permaneció solo 617.3 seg en promedio en folíolos infestados con la mosca blanca, la mayor parte del tiempo lo invirtió en caminar (46.4%), limpiarse el cuerpo (35.6%) y permanecer quieta (16.7%). *A. fuscipennis* solo tocó una vez accidentalmente una ninfa de *B. tabaci*, pero no la examinó con las antenas ni la ovipositó. Los resultados indican que *A. fuscipennis* no es un enemigo natural potencial de *B. tabaci* biotipo B.

**Palabras clave:** *Bemisia tabaci*, hemíptera, insecta, *Amitus*, himenóptera, mosca blanca de la batata; crecimiento poblacional, control biológico.

### Abstract

Life-history parameters of the whitefly *Bemisia tabaci* biotipo B were determined at laboratory conditions at  $26 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $80 \pm 5 \%$  de RH on bean ICA-Pijao. Mean longevity of the whitefly was  $34 \pm 1.64$  days, mean total fecundity was  $211.4 \pm 15.1$  eggs per female with a daily oviposition rate of  $6.1 \pm 0.28$  eggs per day. Net reproduction rate was 137.8. Generation Time was 43.8 days and the intrinsic rate of population increase  $r_m$  was 0.125. These values are according to previous ones reported and support usefulness of ICA-Pijao bean for *B. tabaci* rearing. It was not possible to rear *Amitus fuscipennis* from *B. tabaci*. Behaviour studies showed that the parasitoid stayed only average 617.3 s on whitefly infested leaflets. It invested most of the time walking (46.4%), preening (35.6%) and standing still

1 Bióloga, M.Sc. en Sanidad Vegetal, Ph.D.

2 Estudiante de Ingeniería Ambiental.

3 Estudiante de Ingeniería Agronómica.

(16,7%). *A. fuscipennis* just touched accidentally one nymph once but it neither drummed it with the antenna nor laid an egg. Results indicated that *A. fuscipennis* is not a potential natural enemy of *B. tabaci* biotipo B.

**Keywords** *Bemisia tabaci*, sweet potato whitefly; population increase, biological control.

### Introducción

Las epidemias de los begomovirus de los mosaicos dorado y el mosaico dorado-amarillo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) que resultan en pérdidas del rendimiento hasta de 100% (Cuéllar y Morales, 2006) constituyen el daño principal en Latinoamérica del biotipo B de la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera:Aleyrodidae). *Bemisia tabaci* es plaga de más de cientos de plantas silvestres y cultivadas de regiones tropicales y subtropicales (Schuster et al., 1996). Con base en diferencias bioecológicas del insecto y síntomas de daño en las plantas, *B. tabaci* ha sido separada en los biotipos A y B (Brown et al., 1995) y por su resistencia a piretroides y organofosforados (Tsagkarakou et al., 2009) se reconoce el biotipo Q (Martínez-Carrillo y Brown, 2007). El biotipo B fue propuesto como una especie diferente llamada *Bemisia argentifolii* Bellows y Perring (Perring et al., 1993). En habichuela (*Phaseolus vulgaris*) *B. tabaci* biotipo B produce clorosis de peciolo y vainas (Rodríguez et al., 2005) porque tanto las ninfas como los adultos de la mosca blanca succionan el floema y debilitan las plantas atacadas. Además para eliminar el exceso de líquidos ingerido, los insectos excretan un tipo de melaza que favorece el crecimiento de los hongos *Cladosporium* y *Capnodium* conocidos como fumagina por el color negro de su micelio (Fox, 1997). La fumagina interfiere con la fotosíntesis al reducir el rendimiento del cultivo y causar pérdidas económicas de frutos y ornamentales (Schuster et al., 1996). Sin embargo, el daño más importante lo ocasiona *B. tabaci* biotipo B al transmitir virus. La transmisión de begomovirus por *B. tabaci* es del tipo persistente circulativo; la persistencia varía de solo pocos días o semanas hasta llegar a ser permanente (Cuéllar y Morales, 2006).

Además de su polifagia, dentro de las formas adaptativas de *B. tabaci* respecto

a otras moscas blancas como *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera:Aleyrodidae) se destaca su mejor adaptación a las altas temperaturas (Wan et al., 2009) que se evidencia en frijol y otros cultivos, semestrales en el Valle del Cauca (Rodríguez et al., 2005). Estos autores reconocieron la variación tanto en distribución altitudinal como en la cantidad de cultivos semestrales atacados por *T. vaporariorum* y por los biotipos A y B de *B. tabaci* entre 1997 y 2003. En 1997 se reportó *T. vaporariorum* (73% de las muestras), *B. tabaci* A (15.5 %), *B. tabaci* B (11.5%) y en ninguna muestra se encontró la combinación *T. vaporariorum* – *B. tabaci*. En 2003, la presencia de *T. vaporariorum* disminuyó a 22.7% de las muestras, la de *B. tabaci* B aumentó drásticamente a 62.6%, apareció la combinación *T. vaporariorum* – *B. tabaci* en 14.6% y desapareció *B. tabaci* biotipo A. Esta variación plantea el desplazamiento por parte del biotipo B con respecto a *T. vaporariorum* y al biotipo A debido, en parte, a que *B. tabaci* biotipo B extendió el rango de adaptación climática en 152 m.s.n.m., desde 995 hasta 1147 m.s.n.m. (Rodríguez et al., 2005). Adicionalmente pasó de tres a catorce el número de hospederos de importancia económica atacados por *B. tabaci* biotipo B entre ellos habichuela, tomate y algodón (Rodríguez et al., 2005). En el Valle del Cauca el control de este biotipo se realiza con la aplicación de insecticidas, por lo que el insecto ha mostrado altos niveles de resistencia a estos productos comerciales y susceptibilidad a otros novedosos como neonicotinoides y reguladores de crecimiento (Rodríguez et al., 2005). No existe suficiente información disponible sobre parámetros poblacionales de *B. tabaci* biotipo B en frijol en las condiciones climáticas estudiadas (Tsai y Wang, 1996; Romberg, 1998).

Entre los agentes de control biológico de *Bemisia* B en Colombia se conocen *Encarsia nigricephala* Dozier (Hymenoptera:Aphelinidae) en berenjena, melón, col, frijol y yuca;

ahuyama en Colombia y Ecuador (López-Ávila et al., 2001). Gerling et al. (2001) presentan una revisión de parasitoides y predadores de *B. tabaci* donde se menciona que especies no identificadas de *Amitus* han sido también encontradas parasitando esta mosca en Centroamérica, específicamente en Honduras (Bogran et al., 1998), Nicaragua (Nunes et al., 2006) y Costa Rica (Mora-Arias, 1998). Por fuera de Centroamérica, *A. bennetti* Viggiani y Evans se ha estudiado en Estados Unidos (Joyce y Bellows, 2000) y Holanda (Drost et al., 1999) como agente regulador de *B. argentifolii*.

En Colombia, *A. fuscipennis* MacGown & Nebeker (Hymenoptera:Platygasteridae) es un enemigo natural promisorio para control de *T. vaporariorum* en frijol debido a la reproducción por partenogénesis tipo telitocua (Manzano et al., 2002a), adaptación a condiciones climáticas de Andes tropicales con una tasa intrínseca de crecimiento poblacional ( $r_m$ ) superior a la de *T. vaporariorum* (Manzano et al., 2002a) y a la buena capacidad de búsqueda (Manzano et al., 2002b). Aunque no hay estudios publicados que soporten a *A. fuscipennis* como parasitoide de *B. tabaci*, a partir de la presencia de parasitoides del género en Centroamérica se podría sugerir que *B. tabaci* es un hospedero alterno. El presente estudio en frijol se realizó en condiciones de laboratorio con el objetivo de conocer parámetros poblacionales de *B. tabaci* biotipo B y determinar si *A. fuscipennis* es un enemigo natural potencial de esta mosca.

### Materiales y métodos

La cría de *B. tabaci* biotipo B y la mayoría de experimentos se realizaron en el Laboratorio del Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira (CEUNP), 3° 24' N; 76° 26' O, a 26 °C ± 2 °C y 80 ± 5% de HR. Sólo una prueba de reproducción de *A. fuscipennis* se hizo en condiciones diferentes.

**Plantas, mosca blanca y parasitoide.** Se usaron plantas de quince días de edad de *Phaseolus vulgaris*, cultivar ICA-Pijao. Las plantas no recibieron aplicaciones de fertilizantes ni

insecticidas, solo se aplicó el fungicida Elosal<sup>®</sup> (1 cm<sup>3</sup>/lt) contra el hongo *Oidium* sp.

La mosca blanca *B. tabaci* Biotipo B se obtuvo a partir de una colonia existente en el CIAT (Cali, Colombia). Los adultos y pupas de *A. fuscipennis* se recuperaron de ninfas de *T. vaporariorum* criadas en el CIAT y de cultivos de habichuela del corregimiento Regaderos (municipio El Cerrito, 03° 38' 6.8" N; 76° 6' 5.1" O, 1743 m.s.n.m.) y la vereda Santa Helena (municipio de Darién, 03° 56' 03" N; 76° 29' 18" O, 1485 m.s.n.m.), Valle del Cauca, Colombia.

### Longevidad y reproducción de *B. tabaci* biotipo B.

Para estimar la longevidad y reproducción de *B. tabaci* biotipo B se utilizaron como unidad experimental jaulas pinzas (2 x 2 cm) donde se colocaron parejas (macho-hembra) recién emergidas; se utilizaron 25 parejas. Cada día las jaulas-pinza se movieron a nuevas áreas del foliolo hasta que las hembras murieron. Las variables medidas fueron número de huevos/hembra por 24 h y longevidad de la hembra. Cada jaula-pinza con una pareja se consideró como una repetición. Solo se midieron las variables para la hembra.

### Desarrollo y supervivencia de ninfas, y proporción de hembras de *B. tabaci* biotipo B.

Para registrar el tiempo de desarrollo y supervivencia de ninfas y proporción de hembras de *B. tabaci* biotipo B se colocaron 30 adultos durante 12 h en jaulas pinzas (2 cm x 2 cm) para que ovipositaran. Se escogió aleatoriamente un grupo de 300 huevos en un foliolo y se siguió su desarrollo hasta la emergencia del adulto. El tiempo de desarrollo se determinó promediando el tiempo (días) de duración huevo-adulto una vez que este emergía. La supervivencia (%) fue calculada de acuerdo con el número de adultos emergidos a partir de 300 huevos.

**Parámetros demográficos.** La información sobre tiempo de desarrollo y supervivencia de inmaduros y proporción de hembras fue combinada con la de reproducción para construir tablas de vida '*l<sub>xm</sub>x*' que fueron utilizadas para calcular parámetros demográficos de *B. tabaci*. Se determinaron de acuerdo con

Carey (1993) la tasa neta reproductiva ( $R_0$ ), el tiempo generacional ( $T$ ) y la tasa intrínseca de crecimiento poblacional ( $r_m$ ). Esta última fue calculada de acuerdo con la relación:  $\sum \exp(-r_m x) l_x m_x = 1$  donde  $x$  es la edad,  $l_x$  es la supervivencia a una edad específica y  $m_x$  es la proporción de hembras descendientes de una hembra de edad  $x$ . La edad pivotal de la hembra de *B. tabaci* fue considerada como  $x + 0.5$  de acuerdo con Carey (1993).

**Estudio de la interacción *A. fuscipennis* con *B. tabaci* biotipo B.** Se realizaron dos procedimientos diferentes. Por un lado, se expusieron ninfas de la mosca blanca al parasitismo por *A. fuscipennis* y por otro, se estudió el comportamiento de búsqueda de hembras individuales de *A. fuscipennis* para determinar cómo reacciona este parasitoide ante la presencia de ninfas de *B. tabaci* biotipo B.

En el primer experimento fueron confinadas durante 24 h aproximadamente 50 ninfas de *B. tabaci* biotipo B por foliolo en estados  $n_1$  y  $n_2$  (Manzano et al., 2002b) con hembras individuales recién emergidas de *A. fuscipennis* y luego trasladadas a las plantas en dos jaulas de tul (50 cm x 50 cm x 50 cm -9 plantas/jaula) para permitir el desarrollo del parasitoide. La unidad experimental fue la jaula-pinza con la hembra de *A. fuscipennis* y las ninfas de *B. tabaci* biotipo B. En este caso se utilizaron 50 hembras diferentes.

En un segundo experimento fueron confinadas 10 hembras de *A. fuscipennis* en un cono de acetato transparente en plantas individuales ( $n = 6$ ) de frijol ICA-Pijao con estados ninfales  $n_1$  (primero) y  $n_2$  (segundo) de *B. tabaci* biotipo B (10 avispa por planta, 9 foliolos/planta, aproximadamente 20 ninfas/planta). Después de 24 h los parasitoides fueron removidos y las plantas con ninfas de *B. tabaci* B trasladadas a otra jaula para permitir el desarrollo del parasitoide.

En el tercer experimento un grupo de nueve plantas de frijol ICA-Pijao con un promedio de 35 ninfas de primer y segundo instares por foliolo (12 foliolos/planta) de *B. tabaci* se expusieron a una liberación 'inundativa' de hembras recién emergidas de *A. fuscipennis* (> 30 parasitoides/foliolo) durante 48 h. Tanto plantas como insectos fueron

mantenidos a 19 °C, 75 ± 5% HR, condiciones a la que normalmente es mantenido *A. fuscipennis* en el CIAT.

**Comportamiento de búsqueda de *Amitus fuscipennis*.** Nueve plantas de frijol ICA-Pijao con tres trifolios fueron expuestas durante 12 h a adultos de *B. tabaci*. Cuando las ninfas alcanzaron estados de desarrollo  $n_1$  y  $n_2$  se retiró con cinta de enmascarar el exceso de ninfas para dejar un promedio de 20 ninfas/foliolo. El foliolo aun unido a la planta fue colocado por el envés bajo un microscopio estereoscopio. Se contó el número de ninfas/foliolo y se hizo un mapeado para posteriormente determinar la ninfa parasitada. Se liberó una hembra recién emergida de *A. fuscipennis* en el centro del foliolo y se siguió su comportamiento de búsqueda durante 45 min que fue registrado en un computador portátil con el programa The Observer 3.0 (Noldus, 1995) a 26 °C ± 2 °C y 80 ± 5 % de H.R. Se registraron los comportamientos de 21 hembras del parasitoide: caminar (C), saltar (S), permanecer quieta (P), limpiarse el cuerpo (L), encontrar la ninfa (E), palpar la ninfa con las antenas o antenar (A), adoptar posición de oviposición (O). Si la ninfa era aceptada para oviposición, se dejaba un huevo y posteriormente se observaban los signos de parasitismo como color blanco lechoso o color gris oscuro que se manifiestan en ninfas de *T. vaporariorum* parasitadas por *A. fuscipennis* (Manzano et al., 2002b). Después de removido el parasitoide, las plantas fueron trasladadas a una jaula de tul hasta obtener signos de parasitismo o emergencia de adultos.

## Resultados y discusión

### Longevidad y reproducción de *B. tabaci* biotipo B

La longevidad promedio de *B. tabaci* biotipo B fue de 34 días, tiempo en el cual expresó una fecundidad promedio de 211 huevos con una tasa de oviposición de 6.09 huevos/día (Cuadro 1). La fecundidad encontrada fue inferior a la reportada por Romberg (1998) de 385.3 ± 114.73 huevos para frijol ICA-Pijao, pero superior a la reportada por Tsai y Wang (1996) de 83.5 huevos/hembra en cultivo de habichuela. La supervivencia de las hembras

**Cuadro 1.** Parámetros demográficos de 25 hembras de *Bemisia tabaci* biotipo B en frijol ICA-Pijao (en laboratorio a  $26 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $80 \pm 5 \%$  de HR).

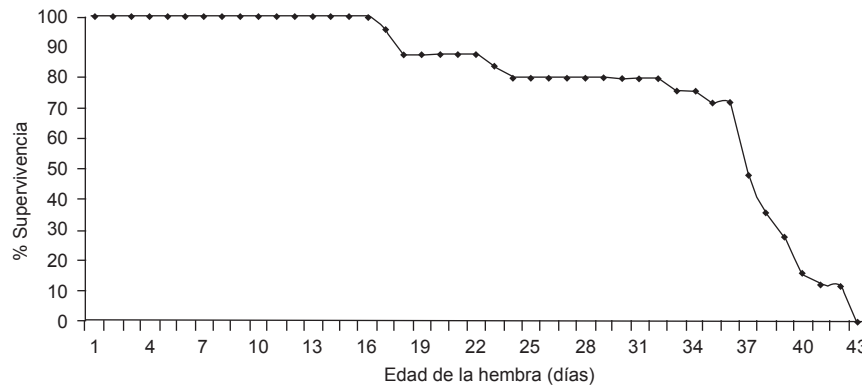
Longevidad (días) (Promedio $\pm$ ES)	34 $\pm$ 1.64
Rango	16-42
Fecundidad (huevos/hembra) (Promedio $\pm$ ES)	211.4 $\pm$ 15.10
Rango	53-347
Tasa promedia de oviposición (huevos/hembra por día) (Promedio $\pm$ ES)	6.1 $\pm$ 0.28
Rango	3.12 – 9.13
Tasa intrínseca de crecimiento poblacional, $r_m$	0.125
Tasa neta reproductiva, $R_o$	137.8
Tiempo generacional, T	43.8

se presenta en la Figura 1. A partir del día 16 empezaron a morir y en el día 36 vivían aún el 76% de la población. A los 43 días ya habían muerto el total de las 25 hembras.

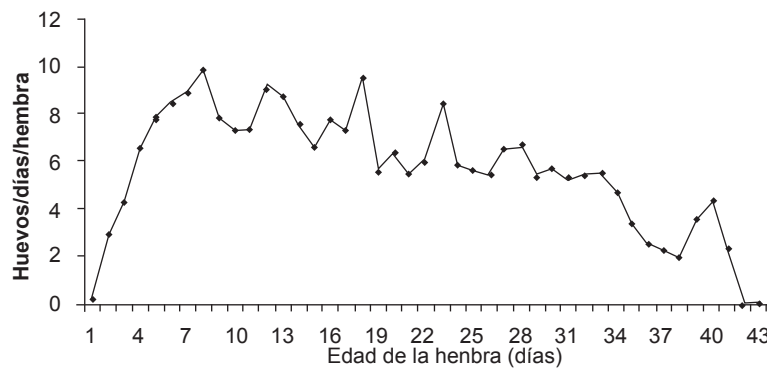
La curva de reproducción de la cohorte de 25 hembras se presenta en la Figura 2. Las hembras de 39 días de edad presentaron un incremento en la cantidad de huevos depositados lo que posiblemente se explica por las variaciones individuales en la población (7 hembras). La tasa intrínseca de crecimiento

poblacional ( $r_m$ ) fue de 0.125, la tasa neta reproductiva ( $R_o$ ) de 137.8 y el tiempo total que les restaba por vivir ( $T$ ), a aquellas que sobrevivieron al comienzo de cada ciclo del insecto fue de 43.8 días.

La  $r_m$  encontrada (0.125) fue similar (0.12) a la reportada por Tsai y Wang (1996) para *B. argentifolii* en habichuela a  $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ , pero mayor que la registrada por Romberg (1998) de 0.098. Esto último por un lado podría reflejar la adaptabilidad del biotipo B



**Figura 1.** Curva de supervivencia de *Bemisia tabaci* biotipo B en *Phaseolus vulgaris* a  $26 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $80 \pm 5 \%$  de HR ( $n = 25$  hembras).



**Figura 2.** Curva de reproducción de *Bemisia tabaci* biotipo B en *Phaseolus vulgaris* a  $26 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $80 \pm 5 \%$  de HR.

del insecto al frijol ICA-Pijao, planta donde es multiplicado, pues han transcurrido 9 años entre ambos estudios. Por tanto, ICA-Pijao es una variedad de frijol que puede ser recomendada para la cría masiva de *B. tabaci* biotipo B, de otro lado, reflejaría la adaptación de *B. tabaci* a las condiciones climáticas del Valle del Cauca, que han facilitado su distribución y desplazamiento de la otra especie de mosca blanca *T. vaporariorum* (Rodríguez et al., 2005).

**Desarrollo, proporción de sexos y supervivencia de adultos (%) de *B. tabaci* biotipo B**

Con base en 247 adultos emergidos, el tiempo promedio de desarrollo de *B. tabaci* biotipo B fue de 26.9 días (n = 247, ES = 0.18; rango 23 - 35 días), el porcentaje de hembras fue del 66% y la supervivencia huevo-adulto fue del 82.3%. El tiempo de desarrollo del biotipo B encontrado fue más corto que el reportado por Romberg (1998) de 29.6 días a una menor temperatura (24.5 °C) y mayor que 20.9 días, reportado en habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.) a 25 ± 1 °C por Tsai y Wang (1996).

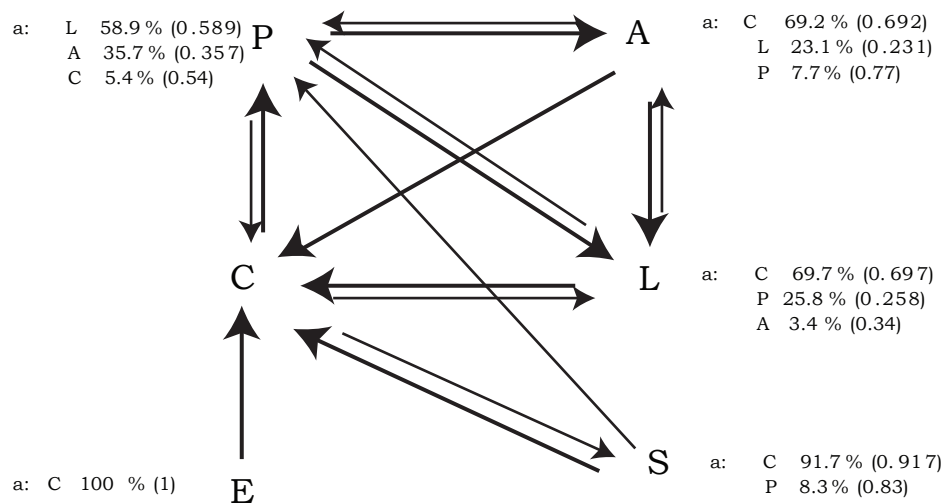
**Desarrollo de *A. fuscipennis* en *B. tabaci* biotipo B**

En los tres experimentos no fue posible reproducir a *A. fuscipennis* en ninfas de *B. tabaci*

biotipo B, a pesar de que el parasitoide pasó por tres tipos diferentes de confinamiento: jaula pinza, cono de acetato y jaula de tul. Este resultado confirma, entonces, que *A. fuscipennis* no parasita a *B. tabaci* en condiciones de laboratorio.

**Comportamiento de búsqueda de *Amitus fuscipennis***

**Patrones de búsqueda.** Tan pronto la hembra de *A. fuscipennis* fue dejada en el foliolo infestado con ninfas de *Bemisia* B empezó a caminar. La hembra se movió rápidamente y exhibió la secuencia de comportamiento siguiente: caminar en la superficie de la hoja con detenciones frecuentes para limpiarse el cuerpo –principalmente de cera proveniente de la ninfa de mosca blanca– o para examinar la superficie del foliolo con las antenas. Al caminar el parasitoide a veces saltaba y algunas veces después de saltar permanecía quieto. Sólo en una ocasión contactó una ninfa de *B. tabaci* pero no la examinó con las antenas ni la ovipositó. El etograma que describe la secuencia de eventos de comportamiento de *A. fuscipennis* se muestra en la Figura 3. Este etograma es más complejo que el reportado para *A. fuscipennis* buscando ninfas de *T. vaporariorum* (Manzano et al., 2002b). Las diferencias principales son pre-



**Figura 3.** Secuencias, frecuencia y porcentaje de eventos de comportamiento de *Amitus fuscipennis* (n = 19 hembras) en foliolo de *Phaseolus vulgaris* infestado con ninfas de *Bemisia tabaci* biotipo B. C, caminar; P, permanecer quieta; A, antenar; L, limpiarse; S, saltar y E, encontrar el hospedero.



sencia de saltos y ausencia tanto de antenación como de oviposición en *B. tabaci*. No se observaron cambios en la coloración de las ninfas que indicaran signos de parasitismo ni se recuperaron individuo de *A. fuscipennis*. Esto confirma que *A. fuscipennis* no parasita a *B. tabaci* biotipo B, como se presenta en el etograma.

**Frecuencia y duración del comportamiento.** Durante el proceso de búsqueda el parasitoide invirtió la mayor parte del tiempo en caminar (145 veces, 46.4%), limpiarse el cuerpo (88 veces, 35.6%) y permanecer quieto (122 veces, 16.7%) (Cuadro 2). *Amitus fuscipennis* fue más activo cuando buscaba ninfas de *T. vaporariorum* (60.8%) e invirtió

**Cuadro 2.** Frecuencia y duración de los eventos de comportamiento de hembras de *Amitus fuscipennis* (n = 19) en foliolos de frijol cv. ICA-Pijao infestado con ninfas de *Bemisia tabaci* biotipo B.

Comportamiento	Abundancia (número de veces)	Promedio de duración ± ES (segundos)	Porcentaje del tiempo total observado
Caminar	145	299.7 ± 36.79	46.4
Limpiarse el cuerpo	88	230.1 ± 45.15	35.6
Permanecer quieta	122	108.2 ± 23.12	16.7
Antenar	8	5.5 ± 3.61	0.86
Saltar	17	2.2 ± 1.05	0.35
Encontrar hospedero	1	0.095	0.01

menos tiempo limpiando su cuerpo (5.7% en esta actividad) (Manzano et al., 2002b).

Sólo en una ocasión *A. fuscipennis* encontró una ninfa de *B. tabaci* (Cuadro 2), aunque aparentemente fue un hecho accidental porque no procedió a examinarla con las antenas como hace este parasitoide siempre que encuentra una ninfa de *T. vaporariorum* (Manzano et al., 2002b; De Vis et al., 2003). Cuando *A. fuscipennis* busca ninfas de *T. vaporariorum*, el patrón general es caminar mientras mueve sus antenas, encontrar el hospedero, examinarlo con las antenas, ovipositarlo y volver a caminar; aunque el parasitoide puede permanecer quieto, limpiarse con las antenas y alimentarse de líquidos y melaza de la mosca blanca (Manzano et al., 2002b; De Vis et al., 2003). Por el contrario, cuando *A. fuscipennis* caminó en el foliolo infestado con *B. tabaci*, el parasitoide no percibió la presencia de las ninfas de este insecto pues caminó en medio de ellas sin encontrarlas. Posiblemente esto sucedió porque las ninfas de *B. tabaci* son más planas que las de *T. vaporariorum* o porque las ninfas emiten alguna sustancia química que perturba al parasitoide. De hecho, el tiempo de permanencia reportado por Manzano et al., (2002b) en foliolos infestados con cuatro ninfas de *T. vaporariorum* fue mayor (9882 seg) al tiempo promedio reportado en el pre-

sente estudio (617.3 seg ES = 88.75) con 20 ninfas de *B. tabaci* por foliolo.

Los resultados indican que *A. fuscipennis* no parasita a *B. tabaci* en condiciones de laboratorio y no hay reportes de que lo haga en condiciones de campo. Observaciones previas no publicadas señalan lo contrario, pero en este estudio no se encontró evidencia de parasitismo del biotipo B por parte de *A. fuscipennis*. Por tanto, si debido a su adaptación climática *B. tabaci* biotipo B ampliara su distribución altitudinal al trópico alto, *A. fuscipennis* no sería un controlador biológico de esta plaga en frijol.

## Conclusiones

- *Phaseolus vulgaris* cultivar ICA-Pijao es un hospedero adecuado para criar *Bemisia tabaci* biotipo B a  $26 \pm 2$  °C y  $80 \pm 5$  % HR. Bajo estas condiciones la tasa intrínseca de crecimiento poblacional de *B. tabaci* fue de 0.125, valor similar al reportado en otros estudios para frijol.
- *Amitus fuscipennis* no parasitó a *Bemisia tabaci* biotipo B y este resultado soporta la especificidad de *A. fuscipennis* en la mosca blanca de los invernaderos *Trialeurodes vaporariorum*. Por tanto la especie reportada en Centroamérica como *Amitus* sp. parasitando a *B. tabaci* no debe ser *Amitus fuscipennis*.

## Agradecimientos

Al Laboratorio de Entomología de Frijol (CIAT) y especialmente a Héctor Morales por proporcionar *B. tabaci* biotipo B para la cría y *A. fuscipennis* para algunos experimentos. Al personal del Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira (CEUNP) por el apoyo logístico. A los agricultores de Regaderos y Santa Helena por permitir coleccionar *A. fuscipennis* en sus cultivos.

Este proyecto fue financiado por la Dirección de Investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira DIPAL, QUIPU 2010100537.

## Referencias

- Bogran, C. E.; Obrycki, J. J.; y Cave, R. 1998. Assessment of biological control of *Bemisia tabaci* (Homoptera:Aleyrodidae) on common bean in Honduras. Fla. Entomol. 81(3):384-395.
- Brown, J. K.; Frohlich, D. R.; y Rosell, R. C. 1995. The sweetpotato or silverleaf whitefly: biotypes of *Bemisia tabaci* or a species complex. Ann. Rev. Entomol. 40:511-534.
- Carey, J. R. (1993). Applied demography for biologists. New York: Oxford University press. p. 83-89.
- Cuellar, M. E. y Morales, F. J. 2006. La mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) como plaga y vectora de virus en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Rev. Col. Entomol. 32(1):1-9.
- Drost, Y. C.; Qiu Y. T.; Posthuma-Doodeman C. J.; y van Lenteren J. C. 1999. Life-history and oviposition behaviour of *Amitus bennetti*, a parasitoid of *Bemisia argentifolii*. Entomol. Exp. Appl. 90(2):183-189.
- Fox, R. T. V. 1997. Fungal foes in your gardens: Leaf moulds. Mycologist 11(2):88.
- Gerling, D.; Alomar, O.; y Arnó, J. 2001. Biological control of *Bemisia tabaci* using predators and parasitoids. Crop Prot. 20(9):779-799.
- Joyce, A. L. y Bellows T. S. 2000. Field evaluation of *Amitus bennetti* (Hymenoptera: Platygasteridae), a parasitoid of *Bemisia argentifolii* (Hemiptera: Aleyrodidae), in cotton and bean. Biol. Control 17(3):258-266.
- López-Ávila, A.; Cardona, C.; García, J.; Rendón, F.; y Hernández, P. 2001. Reconocimiento e identificación de enemigos naturales de moscas blancas (Homoptera: Aleyrodidae) en Colombia y Ecuador. Rev. Col=Entomol. 27(3/4):137-141.
- Manzano, M. R.; Van Lenteren, J. C.; y Cardona C. 2002a. Intrinsic rate of population increase of *Amitus fuscipennis* MacGown & Nebeker (Hym., Platygasteridae) according to climatic conditions and bean cultivar. J. Appl. Entomol. 126(1):34-39.
- Manzano, M. R.; van Lenteren J. C.; y Cardona C. 2002b. Searching behavior of *Amitus fuscipennis* MacGown & Nebeker, a parasitoid of the greenhouse whitefly. J. Appl. Entomol. 126(10):528-533.
- Manzano, M. R. 2000. Evaluation of *Amitus fuscipennis* as biological control agent of *Trialeurodes vaporariorum* on bean in Colombia. Tesis Doctor. Wageningen University.
- Martínez-Carrillo J. L. y Brown, J. K. 2007. First report of the Q biotype of *Bemisia tabaci* in Southern Sonora, Mexico. Phytoparasitica 35(3):282-284.
- Mora-Arias, R. A. 1998. Parasitoides de la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) en los cultivos de chile dulce (*Capsicum annum* Linnaeus) y tabaco (*Nicotiana tabacum* Linnaeus) en el cantón de Pérez Zeledón. Tesis. Licenciatura en Zootecnia. Universidad de Costa Rica., San José, Costa Rica. (Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin>). 26-03-2009.
- Noldus, L. P. 1995. The Observer: System for collection and analysis of observational data. Reference Manual. Version 3.0. Wageningen: Noldus information Technology.
- Nunes, C.; Lucas, E.; y Coderre, D. 2006. Parasitisme de *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) en cultures maraichères en tropique sec nicaraguayen. Int. J. Trop. Ins. Sci. 26(1):57-63.
- Perring, T.M.; Cooper A.; Rodriguez, R.J.; Farrar, C.A.; y Bellows, T.S. Jr. 1993. Identification of a whitefly species by genomic and behavioural studies. Science 259:74-77.

- Rodríguez, I.; Morales, H.; Bueno, J. M.; y Cardona, C. 2005. El biotipo B de *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) adquiere mayor importancia en el Valle del Cauca. *Rev. Col. Entomol.* 31(1):21-28.
- Romberg, M. 1998. Caracterización biológica de dos biotipos de la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae). Trabajo de grado. Biología. Pontificia Universidad Javeriana, Santa Fé de Bogotá, Cundinamarca, Colombia. 81 p.
- Schuster, D. J.; Stansly, P. A., y Polston, J. E. 1996. Expressions of plant damage of *Bemisia*. p. 153-165. En: Gerling, D.; Mayer R.T. (eds.). *Bemisia 1995: Taxonomy, Biology, Damage, Control and Management*. Intercept Andover, Hants. Reino Unido.
- Tsagkarakou, A.; Nikou, D.; Roditakis, E.; Sharvit, M.; Morin, S.; y Vontas, J. 2009. Molecular diagnostics for detecting pyrethroid and organophosphate resistance mutations in the Q biotype of the whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pestic. Biochem. Physiol.* 94(2009)49-54.
- Tsai, J. H. y Wang, K. 1996. Development and reproduction of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) on five host plants. *Environ. Entomol.* 25(4):810-816.
- Vis de, R.; Mendez, H.; y van Lenteren, J. C. 2003. Comparison of foraging behavior, interspecific host discrimination, and competition of *Encarsia formosa* and *Amitus fuscipennis*. *J. Insect Behav.* 16(1):117-152.
- Wan, F.; Zhan, G.; Liu, S.; Luo, C.; Chu, D.; Zhang, Y.; Zang, L.; Jiu, M.; Lü Z.; Ciu, X.; Zhang, L.; Zhang, F.; Zhang Q.; Liu, W.; Liang, P.; Lei, Z.; y Y. Zhang. 2009. Invasive mechanism and management strategy of *Bemisia tabaci* (Gennadius) biotype B: Progress report of 973 Program on invasive alien species in China. *Science in China series: C Life Sciences* 52(1):88-95.

# Evaluación biológica del manejo de picudos y nematodos fitopatógenos en plátano (*Musa* AAB)

## Biological evaluation of the management of borers and phytopathogenic nematodes of plantain (*Musa* AAB)

Carolina González Cardona<sup>1</sup>, Juan Camilo Aristizábal Hincapié<sup>2</sup>, Manuel Aristizábal Loaiza<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas, Apartado Aéreo 275, Manizales, Caldas, Colombia. Autor para correspondencia: manuel.aristizabal@ucaldas.edu.co

Rec.: 24-11-08 Acept.:15-10-09

### Resumen

El trabajo se desarrolló en la granja Montelindo, municipio de Palestina (Caldas) a 5° 05' N y 75° 40' O, a 1010 m.s.n.m., 23.5 °C, precipitación anual de 2100 mm y humedad relativa de 76%, con el fin de generar información sobre el manejo de picudos y nematodos fitoparásitos del plátano. Se usó un diseño en bloques completos al azar con cuatro tratamientos por bloque, tres repeticiones y 24 plantas por repetición. Para el manejo de los picudos se hicieron aplicaciones de Carbofurán, *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* en trampas tipo columna. Para el control de nematodos se hicieron aplicaciones en el suelo de Carbofurán y dos cepas comerciales de *Paecilomyces lilacinus*. Se evaluaron el número de adultos de picudos en trampas, la infección de estos por los hongos empleados y la población de nematodos en suelo y raíces. Se encontró que las trampas tratadas con Carbofurán fueron significativamente más efectivas para la captura de insectos. En laboratorio se estableció que *M. anisopliae* tuvo una mejor capacidad para infectar adultos del insecto en el campo. La población de nematodos fue menor en suelo y raíces de las plantas tratadas con Carbofurán. *Paecilomyces lilacinus* no fue efectivo para reducir las poblaciones de nematodos. Los géneros de nematodos predominantes fueron *Radopholus*, *Pratylenchus*, *Meloidogyne* y *Helicotylenchus*.

**Palabras clave:** *Paecilomyces lilacinus*; *Beauveria Bassiana*; musa, plátano, dominico hartón. *Cosmopolites sordidus*; *Radopholus similis*; *Pratylenchus*.

### Abstract

This work was carried out at the 'Montelindo' farm, municipality of Palestina (Department of Caldas, Colombia, located at 5° 05' N and 75° 40' W, at 1010 m.a.s.l., 23.5 °C, with 2100 mm of annual rainfall, and relative humidity of 76%), in order to generate information on the management of borers and parasitic nematodes of the plantain. A completely randomised block experimental design was used, with four treatments per block, three replicates and 24 plants per replicate. For the management of borers, applications of Carbofuran, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* were made into column type traps. To control nematodes soil applications of Carbofuran and two commercial strains

1 Ing. Agrónoma, M.Sc. en Fitopatología.

2 Ing. Agrónomo

3 Ing. Agrónomo, M.Sc. Profesor Titular.

of *Paecilomyces lilacinus* were made. The number of adult borers in the traps, the infection of these by the fungi used, and the population of nematodes in both soil and roots were evaluated. It was found that the traps treated with Carbofuran were significantly more effective for insect capture. In the lab, it was established that *M. anisopliae* had better capacity to infect adult insects in the field. *P. lilacinus* was ineffective at reducing nematode populations. The nematode population was lower in soil and roots of plants treated with Carbofuran. The predominant genera of nematodes were *Radopholus*, *Pratylenchus*, *Meloidogyne* and *Helicotylenchus*.

**Key words:** *Paecilomyces lilacinus*; *Beauveria bassiana*; plantain, musa, *Cosmopolites sordidus*; *Rhadopolus similis*.

## Introducción

El plátano (*Musa* AAB) es uno de los principales alimentos de la canasta familiar y también es utilizado en la agroindustria para la producción de harina y alimentos concentrados para la alimentación animal (Meek y Navarrete, 2001). La zona cafetera colombiana aporta 60% de la producción nacional de esta fruta (Alarcón y Castaño, 2004).

En Colombia, los principales insectos plaga registrados en plátano son: el picudo negro (*Cosmopolites sordidus* Germar), picudo rayado (*Metamasius hemipterus sericeus* Linnaeus), picudo amarillo (*Metamasius hebetatus* Gyllenhal), gusano tornillo (*Castniomera humboldtii* Maubl Ashby), gusano canasta (*Oiketicus kirbyi* Guilding) y el gusano cabrito (*Opsiphanes tamarindi* Felder). Se considera que el complejo de esta plaga es el más limitante del cultivo de plátano en la zona cafetera central de Colombia; ya que la expansión poblacional de estos insectos es favorecida por la sincronía temporal entre los estados de la plaga y la plantación, por los hábitos crípticos de los insectos y por su alta tasa de reproducción (Sánchez, 2004, citado por Rubio y Acuña, 2006).

El picudo negro, *Cosmopolites sordidus* Gemar (Coleóptera, Dryophthoridae), la plaga de mayor importancia económica del plátano en Colombia, necesita para su reproducción material orgánico en descomposición y buena humedad, por ello, todo residuo de cosecha es foco permanente de infestación (García et al., 1996); no obstante, en los últimos años se ha observado un aumento importante en las poblaciones de *M. hemipterus* y *M. hebetatus* de la zona cafetera central. Estos insectos hacen parte de un complejo especializado en alimentarse de diferentes estructuras de la planta,

así: las larvas y adultos de *C. sordidus* se alimentan del cormo, las larvas y los adultos de *M. hemipterus* consumen el pseudotallo y los adultos de *M. hebetatus* prefieren los primeros centímetros del pseudotallo cerca del cormo, mientras que sus larvas consumen todo el pseudotallo (Castrillón, 2000).

El picudo negro es activo de noche y muy susceptible a la desecación. Los adultos pueden permanecer en la misma planta por largos períodos y sólo una pequeña parte de ellos puede moverse a una distancia mayor de 25 m durante un período de 6 meses. Los picudos vuelan raramente y su dispersión ocurre principalmente a través del material de siembra infestado. Es un insecto con un prolongado período de vida y baja fecundidad (Gold y Messiaen, 2000). Los adultos de *C. sordidus*, son cucarrones que miden entre 1 y 2 cm de longitud; la cabeza presenta un pico largo y curvo, con dos grandes antenas. La coloración varía de café oscuro, recién nacidos, a negro cuando están adultos (Silva, 2005). El adulto de *M. hemipterus* presenta tres manchas negras en el tórax, una central alargada que lo atraviesa y dos paralelas a ésta, a lado y lado, pero de menor longitud. Los élitros son rojizos con manchas negras irregulares que se unen hacia la parte posterior del cuerpo (Aranzazu et al., 2005). Contrario al picudo negro, hace cámara pupal con hojas y pedazos de pseudotallo y emerge como adulto después de 11 a 25 días (García, s.f.).

En *M. hebetatus* sólo se observan dos manchas semicirculares pequeñas. Los adultos se encuentran comúnmente congregados debajo de las calcetas, en lugares húmedos y oscuros. La hembra vive 60 días y deposita entre 400 y 500 huevos dentro del tejido fresco del pseudotallo y habita en

el tejido en descomposición. El huevo es semejante al del picudo negro y permanece en esta etapa entre 3 y 7 días. La larva es de color amarillo claro, presenta el tercio superior abultado y en forma de 'C', mide de 1.5 a 2 cm de longitud y su ciclo es de 50 a 60 días. La pupa de estas dos especies se envuelve en un capullo grueso que la larva fabrica de fibras del pseudotallo de la planta huésped, en este estado permanece entre 15 y 25 días (Aranzazu et al., 2005). Muñoz (2007) identifica a *P. mellerborgii* Boheman como el picudo enano o pequeño del banano que ocasiona lesiones preferentemente en las vainas de las hojas de las musáceas, donde la hembra deposita los huevos.

Los métodos de control para picudos varían entre sistemas y reflejan el estado de la plaga. En plantaciones comerciales el control químico es el método más difundido y se realiza utilizando nematicidas con actividad insecticida o insecticidas específicos de acción rápida y eficaz aplicados en la base de la planta. Anteriormente se utilizaban ampliamente los insecticidas cyclodiénicos, pero eventualmente fueron abandonados debido al desarrollo de resistencia y a las implicaciones ambientales. En el mercado se encuentran disponibles organofosfatos, menos persistentes pero más costosos y tóxicos para los operarios, por tanto, menos adecuados para los sistemas de producción a pequeña escala. Actualmente, el picudo negro del banano ha mostrado la habilidad de desarrollar resistencia a la mayoría de los productos químicos (Gold y Messiaen, 2000).

El control cultural es muy valioso para prevenir su establecimiento y es el único medio comúnmente disponible mediante el cual los pequeños productores, con recursos limitados, pueden reducir las poblaciones establecidas del insecto. Entre los agentes de control biológico el más destacado es el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* (Bálsamo) Vuillemin; no obstante, se conocen algunos clones resistentes al insecto que pueden proporcionar fuentes genéticas de resistencia para los programas de mejoramiento de plátanos y bananos de cocción que son cultivados en los altiplanos (Gold y Messiaen, 2000). *Beauveria bassiana* es uno

de los entomopatógenos más estudiados y utilizados para el control biológico de plagas, como regulador natural de poblaciones de insectos. Es el agente causal de la 'muscarina blanca' en algunos insectos. Cuando el hongo está presente en la hemolinfa, germina y produce nuevas hifas, extendiéndose así en la cavidad del cuerpo (Castrillón, 2000). Después de muerto el insecto el hongo produce clamidosporas que pueden mantenerlo viable dentro de los insectos muertos, estas germinan posteriormente y emergen hifas que esporulan en la superficie del hospedero y producen nuevas esporas infectivas (Kuno, 1981, citado por Castrillón, 2000).

*Metarhizium anisopliae* (Metzchnikoff) es el hongo causante de la 'muscardina verde' y se caracteriza por la formación de varias conidias encima del esterigma. Invade por vía oral o cuticular. Los insectos parasitados por este hongo mueren debido a la pérdida de nutrientes y por acción de las toxinas destróxin A y B (Castrillón, 2000).

La colocación sistemática de trampas con pedazos de pseudotallo o de corno puede ser eficaz para reducir poblaciones de picudos negros adultos, sin embargo, este trabajo es laborioso y a menudo limitado por la disponibilidad de los materiales. También se cree que el saneamiento de los cultivos, o destrucción de los residuos, elimina los refugios y sitios de desarrollo y así se reducen las poblaciones de picudos negros. Actualmente, no existen datos disponibles sobre las relaciones entre los métodos de saneamiento y el estado de la plaga (Gold y Messiaen, 2000). Para reducir las altas poblaciones de picudos, los controles biológicos y microbiológicos pueden integrarse con prácticas culturales y controles manuales o mecánicos (García et al, 1996).

La especie de nematodo de mayor importancia económica en el cultivo del plátano es *Radopholus similis* y la de menor, *Rotylenchus reniformes*. Las lesiones provocadas por los nematodos abren la vía a patógenos secundarios, principalmente hongos del suelo. Los fitonematodos más devastadores de las musáceas son los endoparásitos migratorios *Radopholus similis*, *Pratylenchus coffeae* y el semiendoparásito *Helicotylenchus multicinctus* (Guzmán y Castaño, 2004).

Para controlar los nematodos se pueden utilizar la rotación de cultivos y los nematocidas (Gowen y Quénéhervé, 1990, citados por Carlier et al., 2003), pero en áreas donde el banano se cultiva de manera continua, la rotación de cultivos no puede ser practicada; al mismo tiempo, el precio de los nematocidas químicos a menudo es excesivo para los pequeños agricultores y la mayoría de dichos productos es altamente tóxica para el medio ambiente.

Entre las opciones para el control de nematodos la cobertura vegetal ha sido la más utilizada, no solamente por los efectos benéficos en las propiedades físicas y químicas de los suelos, la fertilidad y aumento del contenido de materia orgánica, sino también por su efecto nematocida (de Oliveira et al., 2000). Aunque los nematocidas tienen un efecto rápido sobre las poblaciones, también son compuestos muy tóxicos, por tanto el control biológico es una opción que se debe considerar para el manejo de fitonematodos, ya que en la naturaleza existen organismos como hongos, bacterias, turbelarias, insectos, ácaros y virus que pueden afectar las poblaciones de nematodos parásitos de plantas. De estos grupos de organismos los más importantes son los hongos, que han sido los más estudiados posiblemente porque su efecto es más visible y, las bacterias, que tienen un gran potencial (Rojas, 1996).

El objetivo del control no es la eliminación total de los nematodos, lo cual de por sí es imposible de realizar, sino mantenerlos en niveles poblacionales en los cuales el daño al cultivo no sea significativamente económico. Se puede combinar el combate con prácticas culturales, métodos biológicos, físicos, químicos y genéticos. Del combate biológico no se conocen resultados positivos (Sierra, 1993).

El manejo de los picudos y nematodos depende de la aplicación de productos químicos, que son costosos, contaminan el ambiente y generan riesgos para la salud humana y la alimentación (Guzmán y Castaño, 2005). La información sobre el control biológico de estas plagas en el departamento de Caldas (Colombia) es escasa, por tales razones se realizó el presente estudio con el fin de evaluar el impacto de la utilización de productos

microbiológicos para el control de picudos y nematodos fitopatógenos en el cultivo de plátano.

## Materiales y métodos

La investigación se realizó entre enero de 2007 y marzo de 2008 en la granja Montelindo, propiedad de la Universidad de Caldas, situada en el corregimiento Santágueda, municipio de Palestina (Caldas) a 5° 05' N y 75° 40' O, 1010 m.s.n.m., con temperatura de 23.5 °C, precipitación anual de 2000 mm, humedad relativa promedio de 71%, brillo solar anual de 1770 h, en suelos franco arenosos de origen volcánico (Typic Dystrandept) (Aristizábal et al., 2006).

Para el estudio se realizó una siembra nueva de cormos de plátano tipo Dominico Hartón, de aproximadamente 500 g de peso, tratados de manera uniforme con una solución de Carbofurán (5 ml/l) y Carbendazim (3 ml/l) durante 15 min. La siembra se hizo en hoyos de 30 cm de profundidad por 30 cm de diámetro, distanciados 3 x 2 m entre surcos y plantas, respectivamente. En cada hoyo, antes de la siembra, se depositaron 100 g de cal dolomita y 10 g de bórax.

### Experimento 1. Manejo de picudos

Se evaluaron cuatro tratamientos en trampas tipo columna de pseudotallo colocadas en la base de las plantas, de la forma siguiente:

- Manejo convencional, consistente en la aplicación de Carbofurán (Furadan3G®) granulado en dosis de 5 g por trampa), mediante espolvoreo del producto.
- Aplicación de *B. bassiana* (en dosis de 200 ml por trampa).
- Aplicación de *M. anisopliae* (en dosis de 200 ml por trampa).
- Testigo absoluto, consistente en trampas sin tratamiento.

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con cuatro tratamientos, tres repeticiones y 24 plantas por repetición. Para la aplicación de los hongos entomopatógenos se diluyeron 5 g del producto Micosis® –esporas del hongo en arroz precocido– a una concentración de  $2.5 \times 10^9$  esporas/g por litro de agua, adicionando 2 ml de aceite agrícola.

Se emplearon seis trampas por repetición (96 m<sup>2</sup>) distribuidas al azar. Después de cada aplicación, las trampas fueron cubiertas con hojas de plátano y se renovaron cada 15 días con los mismos tratamientos. Semanalmente y durante un período de 12 meses se registraron las especies de picudos presentes y el número de individuos de cada una. Para determinar la infección por los hongos, todos los adultos encontrados en las trampas testigo y en las tratadas se mantuvieron durante 30 – 45 días en cámara húmeda en el Laboratorio de Fitopatología de la Universidad de Caldas. Los ejemplares que presentaron esporulación se lavaron superficialmente con hipoclorito de sodio (5%) durante 2 min, luego se disectaron y las partes (patas, élitros y abdomen) fueron sembradas en cajas Petri con PDA. Luego de 1 – 2 semanas, los hongos entomopatógenos fueron aislados en cultivo puro e identificados con la ayuda de un microscopio y guías específicas (Barnett y Hunter, 1987).

**Experimento 2. Manejo de nematodos fitoparásitos**

En este experimento se evaluaron los tratamientos siguientes:

- Manejo convencional. Aplicación de 15 g de Carbofuran granular cada 3 meses durante 1 año, en dos hoyos a lado y lado de la base del pseudotallo.
- Aplicación de 300 ml por planta cada 15 días de una suspensión de la cepa A de *P. lilacinus* (5 g de producto comercial por litro de agua) en dos hoyos a ambos lados de la base del pseudotallo.
- Aplicación de 300 ml por planta cada 15 días de una suspensión de la cepa B de *P. lilacinus* (5 g de producto comercial por

litro de agua) en dos hoyos a ambos lados de la base del pseudotallo.

- Testigo absoluto, que consistió en plantas sin tratamiento.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro tratamientos, tres repeticiones y 24 plantas por repetición. Antes de cada aplicación se realizó el conteo de nematodos fitoparásitos en suelo y raíces. Para la extracción de estos, en el Laboratorio de Fitopatología de la Universidad de Caldas se utilizaron 100 g de suelo y 100 g de raíces, para lo cual se siguió la técnica de centrifugación y flotación en azúcar (Castaño, 1998). Para la identificación se empleó la técnica descrita por Castaño y del Río (1997). En total se efectuaron cuatro evaluaciones cada tres meses durante un período de 12 meses.

Los datos obtenidos en ambos experimentos fueron sometidos a análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan o Tukey a un nivel de probabilidad de 5% utilizando el software Statistical Analysis System (SAS, North Caroline, 1980).

**Resultados y discusión**

**Picudos**

Las especies identificadas fueron picudo negro (*C. sordidus*), picudo rayado (*M. hemipterus*), picudo amarillo (*M. hebetatus*) y picudo enano (*Polytus mellerborgii*). Predominaron el negro y el rayado y en menor proporción se encontraron los dos restantes. El análisis de varianza mostró diferencias ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos para adultos de los picudos rayado y enano, así como para el total de individuos en cada uno de los tratamientos (Cuadro 1). La población total de

**Cuadro 1.** Efecto del manejo químico y biológico sobre la presencia de adultos de picudos en trampas. Población de individuos acumulada a través del tiempo.

Tratamientos	Tipos de picudo				Total
	Negro ( <i>C. sordidus</i> )	Rayado ( <i>M. hemipterus</i> )	Amarillo ( <i>M. hebetatus</i> )	Enano ( <i>P. mellerborgii</i> )	
Carbofuran	64 a	76 a	15 a	10 a	165 a
<i>B. bassiana</i>	78 a	64 ab	8 a	8 a	158 a
<i>M. anisopliae</i>	64 a	37 c	6 a	3 b	110 b
Testigo	52 a	42 bc	10 a	9 a	113 b
D.M.S.	45	24	15	5	52
R <sup>2</sup>	0.77	0.89	0.64	0.85	0.69
C.V.	24.7	15.7	52.9	23.9	56

\* Promedios en una misma columna seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ( $P < 0.05$ ), según la prueba de Tukey.



picudos capturados (adultos vivos, muertos e infectados) en trampas con aplicación de Carbofurán y *B. bassiana* fue mayor ( $P < 0.05$ ) que con la aplicación de *M. anisopliae* y el control. Las aplicaciones de los primeros mostraron comportamiento similar en la regulación de las poblaciones. Castrillón et al. (s.f.) encontraron que la muerte de los insectos por acción del Carbofurán fue de 96% y que el 4% restante constituía la población que produce generaciones resistentes al producto; además, no encontraron adultos muertos por acción de los hongos.

Soto y Castrillón (2005) encontraron un nivel de parasitismo en adultos de picudo negro similar al observado en los insectos capturados en este ensayo en trampas tratadas con *B. bassiana*. A diferencia de lo encontrado por Ríos et al. (2002), en el presente trabajo se observó la presencia de los diferentes hongos sobre los insectos capturados en las trampas testigo, lo cual sugiere una infestación natural o migración de picudos infectados desde las trampas tratadas hacia las del testigo absoluto. La captura de adultos en las trampas sin tratamiento confirma la utilidad de estas para estudios de infestación de picudos de plátano, debido a que los olores aromáticos que expele el pseudotallo tienen un efecto aditivo de atracción unido al de las feromonas (Tinzaara et al., 2007; Ríos et al., 2002).

Tinzaara et al. (2007) encontraron niveles de infestación de 52% por *B. bassiana* en adultos de *C. sordidus*, porcentaje similar al hallado en el presente estudio. Los resultados indican que ambas especies de hongos biocontroladores tienen potencial para parasitar

picudos de plátano en condiciones de campo, siendo posible cierto grado de movilidad de adultos infectados que contaminan otros picudos sanos por contacto entre ellos, además de la presencia de dichos hongos como habitantes naturales del suelo (Castrillón, 2000).

### Nematodos

Los nematodos más perjudiciales y ampliamente distribuidos en el mundo corresponden a los endoparásitos migratorios: *Radopholus similis* (nematodo barrenador), *Pratylenchus coffeae* y *P. goodeyi* (nematodos lesionadores) y *Helicotylenchus multicinctus* (nematodo espiral). Algunos endoparásitos sedentarios como *Meloidogyne* spp. (nematodo de las agallas) y *Rotylenchus reniformis* (nematodo reniforme) se encuentran asociados con raíces de musáceas en diferentes regiones (Torrado y Castaño-Zapata, 2004).

Tanto en el suelo como en las raíces se identificaron los géneros *Radopholus*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus* y *Meloidogyne*. Las poblaciones de nematodos fueron diferentes ( $P < 0.05$ ) en el suelo y en las raíces (Cuadro 2), siendo más bajas con la aplicación de Carbofurán en comparación con los demás tratamientos, excepto el testigo que siempre mostró una alta infestación. En términos porcentuales, se encontró que Carbofurán registró el mayor control de nematodos en raíces con un diferencia significativa ( $P < 0.01$ ) respecto al control del 91%; por su parte, los niveles de población con las cepas A y B de *P. lilacinus* fueron el 61% y 38% de la población registrada en el control. El mayor control de nematodos en suelo se obtuvo con la aplica-

**Cuadro 2.** Efecto del manejo químico y biológico sobre las poblaciones de nematodos fitoparásitos en suelo y raíces de plátano Dominico Hartón.

Tratamiento	Población de nematodos (no. de individuos/100 g) <sup>1</sup>			
	Raíces		Suelo	
	inicial	Promedio <sup>a</sup>	inicial	Promedio <sup>a</sup>
Carbofurán	14,896 a*	4378 c	158 b	407 a
<i>P. lilacinus</i> Cepa A	7260 b	20,986 b	184 ab	620 a
<i>P. lilacinus</i> Cepa B	2292 c	17,471 b	104 c	879 a
Control	4940 b	44,432 a	211 a	1061 b

\* Promedios en una misma columna seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ( $P < 0.05$ ), según la prueba de Duncan.

a. Valor promedio de cuatro lecturas a través del tiempo, durante 1 año cada 3 meses.

ción de *P. lilacinus* cepa B con un nivel de 69% menor que en el testigo. Las poblaciones de nematodos en suelo tratado con Carbofurán y *P. lilacinus* cepa A fueron 65% inferiores a las del control (Cuadros 2 y 3).

Las cepas de *P. lilacinus* no fueron efectivas para reducir las poblaciones iniciales de nematodos en raíces de plátano Dominic Hartón, ni en el suelo (Cuadro 2), contrario a lo hallado por Mendoza y Sikara (2007) quienes demostraron que este hongo es un agente de biocontrol efectivo contra *R. similis* en banano y que puede ser un componente importante en estrategias de manejo integrado.

Los promedios de las poblaciones en suelo fueron bajos, de acuerdo con los umbrales de tolerancia de las plantas. Las poblaciones de *Helicotylenchus* oscilaron entre 373 y 739 individuos/100 g de suelo para el tratamiento con Carbofurán y para las aplicaciones con *P. lilacinus* cepa B, respectivamente. Las poblaciones de *Radopholus* oscilaron entre 32 y 107 individuos/100 g de suelo para las aplicaciones con Carbofurán y *P. lilacinus* cepa B, respectivamente. En este estudio las poblaciones de *R. similis* en plantas que no recibieron tratamientos con Carbofurán y en

las testigo fueron altas y perjudiciales, teniendo en cuenta que una población de 10,000 individuos/100 g de raíces se considera como nivel crítico (Tarté y Pinochet, 1981).

En el caso de *Pratylenchus* el número de individuos/100 de suelo fue de 2 para el tratamiento con Carbofurán y 61 para las aplicaciones de *P. lilacinus* cepa A. Este género fue el de menor presencia en el suelo (Cuadro 3). Aunque los tratamientos fueron superiores al testigo para el control de nematodos en raíces, sólo Carbofurán fue efectivo para reducir la población por debajo de dicho nivel crítico. Franco y Castaño (2005) y Grisales y Lescot (1999) encontraron poblaciones relativamente altas de *Radopholus* después de 4 meses de tratamiento químico, siendo similares a los hallados en este estudio.

En las raíces se identificaron *R. similis*, *Helicotylenchus* y *Pratylenchus*. El análisis de varianza mostró diferencias ( $P < 0.01$ ) entre tratamientos para las poblaciones de *R. similis* y *Pratylenchus* sp. (Cuadro 4). El mayor control de *R. similis* ocurrió con la aplicación de Carbofurán con una población 87% menor que la encontrada cuando se aplicó *P. lilacinus* cepa A.

**Cuadro 3.** Efecto del manejo químico y biológico sobre la población de nematodos en plátano Dominic Hartón. Promedio del número de individuos/100 g de suelo a través del tiempo.

Tratamientos	<i>Radopholus</i>	<i>Helicotylenchus</i>	<i>Pratylenchus</i>	Larvas	Saprotitos
Carbofurán	32	373	2 a	427	32 b
<i>P. lilacinus</i> (A)	98	461	61 a	825	26 bc
<i>P. lilacinus</i> (B)	107	739	33 a	811	83 a
Testigo	78	968	15 ab	1551	15 c

\* Promedios en una misma columna seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ( $P < 0.05$ ), según la prueba de Duncan.

**Cuadro 4.** Efecto del manejo químico y biológico sobre la población de nematodos (promedio del número de individuos por 100 g de raíces) a través del tiempo) en raíces de plátano Dominic Hartón.

Tratamientos	<i>Radopholus</i>	<i>Helicotylenchus</i>	<i>Pratylenchus</i>	Larvas	Saprotitos
Carbofurán	2433 a*	48	1987 ab	82	43
<i>P. lilacinus</i> (A)	18,496 b	115	2375 ab	1476	10
<i>P. lilacinus</i> (B)	12,769 ab	260	4415 b	2877	5
Testigo	16,384 b	79	1344 a	2229	14

\* Promedios en una misma columna seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ( $P < 0.05$ ), según la prueba de Duncan.

## Conclusiones

- Los resultados de este estudio confirman que el control de picudos y nematodos fitoparásitos en plátano Hartón Dominicó debe entenderse como parte de un Plan de Manejo Integrado de Plagas (MIP) donde cada uno de los componentes –monitoreo, prevención o intervención mediante control químico, biológico o cultural, entre otros– tiene igual importancia
- Los picudos negro (*Cosmopolites sordidus*) y rayado (*Metamaisus hemipterus*) fueron las especies predominantes.
- El uso de hongos biocontroladores ayuda a reducir las poblaciones de picudos y, posiblemente estos, a su vez, a la diseminación de las esporas de los hongos en el campo lo que favorece la contaminación de otros insectos adultos.
- La aplicación de Carbofurán fue eficaz para reducir las poblaciones de nematodos fitoparásitos en el suelo y en las raíces, como una opción para el control de picudos del plátano.
- Se evidenció un comportamiento diferencial de las dos cepas de *Paecilomyces lilacinus* empleadas, a pesar de provenir de un mismo lote de producción.
- El tratamiento con Carbofurán produjo la mejor regulación de la población de nematodos manteniéndola en niveles inferiores al crítico para el cultivo.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrados de la Universidad de Caldas el apoyo financiero para la realización del presente estudio, así como a los profesores del Departamento de Fitotecnia, por su colaboración en la ejecución y desarrollo del mismo y a los operarios de campo adscritos al Programa Plátano de la granja ‘Montelindo’ por su colaboración en las labores de campo.

## Referencias

- Alarcón, R. J y Castaño-Zapata, J. 2006. Reconocimiento fitosanitario de las principales enfermedades del plátano Dominicó Hartón (*Musa sp.*, Simmonds). *Agronomía* 14(1):65 – 80.
- Aranzazu, H.F.; Valencia, M.J.; Arcila, P.M.; Castrillón, A.C.; Bolaños, B.M.; Castellanos, C.P.; Pérez, C.J.; Rodríguez, M.L. 2005. El cultivo del plátano. Manual Técnico. Gobernación de Caldas, Secretaría de Agricultura de Caldas, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CXORPOICA), regional Manizales.
- Aristizábal, L. M.; Orozco, P. M.; y Ostos, A.M.A. 2006. Efectos del sistema de manejo de las sigatocas y la frecuencia de fertilización sobre el crecimiento y producción del plátano Dominicó Hartón (*Musa AAB*). *Agronomía* 14(1):25 – 36.
- Barnett, H. L. y Hunter, B. B. 1987. Illustrated genera of imperfect fungi. McMillan Publishing Co., New York. 218 p.
- Carlier, J.; de Waele, D.; y Escalant, J. V. 2003. Evaluación global de la resistencia de los bananos al marchitamiento por *Fusarium*, enfermedades de las manchas foliares causadas por *Mycosphaerella* y nematodos.. En: Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano. Guías técnicas no. 757 p.
- Castaño, J. 1998. Prácticas de laboratorio de fitopatología. 2ed Manizales. Universidad de Caldas. 103 p.
- Castaño, J. y Del Río, M.L. 1997. Manual para el diagnóstico de hongos, bacterias, virus y nematodos fitopatógenos. Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Fitotecnia. 210 p.
- Castrillón, A. C. s.f. Aspectos generales del control microbiológico y su aplicación en el manejo integrado del picudo negro del plátano (*Cosmopolites sordidus* Germar). Experiencias en Colombia sobre el uso de entomopatógenos en el control de plagas en el cultivo de plátano. 7 p. (Mimeografiado).
- Castrillón, A. C. 2000. Distribución de las especies de picudo del plátano y evaluación de sus entomopatógenos nativos en el departamento de Risaralda. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Comité de Cafeteros de Risaralda, UMATA’s Departamento de Risaralda. Litoas Ltda. 73 p.
- Franco, V. G. y Castaño-Zapata, J. 2005. Evaluación de alternativas para el manejo de nematodos fitopatógenos en plátano

- Dominico Hartón. En: Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Fitotecnia. Compendio Boletines Fitotecnia. Resúmenes de Investigación. Manizales. p: 419 – 426.
- García, R. F.; Gómez, G. J. y Belacázar, C. S. 1996. Manejo biológico y cultural de *Cosmopolites sordidus* (Germar) en plátano. Reacción de variedades mejoradas al ataque de sigatoka negra *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. Sigatoka negra y variedades mejoradas de plátano. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Boletín de Sanidad Vegetal no. 12. P. 39 – 47.
- Grisales, L. F. y Lescot, T. 1999. Encuesta diagnóstico multifactorial sobre plátano en la zona cafetera central de Colombia: Una visión analítica de la realidad agronómica del cultivo de plátano en la zona central. Centro Nacional de Investigaciones del Café (Cenicafe). Boletín Técnico no. 18. 66 p.
- Gold, C. S. y Messiaen, S. 2000. El picudo negro del banano *Cosmopolites sordidus*; Plagas de *Musa*. Hoja divulgativa no. 4. [www.biodiversityinternational.com/Publications/pdf/696\\_ES.pdf](http://www.biodiversityinternational.com/Publications/pdf/696_ES.pdf) 18-09-8.
- Guzmán, P. O. y Castaño-Zapata, J. 2005. Reconocimiento de nematodos fitopatógenos en plátanos Dominico Hartón (*Musa* AAB Simmonds), África, FHIA – 20 y FHIA – 21 en la granja Montelindo, municipio de Palestina (Caldas), Colombia. En: Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Fitotecnia. Compendio Boletines Fitotecnia. Resúmenes de Investigación. p. 343-349.
- Mendoza, A. R. y Sikora, R. A. 2007. Biological control of *Radopholus similis* in banana by combined application of the mutualistic endophyte *F. oxysporum* strain 162, the egg pathogen *Paecilomyces lilacinus* strain 251 and the antagonistic bacteria *Bacillus firmus*. En: *Biocontrol* 54(2): 263 – 272.
- Meek, E. y Navarrete, A. H. (eds.). 2001. Acuerdo de competitividad de la cadena productiva del plátano en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura ( IICA). 75 p.
- Muñoz, R. C. 2007. Fluctuación poblacional del picudo negro del plátano (*Musa* AAB) en San Carlos Costa Rica. En: Tecnología en Marcha. Vol. 19 (1). En: [http://www.itcr.ac.cr/Publicaciones/tecnologia\\_marcha/pdf/tecnologia\\_marcha\\_20-1/revista\\_20-1\\_pag\\_24-41.pdf](http://www.itcr.ac.cr/Publicaciones/tecnologia_marcha/pdf/tecnologia_marcha_20-1/revista_20-1_pag_24-41.pdf)
- Oliveira, de S. S.; Pires de M. A.; Maciel, C. Z.; Meissner, P. da Cunha C.C.; y Torres, B. P. 2000. Enfermedades del banano y su control en Brasil. Informe sobre el Taller Regional del Manejo Integrado de Plagas en Banano y Plátano. El Vigía, Venezuela, 9-13 de agosto de 1999, División de Producción y Protección Vegetal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. [http://www.fao.org/ag/agpp/IPM/weeds/download/ban\\_ven.pdf](http://www.fao.org/ag/agpp/IPM/weeds/download/ban_ven.pdf)
- Ríos, J. C; Soto G. A; y Castrillón A. C. 2002. Evaluación de *B. bassiana* en formulación comercial y artesanal para el manejo de picudo negro en plátano. [www.musalit.inibap.org/pdf/IN030046\\_es.pdf](http://www.musalit.inibap.org/pdf/IN030046_es.pdf). Acceso. 05-05-2008.
- Rojas, T. 1996. Consideraciones sobre control biológico de nematodos fitoparásitos. Departamento de Fitoprotección, Ministerio de Agricultura y Ganadería. X Congreso Nacional Agronómico / III Congreso de Fitopatología. ¿Dónde cuándo pag.?
- Rubio, G. J. y Acuña, Z. J. 2006. Anatomía comparada del tracto digestivo en imagos del complejo picudo (Coleoptera:Curculionidae) asociados al cultivo del plátano. Sección morfología, comportamiento, ecología, evolución y sistemática. *Revista Colombiana de Entomología*, 01/01/2006. En: <http://www.accessmylibrary.com/coms2/summary 0286-32134826 ITM>
- Sierra, S. E. 1993. El cultivo del banano: producción y comercio. Editorial Gráficas Olímpica.
- Silva, C.C. 2005. Sistemas de producción vegetal. Documento de trabajo. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, D.C. Facultad de Administración de Empresas Agropecuarias. [www.biw.kuleuven.be/aec/clo/euwab/files/Silva2005.pdf](http://www.biw.kuleuven.be/aec/clo/euwab/files/Silva2005.pdf).
- Soto, G. A. y Castrillón, A. C. 2005. Patogenicidad de diferentes aislamientos de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. para el manejo de picudo negro (*Cosmopolites sordidus*

- Germar) en plátano. En: Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Fitotecnia. Compendio Boletines Fitotecnia. Resúmenes de Investigación. P. 477 – 482.
- Tarté, R. y Pinochet, J. 1981. Problemas nematológicos del banano. Contribuciones recientes a su conocimiento y combate. Unión de Países Exportadores de banano (UPRB), Panamá. 32 p.
- Tinzaara, W.; Gold, C. S.; Dicke, M.; Van Huis, A.; y Ragama, P. E. 2007. Host plant odours enhance the responses of adult banana weevil to the synthetic aggregation pheromone Cosmolure. *Int. J. Pest Manag.* 53(2):127-137.
- Tinzaara, W.; Gold, C. S.; Dicke, M.; Van Huis, A.; Nankinga, C. M.; Kagezi, G. H.; y Ragama, P. E. 2007. The use of aggregation pheromone to enhance dissemination of *Beauveria bassiana* for the control of the banana weevil in Uganda. *Biocontrol Sci. Tech.* 17(2):111-124.
- Torrado, J., M.; Castaño, Z. J. 2004. Manejo de nematodos fitoparásitos en plátano Dominico Hartón (*Musa* AAB Simmonds). *Fitopat. Col.* 28 (1):45 – 48.

# Germinación simbiótica y asimbiótica en semillas de orquídeas epifitas

## Symbiotic vs. asymbiotic seed germination in epiphytic orchids

<sup>1</sup>Joel Tupac Otero Ospina, <sup>2</sup> Paul Bayman

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, AA. 237, Palmira, Valle del Cauca, Colombia. <sup>2</sup>Departamento de Biología, Universidad de Puerto Rico - Río Piedras. P. O. Box 23360, San Juan, PR 00931-3360. Autor para correspondencia: jtoteroo@unal.edu.co

Rec.: 12-03-08 Acept.: 01-10-09

### Resumen

Se compara el crecimiento de plántulas de la orquídea epífita *Tolumnia variegata* en medios de agar con y sin hongos micorrizicos. Los métodos de germinación simbiótica produjeron embriones de *T. variegata* más desarrollados que los métodos de germinación asimbiótica y las diferencias fueron estadísticamente significativas. Las semillas en los controles en medio de celulosa sin hongos micorrizicos no germinaron. Las semillas de *Epidendrum ramosum*, *Lepanthes rupestris* y *Psychilis monensis* no mostraron diferencias significativas en germinación entre métodos simbiótica y asimbiótica utilizando hongos aislados de raíces de *T. variegata*, incluso algunos aislados del grupo *Rhizoctonia* parasitaron las semillas. Los resultados sugieren que las semillas de orquídeas epifitas y sus hongos micorrizicos son más específicos de lo que anteriormente se había creído y por tanto es necesario utilizar los hongos específicos para cada especie de orquídea. Además, se sugiere que los cultivadores de orquídeas podrían obtener mejores resultados en la propagación de orquídeas epifitas si utilizan metodologías de germinación simbiótica apropiados.

**Palabras clave:** *Tolumnia variegata*, *Epidendrum ramosum*, *Lepanthes rupestris*, *Psychilis monensis*.  
Orchidaceae, germinación, hongos micorrizicos

### Abstract

We compared seedling growth of the epiphytic orchid, *Tolumnia variegata* in agar media with and without inoculated mycorrhizal fungi. Symbiotic germination produced more-developed embryos than asymbiotic germination. Differences were highly significant, although some isolates of *Rhizoctonia*-like fungi were parasitic on seeds. Control seeds in a cellulose medium without *Rhizoctonia*-like fungi did not germinate. Seeds of *Epidendrum ramosum*, *Lepanthes rupestris* and *Psychilis monensis* showed no significant differences between asymbiotic and symbiotic germination using mycorrhizal fungi isolated from *T. variegata* roots, suggesting high mycorrhizal specificity. Our data suggest that the relationship between epiphytic orchids and the mycorrhizal fungi is more specific than previously thought. The use of the right fungal strain may enhance germination performance. Orchid growers may achieve better results in the propagation of some epiphytic orchids using symbiotic germination.

**Key words:** *Tolumnia variegata*, *Epidendrum ramosum*, *Lepanthes rupestris* and *Psychilis monensis*,  
Orchidaceae, germination, mycorrhizal fungi

<sup>1</sup> Biólogo, Ph.D. en Biología y Filosofía.

<sup>2</sup> Biólogo, Ph.D. en Botánica.

## Introducción

Desde los trabajos pioneros de Knudson (1921), los horticultores han germinado las semillas de orquídeas mediante la utilización de combinaciones de nutrientes en condiciones estériles (Arditti 1992). Sólo cuando estos métodos fallan, los orquicultores retoman las técnicas de germinación de semillas usando los simbioses naturales (Bernard 1899).

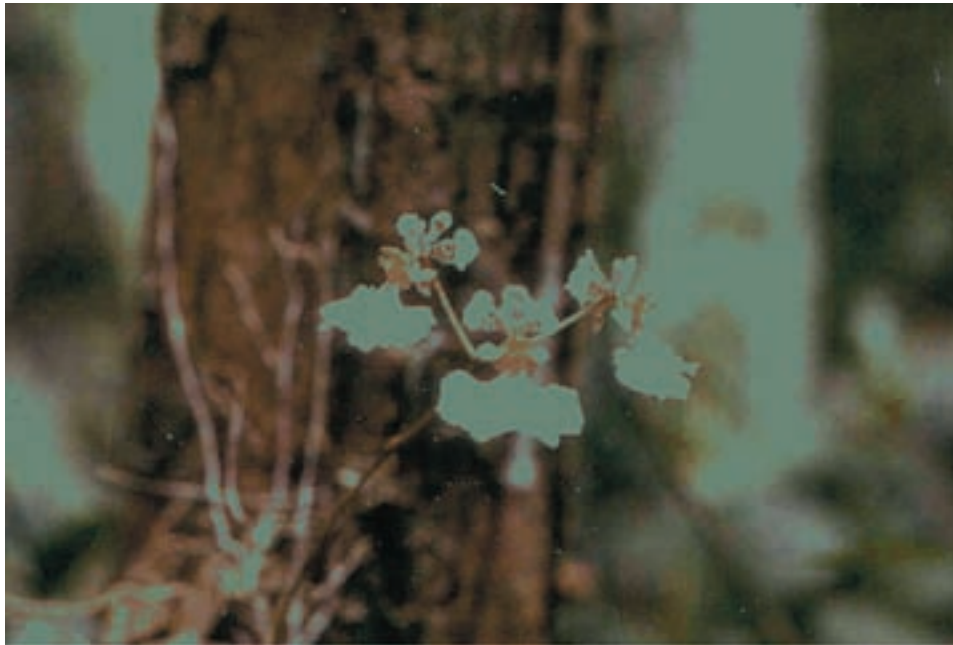
Todas las orquídeas requieren una asociación micorrízica para la germinación de sus semillas, principalmente con hongos basidiomicetos del grupo de *Rhizoctonia* (Rasmussen, 1995). *Rhizoctonia sensu lato* es un grupo artificial que incluye hongos cuyas etapas sexuales pertenecen a los géneros *Thanatephorus*, *Ceratobasidium*, *Sebacina* y *Tulasnella* (Sneh et al. 1991). Esta dependencia se asocia con las mínimas cantidades de nutrientes almacenados en las diminutas semillas de las orquídeas (Arditti y Ghani 2000). Sin embargo, los hongos del grupo de *Rhizoctonia* son bien conocidos por sus capacidades patogénicas en muchos grupos diferentes de plantas.

La germinación artificial de semillas de orquídeas terrestres de zonas templadas es extremadamente difícil y requiere formulaciones de nutrientes muy específicas en medios asépticos de germinación (Arditti, 1992). Por

tanto muchos cultivadores e investigadores utilizan hongos simbióticos para la propagación. Esto contrasta con el cultivo de muchas orquídeas epifitas tropicales, que en general son relativamente fáciles de germinar en condiciones asimbióticas. En consecuencia, los cultivadores de orquídeas tropicales no utilizan la germinación simbiótica para su propagación. Por estas razones se conocen mucho mejor las interacciones simbióticas de germinación de las orquídeas terrestres de zonas templadas que las de orquídeas epifitas tropicales. Sin embargo, las técnicas de germinación simbiótica de semillas epifitas tropicales podrían mejorar el éxito de cultivo de estas orquídeas tanto para fines comerciales como de conservación. El objetivo de este estudio fue comparar el éxito en programas de propagación de orquídeas epifitas tropicales utilizando técnicas simbióticas y asimbióticas de germinación.

## Materiales y métodos

*Tolumnia variegata* (Sw.) Braem (Orchidaceae; subfamilia Epidendroideae; tribu Maxillarieae) es una orquídea epifita tropical endémica de las Antillas Mayores, con excepción de Jamaica. Su nombre hace referencia a su alta variación en sus características florales (Figura 1) (Ackerman 1995). Las semillas



**Figura 1:** Planta adulta de *Tolumnia variegata* en su hábitat natural.

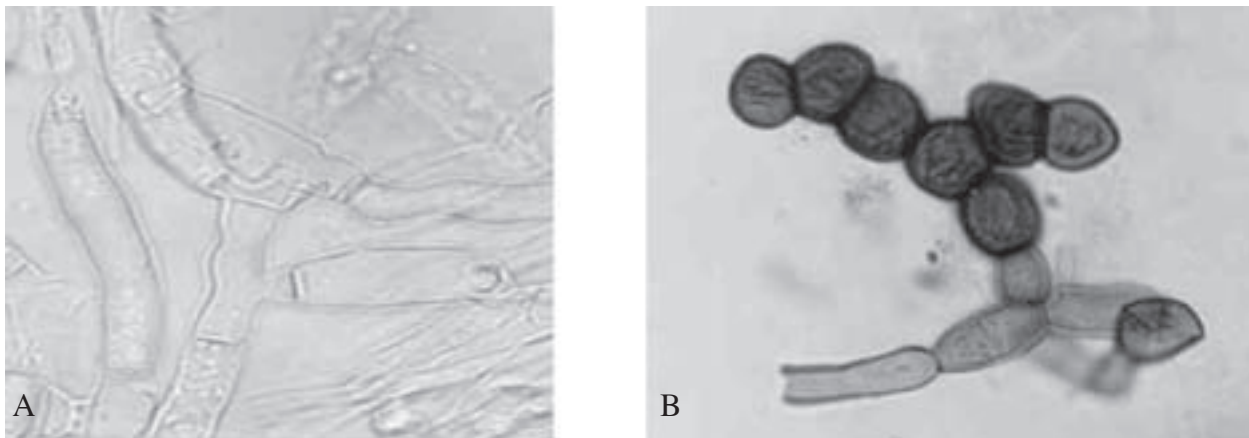
para este estudio se recolectaron en una población en la zona adyacente a la reserva Natural Laguna de Tortuguero en Manatí (18° 27' 37" N, 66° 25' 30" O), Puerto Rico, entre 5 y 10 m.s.n.m. La precipitación promedio anual es de 1.688 mm y la temperatura de 25.4 °C. La zona es clasificada como bosque húmedo tropical en la escala de Holdrige (Ewel y Whitmore 1973).

Se realizaron cuarenta y ocho aislamientos de *Rhizoctonia* (Figura 2) a partir de plantas adultas y juveniles de diferentes poblaciones puertorriqueñas de *T. variegata* (Otero et al., 2002, 2004, 2005, 2007). Las raíces de plantas epifitas encontradas sobre arbustos de *Randia aculeata* L. (Rubiaceae) y *Psidium guajaba* L. (Myrtaceae) se lavaron con Tween 20 en agua corriente y se esterilizaron superficialmente mediante baños seriales en etanol (70%, 1 min), hipoclorito de sodio (2.5%, 2 min) y etanol (70%, 1min). Los segmentos de raíces fueron inoculados en condiciones asépticas en agar de papa y dextrosa (PDA) y agar de extracto de malta (MEA). Los hongos endófitos fueron identificados en el microscopio utilizando la guía de Sneh et al. (1991). Los hongos con características microscópicas de *Rhizoctonia* fueron transferidos a PDA y caracterizados hasta morfoespecies. Caracterizaciones moleculares están disponibles en la literatura (Otero et al. 2002, 2004, 2005, 2007).

Los frutos de *T. variegata* fueron recolectados del sitio de estudio y esterilizados superficialmente utilizando los mismos

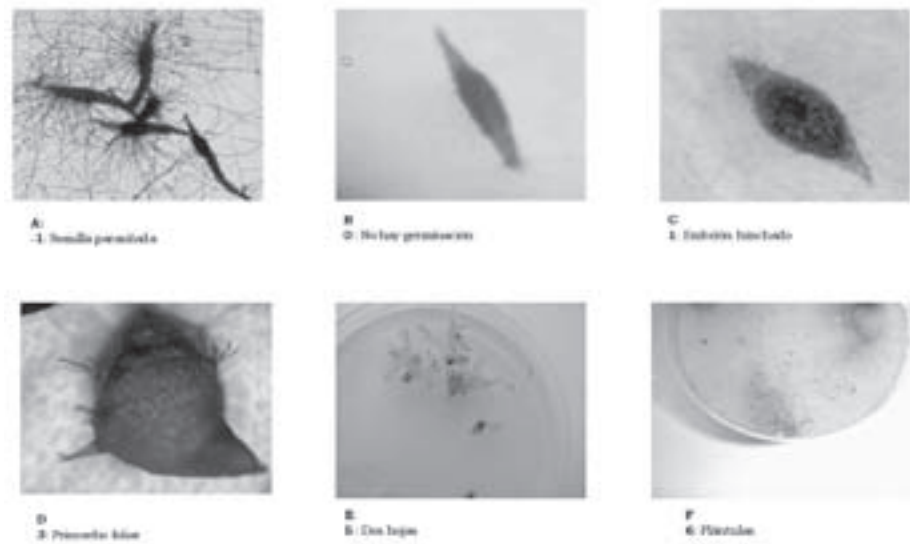
procedimientos que se usaron para las raíces. Las semillas fueron extraídas del fruto en condiciones estériles y su viabilidad fue evaluada con tinción de cloruro de trifenil tretrazolio (TTC, por sus siglas en inglés) (Otero et al., 2005).

Para examinar el efecto de los aislados de *Rhizoctonia* en la germinación de semillas, en placas Petri con Agar de Celulosa (CA) se sembró una mezcla de por lo menos 100 semillas de las tres plantas con mayor viabilidad, en cada una de las cuales se había inoculado un aislado diferente de *Rhizoctonia* tres días antes. Se evaluaron siete hongos y se incluyeron placas control inoculadas con semillas, pero sin el hongo. La germinación asimbiótica para cada especie de orquídea fue evaluada en cinco placas con medio comercial Knudson C (KC, Sigma Aldrich Inc.). Se realizaron dos tomas de datos, a las dos semanas y, dos meses después de la inoculación. Para ello se midieron diez plántulas escogidas al azar de cada placa Petri. Adicionalmente, cada semilla fue asignada a un estado de desarrollo de acuerdo con Stenberg y Kane (1998). En ausencia de germinación la semilla se registró en estado cero (0) (Figura 3B). El embrión < 1000 µm se registró en estado 1 (Figura 3C), con pelos absorbentes se registró en estado 2, con un primordio foliar se registró en estado 3 (Figura 3D), con una hoja en desarrollo y un primordio foliar se registró en estado 4, y con 2 hojas se registró en estado 5 (Figura 3E). Finalmente, las plántulas pequeñas se registraron en estado 6 (Figura 3F). Las semillas

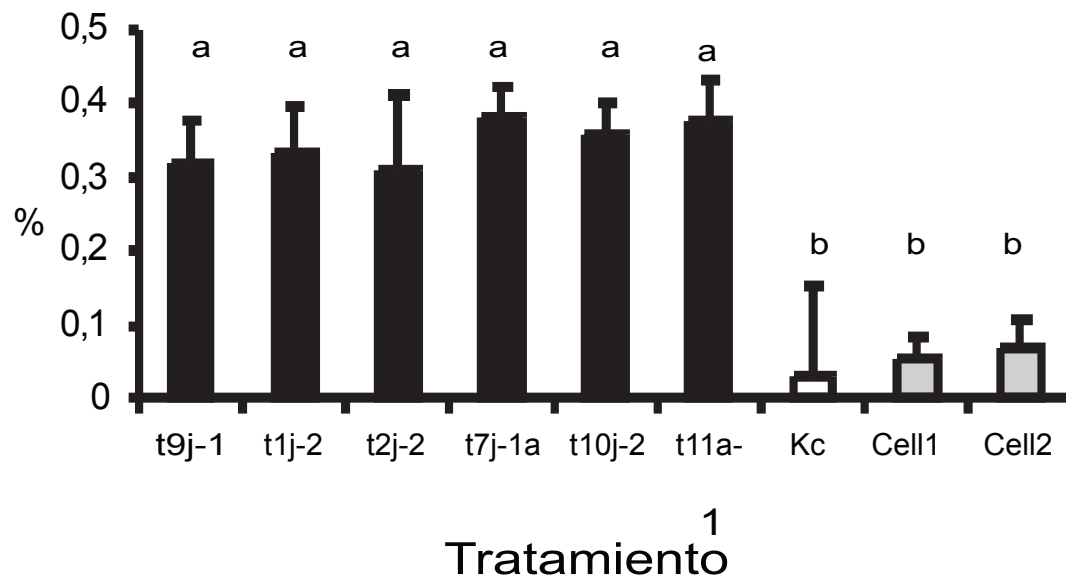


**Figura 2:** *Rhizoctonia* sp., cepa aislada de raíces de *Tolumnia variegata*. (A) Constricción en la ramificación de las hifas de *Rhizoctonia*. (B) Células monilioides.





**Figura 3:** Estados de germinación de semillas y desarrollo de protocormos en *Tolumnia variegata*.



**Figura 4:** Germinación de semillas de *Tolumnia variegata* dos semanas después de la inoculación con diferentes hongos y con controles. Kc Medio Knudson C. Cell: Agar de celulosa sin hongo micorrízico.

parasitadas, determinadas por el crecimiento de hifas a partir de las semillas (Figura 3A), registraron valor negativo (-1).

El efecto de los hongos aislados de *T. variegata* también fue evaluado en la germinación de *Epidendrum ramosum* Jacq. (subfamilia Epidendroideae), *Lepanthes rupestris* Stimson (subfamilia Pleurotallidiinae) y *Psychilis monensis* Saulea (subfamilia Epi-

dendroideae). Los datos fueron recolectados dos semanas después de la siembra de las semillas en la misma forma descrita anteriormente para los experimentos de germinación de semillas de *T. variegata*. Para el análisis de los resultados se utilizó la varianza de una vía ya que cumplían con los requisitos de normalidad exigidos para el análisis.

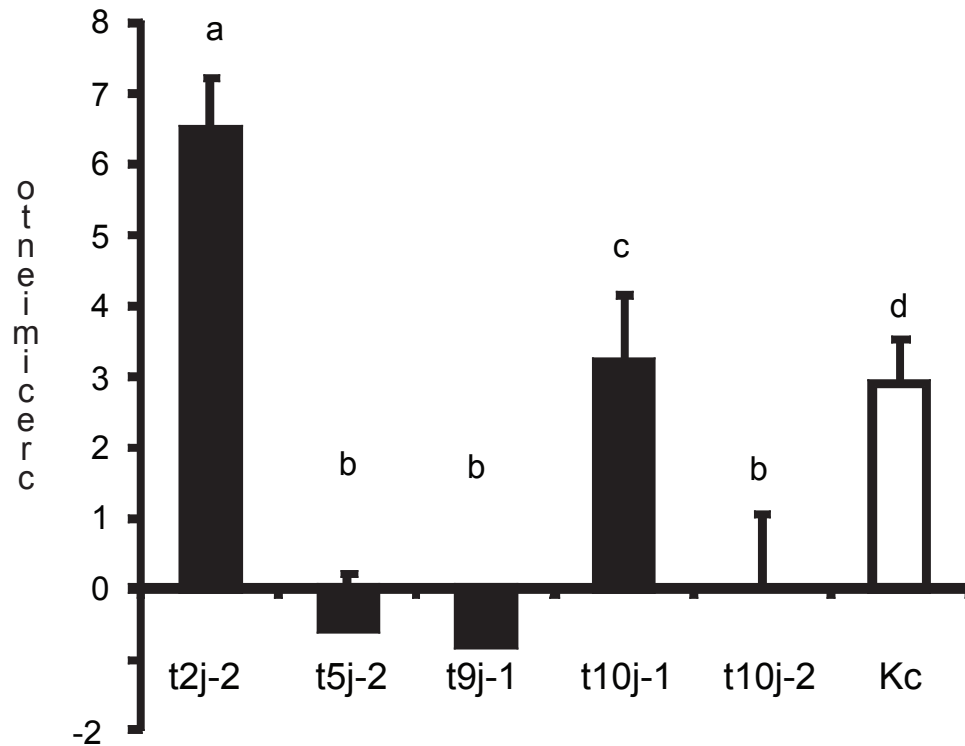
### Resultados

En total fueron aislados 55 hongos (clasificados en 26 morfoespecies) de raíces de *T. variegata* y 48 hongos (21 morfoespecies) con características de *Rhizoctonia* (87.3%), 31 de los cuales (en 13 morfoespecies) fueron evaluados como micorrizantes. Algunos aislados fueron micorrizicos, pero otros parasitaron las semillas. Trece (6 morfoespecies) mostraron un efecto positivo en la germinación de semillas.

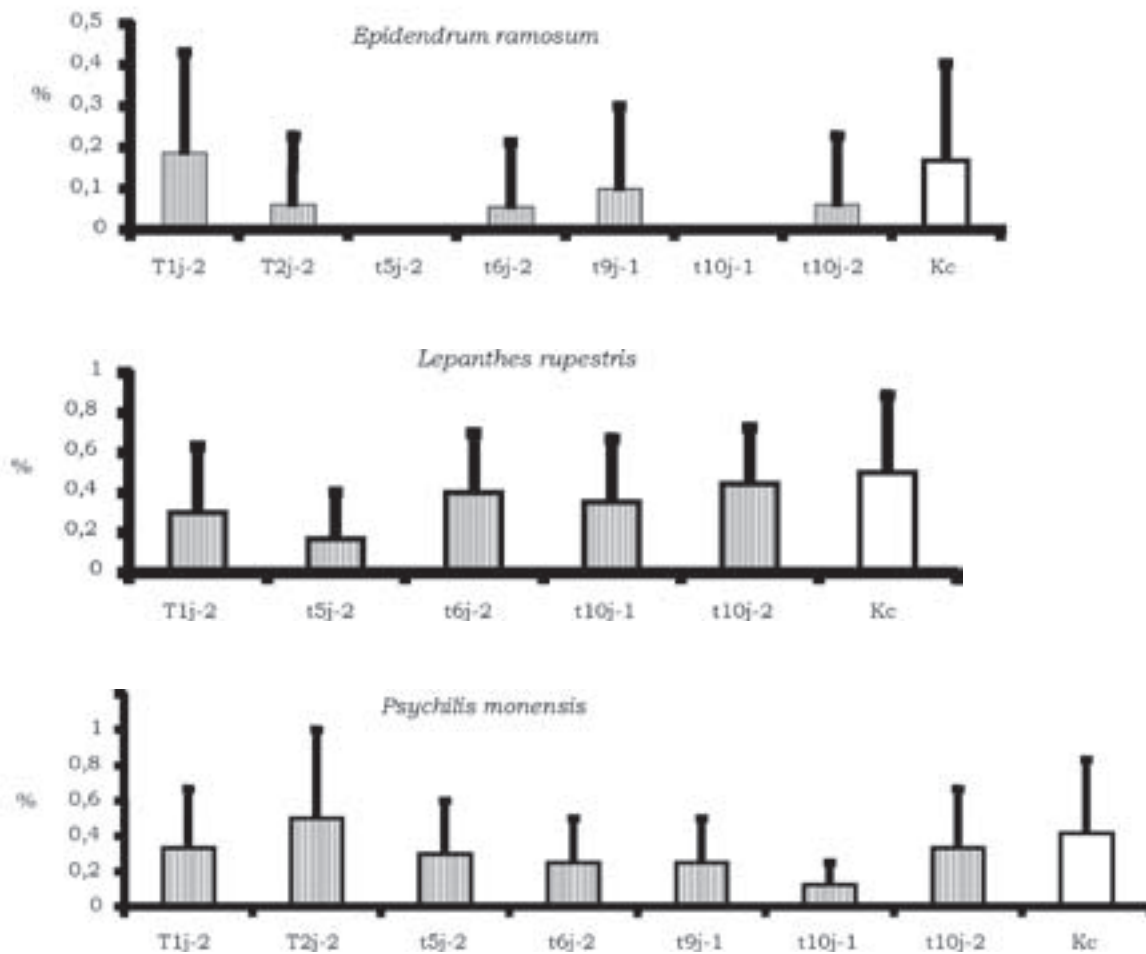
Los embriones de *T. variegata* que germinaron en presencia de uno de los 13 aislados de *Rhizoctonia* aislados a partir de *T. variegata* fueron significativamente más grandes que aquellos que germinaron en el medio de Knudson (ANOVA de una vía,  $F_{(1,9)} = 63,00$ ,

$P < 0.0001$ ) dos semanas después de haber sido inoculados (Figura 4). También se encontraron diferencias significativas (ANOVA de una vía,  $F_{(1,9)} = 62,32$ ,  $P < 0.0001$ ) dos meses después de la inoculación (Figura 5).

La germinación de otras especies de orquídeas con hongos micorrizicos de *T. variegata* no mostró ventajas relativas en relación con la germinación simbiótica (ANOVA de una vía, *E. ramosum*  $F_{(1,7)} = 1,15$ ,  $P = 0.32$ ; *L. rupestris*  $F_{1,7}$   $P = 0.32$ ; y *P. monensis*  $F_{1,7} = 0,53$   $P = 0.50$ ). Las semillas de *L. rupestris* y *P. monensis* iniciaron germinación con todos los hongos, mientras que en *E. ramosum* la germinación se indujo con todos, menos dos hongos (Figura 6).



**Figura 5:** Germinación de semillas de *Tolumnia variegata* dos meses después de la inoculación con diferentes aislados y con controles. Kc Medio Knudson C. Cell: Medio de celulosa sin hongo micorrizico.



**Figura 6:** Germinación de semillas de *Epidendrum ramosum* (A), *Lepanthes rupestris* (B), y *Psychilis monensis* (C) dos semanas después de la inoculación con diferentes hongos micorrízicos con controles. Kc Medio Knudson C.

## Discusión

Las semillas de *T. variegata* germinaron mejor en presencia de hongos aislados de *T. variegata* que en el medio de Knudson. Aunque los hongos micorrízicos no son utilizados frecuentemente para la germinación *in vitro* de semillas de orquídeas epifitas, la utilización de cepas apropiadas de micorrizas podría mejorar el cultivo de estas plantas a partir de semillas. No obstante, los hongos micorrízicos aislados de *T. variegata* no fueron tan benéficos para inducir la germinación de otras especies de orquídeas epifitas. Los datos en este estudio sugieren que las relaciones entre orquídeas epifitas y sus micorrizas son más específicas de lo que se había creído (Arditti et al. 1990). Dicha especificidad puede complicar la aplicación

comercial de estos hongos en el cultivo de orquídeas, porque implica que cada especie necesita un grupo particular de ellos. Se precisa más investigación para identificar los simbiontes naturales asociados con las especies de importancia económica y con las especies amenazadas, con el fin de mejorar las condiciones de cultivo a partir de semillas. Esta meta se facilitaría mediante la creación y el análisis *in vitro* de un banco de cepas micorrízicas de orquídeas y la evaluación de los efectos en la germinación de diferentes especies de orquídeas. Estos resultados permitirán el aprovechamiento sostenible de un recurso importante en la floricultura, como lo son las orquídeas epifitas tropicales.

La germinación simbiótica de semillas de orquídeas también tiene otra ventaja sobre

la germinación asimbiótica. Los medios de cultivo para germinación asimbiótica (como el medio de Knudson C que se utilizó en este ensayo) son ricas en azúcares y nutrientes, y las plántulas tardan meses para establecerse. Esta combinación pone las plántulas susceptibles a la contaminación fúngica. La inoculación de las semillas con un hongo micorrízico contribuye a evitar el crecimiento de otros hongos que las pueden contaminar (Porras and Bayman, 2007).

### Conclusiones

Las técnicas de germinación simbiótica utilizando hongos micorrízicos de orquídeas son una alternativa para la germinación de semillas de estas plantas epifitas tropicales. En comparación con la utilización de métodos asimbióticos, el uso de simbiontes naturales puede ser más eficiente si se cuenta con los hongos apropiados para la germinación. Desafortunadamente, aún se conoce muy poco sobre cuáles son los simbiontes más apropiados para las especies de orquídeas con importancia económica y por tanto es recomendable hacer estudios más profundos que permitan identificar los mejores hongos para estimular la germinación *in vitro* de dichas especies.

### Agradecimiento

A L. Amaury Castro, Angélica Carrillo, Jessyka García, Laura Fidalgo, Paola Pabón, Andrea Porras y Sergio Rocafort por su ayuda en el laboratorio. Nicola S. Flanagan nos brindó un inmenso apoyo. Esta investigación fue apoyada por una beca de NSF-EPSCoR (NSF grant EPS-9874782) y de NASA-IRA otorgada a J. T. Otero.

### Referencias

Ackerman, J. D. 1995. An orchid flora of Puerto Rico and the Virgin Islands. Mem. NY Bot. Garden. 73:1 - 203  
 Arditti, J. 1992. Fundamentals of orchid biology. New York, John Wiley & Sons. 691 p.  
 Arditti, J., Ghani, A. K. A. 2000. Tansley Review No. 110. Numerical and physical properties

of orchid seeds and their biological implications. New Phytol. 145:367 - 421.  
 Arditti, J., Ernst R., T. W. Yam, C. Glabe. 1990. The contributions of orchid mycorrhizal fungi to seed germination: a speculative review. Lindleyana 5:249 - 255.  
 Bernard, N. 1899. Sur la germination du *Neottia nidus-avis*. C R Hebd. Seances Acad. Sci. 128:1253 - 1255.  
 Ewel, J.J; J. L. Whitmore. 1973. The ecological life zones of Puerto Rico and U.S. Virgin Islands. Forest Service Research Papers ITF 18. USDA, Institute of Tropical Forestry, Río Piedras, Puerto Rico. 74 p.  
 Knudson, L. 1921. La germinación no simbiótica de las semillas de orquídeas. Bol Soc Esp Hist Nat. 21:250 - 260.  
 Otero J. T., Ackerman J. D., Bayman P., 2002. Diversity and host specificity of endophytic Rhizoctonia-like fungi from tropical orchids. Am. J. Bot. 89:1852 - 1858.  
 Otero J. T., Ackerman J. D., & Bayman P. 2004, Differences in mycorrhizal preferences between two tropical orchids. Mol. Ecol 13:2393 - 2404.  
 Otero J. T., Bayman P., Ackerman J. D., 2005. Variation in mycorrhizal performance in the epiphytic orchid *Tolumnia variegata in vitro*: The potential for natural selection. Evol. Ecol. 19:29 - 43.  
 Otero J.T., Flanagan N., Herre E. A., Ackerman J. D., Bayman, P. 2007. Widespread mycorrhizal specificity correlatos to mycorrhizal function in the neotropical epiphytic orchid *Ionopsis utricularioides* (Orchidaceae). Am. J. Bot. 94:1944 - 1950.  
 Rasmussen H. N. 1995. Terrestrial orchids: From seeds to mycotrophic plants. Cambridge: University Press. 444 p.  
 Porras A, P Bayman, 2007. Mycorrhizal fungi of *Vanilla*: diversity, specificity, and effects on seed germination and plant growth. *Mycol.* 99:510 - 525.  
 Sneh, B., Burpee L., Ogoshi. A.1991. Identification of *Rhizoctonia* Species. St. Paul Minnesota, USA: Amer. Phyt. Soc. 133 p.  
 Stenberg, M.L. Kane. M. E.1998. *In vitro* seed germination and greenhouse cultivation of *Encyclia boothiana* var. *erythrinoides*, an endangered Florida orchid. Lindleyana 13:101 - 112

# Fenología de floración y fructificación en *Macadamia integrifolia*

## Flowering and fructification phenology in *Macadamia integrifolia*

Consuelo Montes Rojas<sup>1</sup>, Clemencia Villegas García<sup>2</sup>, Maria Emma Lozano Muñoz<sup>3</sup>,  
Luz Danny Garzón Rojas<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup> Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigación para el Desarrollo Rural, Popayán, Cauca, Colombia. <sup>2</sup> Centro de Investigaciones en café (Cenicafe). Autor para correspondencia. [cmontesr@unicauca.edu.co](mailto:cmontesr@unicauca.edu.co)

Rec.:13-03-09 Acept.: 20-10-09

### Resumen

En Timbío, departamento del Cauca (Colombia) existen aproximadamente 287 ha cultivadas con diferentes variedades de macadamia (*Macadamia integrifolia*) que aún no expresan su mejor potencial. Durante un año a partir de 2005 se evaluó el comportamiento fenológico de floración y fructificación en las variedades: HAES 294, 344, 741, 788 y 800. Se seleccionaron 40 inflorescencias por variedad para medir: longitud de inflorescencia, número de flores/inflorescencia, número de frutos/racimo y diámetro de frutos y, definir las principales etapas fenológicas. El crecimiento de la flor se extendió entre 57 y 62 días y la inflorescencia presentó cinco fases: aparición del botón floral, diferenciación de unidades florales, finalización del crecimiento, apertura floral y polinización. La longitud de inflorescencia fue estadísticamente significativa y varió entre 10.7 y 15.7 cm, la variedad HAES 788 presentó las inflorescencias más largas y HAES 800 las más cortas. El número de flores/inflorescencia varió entre 89 y 135, la variedad HAES 800 mostró el menor número y la HAES 294, el mayor. Los frutos más grandes fueron producidos por HAES 788, 800 y 294 con diámetro promedio de 3.1 cm y los más pequeños, de 2.8 cm, por HAES 344 y 741. Se identificaron tres etapas: amarre de frutos, desarrollo morfológico y madurez fisiológica cuya duración varió entre 210 y 234 días. El número de frutos/racimo varió, en promedio, entre 3.2 y 3.9 para HAES 344, 294, 788 y 741, y fue de 1.2 frutos/racimo para HAES 800.

**Palabras clave:** *Macadamia integrifolia*, *Macadamia ternifolia*, Proteaceae, nuez de macadamia, fenología, fisiología vegetal, floración, fruto seco.

### Abstract

In the rural area of Timbío, located in the Cauca region of Colombia, an area of 287 ha is planted with different varieties of macadamia (*Macadamia integrifolia*), which still have not realized their full potential. In this research, the phenology of the flowering and fructification of five macadamia varieties: HAES 294, HAES 344, HAES 741, HAES 788, HAES 800 was evaluated. Forty inflorescences per variety were selected in order to determine: inflorescence period, number of flowers/inflorescence,

1 Ing. Agrónomo, M.Sc. en Recursos Fitogenéticos Neotropicales.

2 Ing. Agrónoma, M.Sc. en Fitopatología.

3-4 Agrozootecnistas

number of fruits/bunch and fruit diameter. Additionally, the most important phenological stages of the two processes were defined. Flower growth lasted between 57 and 62 days, and the inflorescence had five stages: flower buttons, differentiation of flower units, end of growth, flower opening and pollination. Differences in the inflorescence period were statistically significant and ranged from 10.7 to 15.7 cm, with the HAES 788 variety having the longest inflorescences and the HAES 800 variety the shortest. The number of flowers/inflorescence ranged from 89 to 135: HAES 800 had the fewest and HAES 294 the most. The biggest fruits were obtained from HAES 788, HAES 800 and HAES 294 with an average diameter of 3.1 cm, and the smaller fruits, with a 2.8 cm average diameter were obtained from HAES 344 and HAES 741. Three stages were identified: fruit tie-up, morphologic development and physiological maturity; the duration of which ranged from 210 to 234 days. The average number of fruits/bunch for HAES 344, HAES 294, HAES 788 and HAES 741 ranged from 3.2 to 3.9, and for HAES 800 was 1.2 fruits/bunch.

**Key words.** *Macadamia integrifolia*, *Macadamia ternifolia*, phenology, nuts, fructification, crop physiology, flowering

### Introducción

La macadamia (*Macadamia integrifolia*) es originaria del sudeste de Queensland y nordeste de Nueva Gales del Sur, no obstante su desarrollo como cultivo mejorado comercial ha ocurrido principalmente en Hawaii. También existen plantaciones en Sudáfrica (24 y 30° S), Florida (25° N), California (33° N) y Costa Rica (8° y 11° N) (Rincón, 2000).

El rango adecuado de temperatura para la producción de macadamia se encuentra entre 18 °C y 26 °C, con un óptimo entre 20 °C y 23 °C. Para una floración óptima la temperatura nocturna no debe exceder 20 °C ni ser inferior a 18 °C, por fuera de este rango se inhibe la formación de racimos. Para el crecimiento adecuado de la planta, la temperatura debe estar entre 18 °C y 29 °C; temperaturas medias inferiores a 17 °C retardan el crecimiento, la iniciación de la producción es más tardía, se retrasa la maduración del polen, la polinización es irregular, el grosor de la corteza es mayor, la almendra pierde calidad organoléptica y disminuye su contenido de aceite (Armadans, 1998). La máxima tasa de fotosíntesis se consigue a 29 °C y decrece a medida que la temperatura aumenta. La mayor actividad fotosintética ocurre entre 17 °C y 25 °C. El porcentaje de almendra de primera calidad incrementa en la medida que la temperatura aumenta durante el periodo de desarrollo de las nueces (Rincón, 2000).

Esta especie se adapta bien en sitios localizados entre 1000 y 1500 m.s.n.m., por fuera de este rango puede presentar proble-

mas de floración, una menor producción y almendras de menor calidad. Es muy sensible a la sequía, por tanto, la distribución de la precipitación a través del tiempo resulta más importante que el volumen de la misma. El rango apropiado de precipitación anual se encuentra entre 1500 y 3000 mm. La humedad relativa adecuada para este cultivo debe variar entre 70 y 80%, cuando ésta es baja aumentan los problemas de estrés por sequía y, por el contrario, cuando es alta, se favorecen los problemas fitosanitarios (Rincón, 2000).

En las fincas Santa Clara y Gibraltar, localizadas en el municipio de Timbío, departamento del Cauca (Colombia) existen 287 ha cultivadas con macadamia que producen, en promedio, 4.9 kg/árbol por año de nuez en concha, no obstante, se han registrado árboles con producciones anuales de 20 kg (Barona et al., 1999). El presente trabajo tuvo como objetivo estudiar las etapas de desarrollo para conocer la fenología de la floración y fructificación del cultivo de *Macadamia integrifolia* en el municipio de Timbío y determinar los efectos que los factores climáticos tienen en estas etapas.

### Materiales y métodos

La finca Santa Clara está localizada a 2° 25' N y 76° 41' O, a 1700 m.s.n.m., con una humedad relativa de 81%, una temperatura promedio de 18.2 °C –máxima de 23.3 °C y mínima de 14.5 °C– y una precipitación promedio anual de 2151 mm distribuidos en 258 días (Cuadro 1) (Fedecafé, 1999). El cultivo

**Cuadro 1.** Registros de clima en la zona durante el periodo de evaluación. Timbío, Cauca, Colombia.

Fecha	Temperatura (°C)					Humedad relativa (%)				Prec. (mm)
	Mínima	Máxima	Media	Máx. absoluta	Mín. absoluta	1	2	3	Promedio	
Abr-05	15.6	24.6	20.1	27.4	13.6	96.6	62.13	83.43	80.72	100
May-05	15.24	24.7	20.5	27.2	13	96.8	59.8	86.38	80.93	98
Jun-05	14.23	24.8	19.52	27.6	10.2	97.5	56.7	77.1	77.1	43
Jul-05	13.1	25.8	19.48	28.2	9.2	95.3	45.7	60.09	67.03	32
Ago-05	12.87	26.49	19.6	28.4	8.8	95.16	43.8	61.83	66.93	32
Sep-05	12.96	25.47	19.22	30	10.4	92.5	41.3	59.8	64.533	127
Oct-05	14.79	23.9	19.35	26.8	13.6	96.64	59.29	89.51	81.813	269
Nov-05	15.2	22.9	19.05	25.6	11.6	96	64.5	92.96	84.487	519
Dic-05	14.8	22.38	18.6	26.6	12	93.9	68	92.8	84.9	277
Ene-06	14.8	22.38	18.8	25.2	13.6	96.4	65	88.8	83.4	259
Feb-06	15.6	23.8	18.44	25.8	12.4	97.32	61.28	86.1	81.567	124
Mar-06	15.38	23.41	19.4	26.8	13.8	96.83	64.54	88.77	83.38	209
Abr-06	14.99	23.32	19.16	25.2	12.6	96.9	63.7	90.2	83.6	214

**Fuente:** Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Fedecafé, 2006).

de *Macadamia integrifolia* fue sembrado en 1992.

Se tienen las variedades HAES 294, 344, 741, 788 y 800, sembradas en hileras intercaladas. Para el estudio, se tomaron al azar cuatro árboles por variedad. En las variedades HAES 294, 741, 788 y 800 se marcaron 40 inflorescencias en estado inicial, mientras que para la variedad HAES 344 se tomaron 10 botones florales de un árbol. Para identificar los botones florales se realizaron visitas diarias y luego se hicieron dos visitas por semana para evaluar las variables: longitud de la inflorescencia (cm/semana) y número de flores/inflorescencia. En frutos se registraron las variables: diámetro desde el día 42 hasta madurez fisiológica y número de

frutos/racimo. Las observaciones se hicieron desde abril de 2005 hasta el mismo mes de 2006. Los resultados fueron analizados mediante estadística descriptiva y comparación de medias con la prueba de Duncan.

## Resultados y discusión

### Fenología de floración

Se observó un desarrollo progresivo de la longitud de las inflorescencias de las variedades hasta el día 48, estabilizándose el día 56 para dar paso a la formación de frutos (Cuadro 2). La longitud de la inflorescencia se presentó de mayor a menor para las cinco variedades así: HAES 788, 741, 294, 344 y 800 (Cuadro 3); siendo esta última estadísticamente di-

**Cuadro 2.** Longitud de inflorescencia por variedad de *Macadamia integrifolia* a través del tiempo de observación. Timbio, Cauca, Colombia.

Día	Variedad HAES (no.)	Longitud (cm)	C. V (%)	Día	Variedad HAES (no.)	Longitud (cm)	C.V. (%)
1	788	0.60 a*	42.77	35	788	13.53 a	29.69
	294	0.54ab	54.72		741	12.43 a	25.61
	741	0.50 ab	54.92		294	11.99 ab	26.135
	800	0.44 b	48.04		344	10.03 bc	26.12
	344	0.41b	46.02		800	8.93 c	31.47
7	788	1.86 a	39.62	42	788	14.92 a	20.49
	741	1.66 ab	46.81		741	13.42 a	20.18
	294	1.59 abc	47.49		294	12.5 ab	23.61
	344	1.27 bc	59.91		344	11.4 bc	24.56
	800	1.20 c	41.91		800	10.14 c	23.74
13	788	4.13 a	38.60	48	788	15.52 a	24.73
	741	3.82 a	45.21		741	13.95 ab	18.23
	294	3.61 ab	46.76		294	12.6 bc	23.23
	344	2.76 bc	43.22		344	12.0 bc	11.54
	800	2.55 c	45.73		800	10.72 c	21.95
20	788	7.53 a	31.36	56	788	15.76 a	23.54
	741	7.47 a	39.59		741	14.12 ab	18.45
	294	6.87 ab	39.88		294	12.6 bc	23.23
	344	5.22 bc	30.65		344	12.1 bc	11.54
	800	4.53 c	45.35		800	10.76 c	21.66
28	788	11.05 a	35.53				
	741	10.65 a	33.55				
	294	10.19 ab	31.13				
	344	9.31 bc	20.54				
	800	7.07 c	37.96				

\* Valores en una misma variedad seguidos de letra iguales no difieren en forma significativa (P < 0.05), según la prueba de Duncan.

**Cuadro 3.** Resumen de promedios de longitud de inflorescencia en variedades de macadamia. Timbio, Cauca, Colombia.

Variedad (HAES no.)	Muestras (no. obs.)	Obs. (días)	Longitud (cm)
788	40	29	11.05 a*
741	40	30	10.65 a
294	40	27	10.19 ab
344	10	34	10.03 ab
800	40	33	8.93 c

\* Valores en una misma variedad seguidos de letra iguales no difieren en forma significativa (P < 0.05), según la prueba de Duncan.

ferente en comparación con las otras cuatro variedades. Rincón (2000) afirma que las inflorescencias de macadamia pueden presentar una longitud variable entre 10 y 25 cm, lo cual coincide con los resultados obtenidos en este trabajo. Por otra parte, Gil (1996)

encontró que la longitud de la inflorescencia determina el número de flores.

El alto coeficiente de variación de las mediciones posiblemente fue debido a la genética de las variedades, al ataque de insectos cortadores, ataques por patógenos y cambios



bruscos en el clima que pudieron alterar la precisión de los resultados.

**Observaciones.** Como resultado de las mediciones de campo sobre fenología de macadamia en Timbío, Cauca, es posible hacer las observaciones siguientes:

- Las unidades florales del racimo se dispusieron formando entre cuatro y seis anillos a lo largo del raquis. El total de flores fue constante, mientras que el espacio entre anillos fue variable.
- La variedad HAES 788 reveló la mayor longitud de racimo desde el inicio de floración y la variedad HAES 344 la menor, con 0.19 cm de diferencia. Las variedades HAES 788, 741, 294 y 344 presentaron longitudes de racimo entre 10 y 11 cm, mientras que HAES 800 mostró una longitud inferior (8.9 cm).
- Al finalizar el crecimiento de la inflorescencia se observaron flores engrosadas, de color verde pálido que indican la proximidad de la apertura. Los cambios en longitud no fueron significativos; entre los días 41 a 43, la variedad HAES 788 presentó las inflorescencias más largas (15.5 cm) seguido de las variedades HAES 741 (13.4 cm), HAES 294 (12.5 cm), HAES 344 (11.4 cm) y HAES 800 con las inflorescencias más cortas (10.7 cm), esta longitud tiene incidencia directa en el número de frutos por inflorescencia y por lo tanto en producción (Gil, 1996).
- La variedad HAES 294 fue la más precoz al alcanzar la máxima longitud de inflorescencia el día 40, mientras las variedades HAES 741, 344 y 788 alcanzaron su tamaño máximo entre los días 41 y 43; la variedad HAES 800 el día 46, siendo significativamente diferente al crecimiento que ocurrió en la variedad HAES 294. (Cuadro 2)
- La apertura de las unidades florales comenzó indistintamente desde la base hacia el ápice o desde la mitad hacia arriba. Para Armadams (1998) este proceso se inicia por la base, lo cual no coincide con lo observado en este estudio.
- El color de la inflorescencia cambia a blanco crema. Se observó que el cáliz tiene forma de tubo, los cuatro estambres

están fijos a cuatro sépalos con ápices curvados, el pistilo está colocado sobre un disco y termina en un estilo largo (Rincón, 2000). Se presentó polinización entomófila por insectos de los órdenes Himenóptera, Díptera, Coleóptera y Lepidóptera.

- Se observó que las inflorescencias de las variedades HAES 294, 741 y 344 abrieron entre los días 51 y 55, mientras que las de HAES 788 abrieron el día 57 y fueron diferentes a HAES 294 y 800 (día 61). Es necesario señalar que la etapa más importante en la floración es el periodo de apertura de la inflorescencia, ya que ésta determina la polinización y formación de frutos. Las inflorescencias estuvieron pocos días abiertas, siendo la variedad HAES 294 la que permaneció más tiempo (6 días), seguida por HAES 741 y 788 con 5 días y HAES 800 y 344 con 4 días.
- El periodo comprendido entre botón floral y ántesis (inflorescencia abierta) varió entre 51 y 61 días dependiendo de la variedad, la menor duración es determinante de la precocidad de la variedad.
- En el periodo de polinización la inflorescencia se torna de color café, desaparecen los sépalos petaloides y se hace visible el estigma, el cual una vez sucede la fecundación empieza a ensancharse para formar el fruto.
- En la última fase de fenología de floración, la polinización se presentó entre los días 57 y 61 para las variedades HAES 294, 741 y 344 ( $P < 0.05$ ), y entre 62 y 66 días para las variedades HAES 788 294 y 800 con diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

La inflorescencia de *M. integrifolia* desde su aparición como botón floral mantiene un número constante de flores y sólo varía por factores externos como clima e incidencias de plagas y enfermedades, que pueden ocasionar la pérdida de algunas de ellas. En el Cuadro 4 se observa que el mayor número de flores se obtuvo en la variedad HAES 294 posiblemente por presentar el espacio más reducido entre anillos florales. Una condición contraria ocurrió con las variedades HAES 788 y 741, aunque en ambos casos no se encontraron diferencias significativas. El segundo grupo lo conformaron las variedades HAES 741,

**Cuadro 4.** Numero de flores por inflorescencia en variedades de *Macadamia integrifolia*, Timbio, Cauca, Colombia.

Variedad HAES (no.)	Muestras (no.)	Flores (no.)	C.V.
294	135.17	135.17 a *	30.29
788	128.07	128.07 a	28.82
741	116.95	116.95 ab	35.76
344	109.05	109.05 b	16.05
800	89.65	89.65 b	44.75

\* Valores en una misma variedad seguidos de letra iguales no difieren en forma significativa (P < 0.05), según la prueba de Duncan.

344 y 800 siendo las dos últimas las que presentaron inflorescencias más cortas y menor número de flores.

De acuerdo con Rincón (2000) y Nagao (1992) los racimos de *M. integrifolia* poseen entre 100 y 300 unidades florales, rango que coincide con el que presentan las variedades HAES 294, 788, 741 y 344 que oscila entre 135 y 109, por el contrario, la variedad HAES 800 presenta 89 unidades florales, número que se considera bastante reducido.

### Fenología de fructificación

El desarrollo final del fruto es función del número de células producido durante el periodo de división y del volumen alcanzado por ellas durante el engrosamiento y maduración del fruto propio de cada variedad (Velarde, 1996). Todas las variedades mostraron un crecimiento exponencial hasta el día 112, momento en el

cual inician el proceso de madurez fisiológica. Las variedades 788, 294 y 800 presentaron el mayor diámetro de fruto (3.1 cm) y las variedades HAES 741 y 344 un diámetro de 2.8 cm con diferencias significativas (P < 0.05) (Cuadro 5.) Rincón (2000) considera que un diámetro adecuado para el fruto en cáscara de *Macadamia* sp. es de 2.9 cm, lo que coincide con los hallazgos en este estudio. Por otro lado, Armadams (1998) encontró que la variedad HAES 344 presenta el fruto de mayor tamaño en cáscara, lo que no concuerda con los resultados de este estudio.

El coeficiente de variación para el diámetro de los frutos fue bajo (5.1% a 11%) debido, posiblemente, a que el tamaño de estos depende más de los factores nutricionales –que en este caso eran adecuados para el cultivo (Cuadro 6) – y a las características genéticas, que al ataque de insectos y enfermedades.

**Cuadro 5.** Días a madurez fisiológica y diámetro de fruto en variedades de *Macadamia integrifolia*, Timbio, Cauca, Colombia.

Variedad	Muestras (no.)	Prom. (días)	Diámetro (cm)
294	25	210.56 a*	3.10
741	27	211.56 b	2.81
800	22	212.86 a	3.14
788	24	214.08 a	3.14
344	8	234.50 b	2.80

\* Valores en una misma variedad seguidos de letra iguales no difieren en forma significativa (P < 0.05), según la prueba de Duncan

**Cuadro 6.** Análisis foliar de *Macadamia integrifolia* cultivada en Timbio, Cauca, Colombia.

Procedencia	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	(%)					(ppm)				
Finca Santa Clara <sup>a</sup>	2.44	0.185	0.88	0.4	0.11	141	223.25	20.5	11.25	12.5
Rangos óptimos <sup>b</sup>	1.3 1.5	0.08- 0.9	0.65- 0.80	0.65- 0.75	0.09-0.11	20-200	100-1000	15-50	5-10	40-80

\* Fuente: Análisis Foliar Macadamia. Timbio, Cauca. Laboratorio Disciplina de Suelos. Cenicafé.

\*\* Fuente: Rangos óptimos de nutrimentos en hojas de macadamia. (Rincón, 2000)

La fenología de fructificación se puede dividir en las etapas amarre, crecimiento y madurez fisiológica del fruto. Teniendo en cuenta la duración de cada una de ellas, los resultados se analizaron por estadística descriptiva y la prueba de Duncan.

El amarre de frutos comprende el periodo entre la polinización de la inflorescencia hasta el momento cuando alcanzan un diámetro entre 0.7 y 0.9 cm. En el comienzo de este periodo el cuajado es abundante, pero muchos frutos jóvenes se desprenden y caen al suelo (Rincón 2000). Esta etapa se registró 42 días después de la fecundación, cuando los frutos presentan un tamaño adecuado para la medición.

El periodo de crecimiento comprende desde el momento cuando el fruto alcanza un diámetro aproximado de 0.9 cm hasta que empieza la madurez fisiológica. Velarde (1996) considera que durante este periodo se observa una gran actividad de división celular, lo que origina aumento de volumen y peso hasta alcanzar el tamaño normal, siendo característico de cada variedad. En este caso las variedades HAES 788, 294 y 800 presentaron el mayor tamaño de fruto con 3.1, 3 y 2.9 cm de diámetro respectivamente, y las variedades HAES 344 y 741 los menores, con 2.7 cm. Las variedades alcanzaron su mayor tamaño de fruto entre 116 y 120 días.

La madurez fisiológica comienza cuando finaliza el crecimiento del fruto y se extiende hasta cuando éste cae del árbol. En esta etapa se produce una serie de transformaciones bioquímicas que le dan las características de acumulación de aceite y sabor especiales. Una vez termina la madurez fisiológica se presenta el agrietamiento de la cáscara y finalmente la caída. La variedad HAES 294 es la excepción, ya que presenta el pericarpio abierto y retiene los frutos en el árbol. En el presente estudio, la madurez fisiológica varió entre 210 y 234 días después de la floración. Las variedades HAES 294, 741, 800 y 788 alcanzaron la madurez fisiológica entre 210 y 214 días después de finalizar la floración, formando un grupo que presenta diferencias ( $P < 0.05$ ) con la variedad HAES 344 que llegó a la madurez fisiológica a los 234 días, lo cual concuerda con los resultados de Rincón

(2000) para esta variedad. El promedio de frutos/racimo (entre paréntesis) fue similar en las variedades HAES 344 (3.9), 294 (3.3), 788 (3.2) y 741 (3.1), siendo mayor ( $P < 0.05$ ) que para la variedad HAES 800 (1.3).

En el comienzo de la fructificación se presentó la caída masiva de residuos florales, lo que afectó entre 70% y 95% el número total de frutos, sin llegar a afectar la cosecha. Aunque en el cultivo de *Macadamia* sp. se observaron racimos con aproximadamente 30 frutos en la etapa de amarre, sólo entre 1% y 3% de las flores por inflorescencia llegaron a la madurez, lo cual difiere de los resultados de Rincón (2000) y Boyton et al. (2002) quienes afirman que del número total de flores, el 5% llega a la madurez.

La reducción significativa en los rendimientos para *M. integrifolia* en Timbío (Cauca), puede ser debida a las deficiencias de nutrientes en el suelo, especialmente calcio y boro, tal como lo muestran los resultados en el Cuadro 5. Otros factores, como el ataque de insectos plaga y condiciones ambientales adversas en la zona, también pueden limitar el cuajamiento y reducir el número de frutos por racimo en la plantación. Según Velarde (1996) la lluvia es un factor de gran influencia en los procesos de polinización y fecundación ya que puede limitar la actividad de los insectos polinizadores y arrastrar los granos de polen al suelo.

El coeficiente de variación para el número de frutos/racimo varió entre 108% y 165%, considerando como alto, aunque no existan parámetros de comparación para *Macadamia integrifolia*. Este rango refleja una alta variabilidad ya que en la muestra evaluada dentro de la misma variedad fue posible encontrar racimos con quince frutos, mientras que otros solo tenían un fruto o ninguno; determinando que esta variable está posiblemente condicionada por factores como las deficiencias de nutrientes, el ataque de insectos y las condiciones ambientales de la zona donde se ubica el cultivo, que son imposibles de controlar.

## Conclusiones

- Se identificaron cinco fases fenológicas de floración: botón floral, diferenciación de unidades florales, finalización de creci-

miento, apertura de las unidades florales y polinización. El periodo desde botón floral a polinización tuvo una duración entre 57 y 66 días.

- En el periodo de fructificación de 210 a 234 días, se identificaron las etapas amarre de frutos, crecimiento del fruto y madurez fisiológica
- La longitud de la inflorescencia estuvo en un rango entre 10.76 y 15.76 cm, el número de flores/inflorescencia entre 89 y 135, el diámetro de los frutos entre 2.8 y 3.14 cm, el número de frutos/racimo entre 1.2 y 3.9 que presentaron un cuajamiento entre 1.4% y 3%, siendo la variedad HAES 800 la de mejor comportamiento.
- Por los resultados de este estudio, se considera que las variedades HAES 788 y 294 son las más promisorias para cultivos comerciales en la zona de Timbío, Cauca.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a Agrotimbío, especialmente al Ingeniero Antonio Marín, y a Cenicafé por el apoyo durante el proceso de investigación del trabajo de grado de María Emma Lozano y Danny Garzón, del cual se derivó el presente estudio.

### Referencias

Armada, A. 1998. Comportamiento de tres variedades de *Macadamia integrifolia* en el departamento Central. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay. Trabajo de grado (Ing. Agr.) 105 p.

- Barona, N.; Romero, A.; Concha, M.; Paz, N. et al. 1999. Agenda ambiental municipio de Timbío, Cauca. Corporación Autónoma Regional del Cauca. CRC. Editorial López. Cauca, Colombia. pág. 15.
- Baraona, M. E. y Calvo, R. 1992. Fruticultura especial. Fascículo: Guanábana y Macadamia. Costa Rica.. Disponible en la web: [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?S004sci\\_arttex](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?S004sci_arttex). Acceso: 26-09-07
- Boyton, S. J. y Hardner, C. M. 2002. Phenology of flowering and nut production in macadamia. Revista Acta hortscience (ISHS) 575(43):381-387. Disponible en la web:[http://www.actahort.org/books/575/575\\_43.htm](http://www.actahort.org/books/575/575_43.htm)
- Fedecafé (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia). 2006. Anuarios meteorológicos 1999 – 2005. Estación Experimental Manuel Mejía. Tambo, Cauca
- Gil, K. 1996. Fenología de frutales. 1996. Disponible en la web: [http://www.redagraria.com/investigación/clima-enolfca\\_unc/apunte\\_fenologia\\_frutales.html](http://www.redagraria.com/investigación/clima-enolfca_unc/apunte_fenologia_frutales.html). Fenología. Acceso 13-07-07
- Nagao, M. 1992. Macadamia: Cultivation and Physiology. Department of Horticulture, Beaumont Research Station University of Hawaii. Hawaii, Estados Unidos. 165 p
- Rincon, O. 2000. Manual para el cultivo de Macadamia. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Fedecafé). Santa Fe de Bogotá, Colombia. 116 p.
- Velarde, A. 1996. Morfología y fisiología del árbol frutal. Tratado de arboricultura frutal. Madrid, España: Mundiprensa. vol.1. 326 p.

# Correlaciones fenotípicas, ambientales y genéticas en berenjena

## Phenotypic, genotypic and environmental correlations in eggplant

Hermes Araméndiz Tatis<sup>1</sup>; Carlos Enrique Cardona Ayala<sup>2</sup>; Miguel Mariano Espitia Camacho<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, AA 354, Montería, Colombia. Autor para correspondencia. haramendiz@hotmail.com, ccardona@sinu.unicordoba.edu.co, espitia@sinu.unicordoba.edu.co

Rec.: 04-08-09 Acept.: 20-10-09

### Resumen

En el Centro de Investigaciones Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigaciones (Corpoica) (Cereté, Córdoba, Colombia  $-8^{\circ} 31' N$  y  $75^{\circ} 58' O$ , a 13 m.s.n.m) se estudiaron las correlaciones, ambientales y genéticas entre seis caracteres de 24 cultivares de berenjena (*Solanum melongena*). Para el efecto se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones y unidades experimentales de 10 m<sup>2</sup>. Los resultados mostraron que las correlaciones fueron de mayor o igual magnitud que las fenotípicas, mientras que las ambientales fueron de escaso valor. El número de frutos y el rendimiento estuvieron genéticamente correlacionados ( $r = 0.56$ ,  $P < 0.01$ ), la longitud y la resistencia del fruto mostraron correlación genética negativa ( $r = -0.68$ ,  $P < 0.01$ ) y entre el rendimiento y peso de fruto la correlación fue muy baja ( $r = 0.04$ ). El número de frutos y su peso de frutos se correlacionaron de manera negativa ( $r = -0.63$ ,  $P < 0.01$ ). El número de frutos por planta puede ser utilizado como criterio de selección para la obtención de cultivares de berenjena de altos rendimientos.

**Palabras clave:** *Solanum melongena*, solanacea, calidad de la planta, rendimiento de fruto, correlación genética.

### Abstract

The phenotypic, genotypic and environmental correlations between six characters of 24 cultivars of eggplant (*Solanum melongena*) were studied in the research centre of Turipaná of Corpoica (Cereté-Córdoba-Colombia  $-8^{\circ} 31' N$  and  $75^{\circ} 58' W$ , 13 m.a.s.l.). A completely randomized block design was used with three repetitions and experimental units of 10 m<sup>2</sup>. The analyses showed that genetic correlations were of higher or equal magnitude to the phenotypic correlations, while the environmental ones had low effects on the results. The number of fruits and the yield showed a positive and highly significant ( $r = 0.56$ ,  $P < 0.01$ ) genetic correlation. A negative and highly significant ( $r = -0.68$ ,  $P < 0.01$ ) genetic correlation was observed between fruit length and fruit strength. No correlation was detected between yield and fruit weight ( $r = 0.04$ ). Fruit number and fruit weight showed a negative and highly significant genetic correlation ( $r = -0.63$ ,  $P < 0.01$ ). It is suggested that the number of fruits per plant could be used as a selection criterium to obtain high yield eggplant cultivars.

**Key words:** *Solanum melongena*, solanaceae, plant quality, fruit yield, genetic correlation.

1-2 Ing. Agrónomo, M. Sc. Ph.D.

3 Ing. Agrónomo, M. Sc. en Ciencias Agrarias.

## Introducción

La berenjena (*Solanum melongena* L.), al igual que sus parientes, comprende una gama amplia de especies cuyo origen geográfico es principalmente Asia y África. Domesticada en la región de India y sureste de China, es la especie hortícola de mayor importancia económica (Daunay et al., 2000; Sekara et al., 2007) que es cultivada además en áreas subtropicales de América (Stommel y Whitaker, 2003). Dentro del complejo de las formas cultivadas, existen cultivares con alta variabilidad morfológica caracterizados por la presencia de espinas en el cáliz y hojas, flores en racimo andromonoicas, frutos de diferentes formas, tamaños y colores brillantes, resultado de mutaciones en algunos locis con efecto pleiotrópico (Sekara et al., 2007). No obstante, los cultivares mejorados se destacan por la ausencia de espinas en cáliz y hojas, frutos de grandes (> 200 g), medianos (100 - 200 g) o pequeños (< 100 g) que pueden variar en coloración (Prohens et al., 2005; Sekara et al., 2007).

En los departamentos de Córdoba, Sucre y Bolívar (Colombia) se siembran aproximadamente 374 ha de berenjena que representan el 72% de la producción nacional. El rendimiento de los cultivares regionales alcanza 16 t/ha y se cultivan en áreas que oscilan entre 1000 y 2500 m<sup>2</sup>, por productores minifundistas, campesinos sin tierras y trabajadores en actividades agropecuarias (Araméndiz et al., 1999; DNP, 2005; Agronet, 2008). Por el contrario, el rendimiento de los híbridos mejorados frecuentemente supera 40 - 50 t/ha y se caracterizan por ser precoces, uniformes a la cosecha y de mejores características para el almacenamiento (Sekara et al., 2007).

Los productores del Caribe colombiano siembran cultivares con alta variabilidad genética en caracteres vegetativos y reproductivos, utilizando semillas de sus propios cultivos, las cuales fueron introducidas por los árabes después de la conquista española. Como resultado de los procesos de mutación, selección natural y artificial, e hibridación natural se ha generado una alta variabilidad en características agronómicas de interés, constituyendo un excelente germoplasma para el desarrollo de cultivares adaptados a

las condiciones tropicales (Araméndiz et al., 2006; Araméndiz et al., 2008a).

El rendimiento es un carácter de naturaleza compleja que depende de las interacciones de un alto número de factores. La herramienta estadística que permite al fitomejorador estimar el grado y la naturaleza de tales asociaciones es el coeficiente de correlación (r). La correlación fenotípica se estima de valores medidos en campo; la genotípica, corresponde a la porción genética de la correlación fenotípica (Ceballos, 2003).

La correlación entre caracteres es importante cuando se quiere realizar selección simultánea de caracteres, o cuando un carácter de interés presenta baja heredabilidad, problemas de medición o identificación. En este caso, al seleccionar otro carácter de alta heredabilidad, de fácil medición e identificación y que registre alta correlación con el carácter deseado, el mejorador podrá obtener progresos más rápidos con respecto a la selección directa (De Carvalho et al., 1999).

En berenjena existe correlación genética entre el rendimiento y número de frutos por planta, índice y peso de fruto; de igual manera, hay evidencias que destacan el número de frutos como la variable de efecto directo sobre el rendimiento, seguido por el diámetro de frutos (Dhameliya y Dobariya, 2007; Bansal y Metha, 2008; Lohakare et al., 2008).

El Programa de Mejoramiento de Berenjena de la Universidad de Córdoba está desarrollando cultivares tropicales con altos rendimientos y buena calidad de fruto para satisfacer las demandas de los agricultores, la agroindustria y los consumidores. El objetivo de la presente investigación fue estimar la magnitud y sentido de las correlaciones fenotípicas, genéticas y ambientales entre el rendimiento de fruto, sus componentes y resistencia que son de importancia económica en berenjena, buscando una mayor eficiencia en el proceso de selección.

## Materiales y métodos

El estudio se realizó en el primer semestre de 2008 en el Centro de Investigaciones Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) localizada en Cereté-Córdoba, Colombia. El Centro está

ubicado en el Caribe húmedo colombiano (8° 31' N y 75° 58' O, a 13 m.s.n.m). El suelo del área experimental es Fluvaquentic endoaquept franco con promedios de 2.2% de materia orgánica y pH de 5.9, con densidad aparente de 1.12 g/cm<sup>3</sup> y estructura moderadamente estable (Palencia et al., 2006).

Se evaluaron 24 genotipos de berenjena originarios de Brasil, Colombia, Japón, Taiwán y Estados Unidos (Cuadro 1) con un diseño experimental de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Cada parcela estuvo constituida por un surco de

10 m y distancia entre plantas y surcos de 1 m.

Las variables medidas fueron longitud del fruto (cm), número de frutos por planta, peso de fruto (g), resistencia del fruto a la penetración (newtons), altura de planta (cm) y rendimiento de frutos (kg/ha) en tres plantas tomadas al azar por repetición, excepto el rendimiento que se midió en las once plantas de cada surco.

El manejo agronómico en semillero y campo se realizó siguiendo las recomendaciones para el cultivo en el Valle del Sinú

**Cuadro 1.** Procedencia de los genotipos de berenjena utilizados en el estudio.

<b>Código*</b>	<b>Genotipos</b>	<b>Procedencia (casa comercial o país)</b>
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	Impulse semillas - Colombia
CC04	Berenjena N° 5	Impulse semillas - 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	Taiwán
TW04	Mandhari Seeds	Taiwán
TW06	Shuangfeeng G.13	Taiwán
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 hacen referencia al origen de los genotipos.

CC: casa comercial Colombia; BR: Brasil; EU: Estados Unidos; JP: Japón; TW: Taiwán;

C0: Córdoba-Colombia.

(Aramendiz et al., 2008b). Los análisis de varianza y covarianza para los seis caracteres estudiados, al igual que las correlaciones fenotípicas, ambientales y genotípicas, se realizaron mediante el programa Genes versión Windows (Cruz, 2004). Una vez estimados los coeficientes de correlación se confirmó la significancia estadística para cada uno de ellos, planteando la hipótesis nula:  $H_0: r = 0$ , versus la hipótesis alterna:  $H_a: r \neq 0$ , mediante una prueba de 't', utilizando la fórmula siguiente:

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

La 't' calculada ( $t_c$ ) se comparó con una 't' tabla ( $t_t$ ) al nivel de significancia seleccionado de 0.05 y 0.01 con  $n = 2$  grados de libertad. La regla de decisión fue: si  $t_c \geq t_t$ , entonces el valor de 'r' es estadísticamente diferente de cero.

### Resultados y discusión

Los valores de las correlaciones genotípicas fueron de mayor o igual magnitud que las fenotípicas (Cuadro 2), lo que indica que la relación entre las variables obedece a factores

genéticos aditivos presentes en el material en estudio y no a la existencia de efectos ambientales, lo que concuerda con los hallazgos de Martínez y Torregroza (1988), Yadav et al. (1997), Leggese et al. (1999), Ferreira et al. (2003), Espitia et al. (2005, 2008a, 2008b), existiendo coincidencia en signos entre pares de coeficientes. Estos resultados se explican por la reducción del error experimental en el análisis de varianza, que cuando alcanza un valor próximo a cero (0), las correlaciones tanto fenotípicas como genéticas tienden a ser idénticas (Legesse et al., 1999).

Los coeficientes de correlación fenotípica y genotípica entre el rendimiento y las características medidas, al igual que las asociaciones entre éstas indican que, el rendimiento no presentó correlación con la longitud del fruto, el peso de fruto, la resistencia del fruto ni con la altura de planta; pero sí reveló correlación positiva y altamente significativa con respecto al número de frutos por planta ( $r = 0.56$ ,  $P < 0.01$ ). Kruiteva (1985) no encontró correlación entre el rendimiento y la altura de planta y longitud de fruto de berenjena, pero sí entre el número de frutos por planta y el peso de fruto, lo que de acuerdo con Damnjanovic et al. (2002) y Rodríguez et al. (2008) obedece a la alta heredabilidad que tienen estas dos

**Cuadro 2.** Correlaciones fenotípicas ( $r_F$ ), genéticas ( $r_G$ ) y ambientales ( $r_E$ ) para seis caracteres de berenjena. Valle del Sinú, Colombia.

	Correlaciones	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	-	-	-	-	-	-

LONFRU: Longitud de fruto, NUFRUPTA: Número de fruto por planta, PEFRU: Peso de fruto, RENFRU: Rendimiento de frutos, RESFRU: Resistencia de frutos, ALPTA: Altura de planta.

\*, \*\* = significativo al 5 y 1%, respectivamente.



variables, por ser poco afectadas por el ambiente y la acción genética aditiva.

Ingale y Patil (1995), Bansal y Metha (2008) y Lohakare et al. (2008) encontraron correlación positiva entre el rendimiento y número de frutos por planta, y ausencia de correlación con el peso de fruto. Gutiérrez del Río et al. (2004) y Zorzoli et al. (2000) encontraron que la correlación entre rendimiento y peso del fruto en berenjena varía en función del tamaño de los frutos de los genotipos evaluados. De esta manera, los cultivares de frutos pequeños pueden producir una mayor cantidad de estos por cojín floral, lo que favorece el rendimiento, por otra parte, los genotipos de frutos grandes presentan con frecuencia aborto de algunas flores con el fin de favorecer el rendimiento.

Los resultados del presente estudio indican que el mejoramiento por rendimiento de frutos en los cultivares de berenjena puede ser obtenido a través del incremento del número de frutos. Vadivel y Bapu (1988a, 1988b, 1989a) consideran el número de ramas productivas como un carácter importante en programas de mejoramiento por rendimiento, ya que tiene alta coheredabilidad y moderada heredabilidad, lo que permite avances genéticos por la predominancia de la acción genética aditiva.

El número de frutos por plantas presentó correlación genética negativa y altamente significativa con respecto al peso de fruto ( $r = -0.63$ ,  $P < 0.01$ ), resultados que coinciden con los hallados por Wessel-Beauver (1992) en tomate; Tavares et al. (1999) en ají, Monpara y Kamani (2007) en berenjena, Ferreira et al. (2003) en sandía y Pimentel et al. (2008) en maracuyá; y significativa con tendencia negativa para altura de planta ( $r = -0.47$ ,  $P < 0.05$ ). Estos resultados indican que el mejoramiento por mayor cantidad de frutos conduce a una reducción progresiva del peso de estos, lo que compromete el rendimiento y la calidad por la competencia por los asimilados cuando se buscan frutos grandes, como lo destacan Bertin et al. (1998), Antonini et al. (2002) y Scarpore Filho et al. (2000). Si el objetivo es obtener cultivares de fruto pequeño y con pocas semillas, se debe hacer énfasis en selección por peso. No obstante, al momento

de la selección entre estos caracteres se debe hacer un balance para no comprometer el rendimiento y la calidad de frutos, ya que la existencia de correlación negativa entre el número y peso de frutos retarda el mejoramiento genético.

El peso de fruto presentó una baja correlación con la longitud, esto indica que el tamaño del fruto es una función del ancho, lo cual coincide con los hallazgos de Ben-Chaim y Poran (2000) en ají. La resistencia del fruto al daño presentó correlación genética negativa con la longitud ( $r = -0.68$ ,  $P < 0.01$ ), pero no mostró relación con los demás caracteres considerados en el estudio. Esto sugiere que frutos de mayor longitud son más sensibles al transporte, posiblemente por presentar una menor acumulación de potasio (Ruiz-Sánchez, 2006).

### Conclusiones

- El número de frutos por planta es el componente de rendimiento de mayor importancia en el mejoramiento genético de berenjena.
- La existencia de una correlación negativa y significativa entre el número de frutos y peso de los mismos, sugiere la existencia de un límite fisiológico entre estas dos características.
- Los componentes genéticos de las correlaciones fueron más importantes que los ambientales, por lo que el fenotipo es reflejo del genotipo.

### Agradecimientos

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Asohofrucol, Universidad de Córdoba y Corpoica por el apoyo económico y logístico para adelantar la presente investigación.

### Referencias

- Agronet, 2008. <http://www.agronet.gov.co>. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (Disponible en <http://www.agronet.gov.co>). Acceso: 01-26-2008.
- Antonini, A.; Robles, W.; Tessorioli, J.; y Kluge, R. 2002. Capacidade produtiva de cultivares de berinjela. Horticult. Bras. 20 (4):646-648.

- Araméndiz, H.; Hoyos, F.; y García, E. 1999. Estimación de la variabilidad genética en una población criolla de berenjena (*Solanum melongena* L.) en el departamento de Córdoba. *Temas Agrarios* 4(8):117-125.
- Araméndiz, H.; Robles, J.; Cardona, C.; Llano, J.; y Arzuaga, E. 2006. Caracterización morfológica de la berenjena (*Solanum melongena* L.). *Temas Agrarios* 11(1):5-14.
- Araméndiz, H.; Cardona, C.; y Pérez, D. 2008a. Hibridación artificial en berenjena (*Solanum melongena* L.): Efecto sobre la producción de frutos y semillas. *Rev. U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica* 11(2):121-130.
- Araméndiz, H.; Cardona, C.; Jarma, A., y Espitia, M. 2008b. El cultivo de la berenjena (*Solanum melongena* L.). Bogotá. Produmedios. ISBN: 978-958-9244-17-3. 152 p.
- Bansal, S.; y Metha, A. K. 2008. Genotypic correlation and path analysis in brinjal (*Solanum melongena* L.). India. *Nat. J. Plant Improv.* 10 (1):34-36.
- Ben-Chaim, A. y Poran, I. 2000. Genetic analysis of quantitative traits in pepper (*Capsicum annuum*). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125(1):66-70.
- Bertin, N.; Gary, C.; Tchamitchion, M.; y Vaisiere, B. 1998. Influence of cultivar fruit position and seed content in tomato fruit during a crop cycle and low high competition for assimilates. *J. Hort. Sci. Biotech.* 73(4):541-548.
- Ceballos, H. 2003. Genética cuantitativa y fitomejoramiento. Palmira. Universidad Nacional de Colombia. 524 p.
- Cruz, C. D. 2004. Programa Genes Versao Windows: Aplicativo Computacional em Genética e Estatística. Viçosa: Univ. Fed. Viçosa. 648 p.
- Damnjanovic, J.; Zecevic, B.; Stevanovic, D.; y Prodanovic, S. 2002. Inheritance of yield components in diallel crossing of divergent genotypes (*Solanum melongena* L.). *Act. hort. (ISHS)* 579:197-201.
- Daunay, M. C.; Gebhardt, C.; Hennart, J. W.; Jahn, M.; y Neville, L. R. 2000. Recursos genéticos de la berenjena (*Solanum melongena* L.) y de las especies aliadas: un nuevo desafío para los genetistas y los criadores moleculares de la berenjena. En: VIII Conferencia del Genoma de la Planta y del Animal. Disponible <http://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.intlpag.org/8/abstracts/pag8311.html&sa=X&oi=translate&resnum=4&ct=result&prev=/search%3Fq%3Deggplant%252Bgenetic%26hl%3Des> (Acceso: 01-30-2007).
- De Carvalho, C. G.; Rodrigues, V.; Cruz, C. D.; y Dias, V. 1999. Análise de trilha sob multicolinearidade em pimentão. *Pesq. agropec. bras.* 34(4):603-613.
- Dhameliya, H. y Dobariya, K. 2007. Impact of different mating approaches on correlation coefficients in brinjal (*Solanum melongena* L.). India. *Orissa J. Hort.* 35(1):32-37.
- DNP (Dirección Nacional de Planeación). 2005. La pobreza en el departamento de Córdoba. Características por grupos de municipios. Cartagena, junio de 2005. 17 p. (Disponible en <http://www.dnp.gov.co>). Acceso: 01-28-2008.
- Espitia, M.; Vallejo, F.; y Baena, D. 2005. Correlaciones fenotípicas, genéticas y ambientales en *Cucúrbita moschata* Duch Ex Poir. *Acta Agron.* 54(1):1-9.
- Espitia, M.; Aramendiz, H.; y Cadena, J. 2008a. Correlaciones y análisis de sendero en algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en el Caribe colombiano. Colombia. *Rev. Fac. Nat. Agr.* 61(1):4325-4335.
- Espitia, M.; Vargas, L.; y Martínez, G. 2008b. Análisis de sendero para algunas propiedades del fruto de maracuyá (*Pasiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg). Colombia. *Rev. U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica* 11(2):131-140.
- Ferreira, M.; Queiroz, M.; Braz, L.; y Vencovsky, R. 2003. Correlações genotípicas, fenotípicas e de ambiente entre dez caracteres de melancia e suas implicações para o melhoramento genético. *Hort. Bras.* 21(3):438-442.
- Gutiérrez del Río, E.; Espinoza, A.; Palomo, A.; Lozano, J.; y Grijalva, O. 2004. Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la comarca lagunera. *Rev. Fitotecnia Mexicana* 27(Número especial):7-11.
- Ingale, B. V. y Patil, S. J. 1995. Correlation and path analysis in brinjal. *Indian J. Hort.* 52 (1):55-59.

- Kruiteva, L. 1985. Correlation in eggplant. Italia. *Capsicum News*. 4:82
- Legesse, G; Zelleke, A.; y Bejiga, G. 1999. Character association and path analysis of yield and its components in hot pepper (*Capsicum annuum* L.). *Acta Agron. Hungarica* 47(4):391-396.
- Lohakare, A. S.; Dod, V. M.; y Peshattiwari, P. D. 2008. Correlation and path analysis studies in green fruited brinjal. India. *Asian J. Hort.* 3 (1):173-175.
- Martínez, O. y Torregroza, M. 1988. Análisis de sendero de componentes del rendimiento en ciclos de selección masal divergente por prolificidad en maíz. Colombia. *Rev. ICA* 23(3):200-208.
- Monpara, B. y Kamani, J. 2007. Components of variation and associations among yield attributing traits in segregating populations of brinjal. India. *Nat. J. Plant Improv.* 9(2):106-110.
- Palencia, G.; Mercado, T.; y Combatt, E. 2006. Estudio agroclimático del departamento de Córdoba. Editorial Gráficas el Caribe, Montería. 126 p.
- Pimentel, L.; Stenzel, N.; Cruz, C.; y Bruckner, C. 2008. Selección precoce de maracujazeiro pelo uso da correlação entre dados de produção mensal e anual. *Pesq. Agropec. Bras.* 43(10):1303-1309.
- Prohens, J.; Blanca, J.; y Nuez, F. 2005. Morphological and molecular variation in a collection of eggplants from a secondary center of diversity: Implications for conservation and breeding. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130(1):54-63.
- Rodríguez, Y.; Depestre, T.; y Gómez, O. 2008. Eficiencia de la selección en líneas de pimiento (*Capsicum annuum*), provenientes de cuatro subpoblaciones, en caracteres de interés productivo. Cuba. *Cien. Inv. Agr.* 35(1):37-49.
- Rodríguez-Burruezo, A.; Prohens, J.; Raigon, J.; Vilanova, S.; y Nuez, F. 2008. Breeding for present and future needs of human health-promoting compounds in vegetables: a case example involving phenolics content in pepper and eggplant. 18<sup>th</sup> Eucarpia General Congress Modern Variety Breeding for Present and Future needs September 9-12, 2008, Valencia, España. p. 521-522.
- Ruiz-Sánchez, C.A. 2006. Efecto de la dosis y forma de colocación del potasio sobre la calidad física de frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) almacenados a dos temperaturas. Venezuela. *Rev. Fac. Agron.* 23 (4):475-488.
- Scarpare Filho, J.; Minami, K.; y Kluge, R. 2000. Intensidade de raleio de frutos em pessegueiros 'Flordaprince' conduzidos em pomar com alta densidade de plantio. *Pesq. Agrop. Bras.* 35(6):1109-1113.
- Sekara, A.; Cebula, S.; y Kunicki, E. 2007. Cultivated eggplants-origin, breeding objectives and genetic resources. A review. Polonia. *Folia Hort.* 19(1):97-114.
- Stommel, J. y Whitaker, B. 2003. Phenolic acid content and composition of eggplant fruit in a germplasm core subset. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128 (5):704-710.
- Tavares, M.; De Melo, A.; y Bueno, W. 1999. Efeito diretos e indiretos e correlações canônicas para caracteres relacionados com a produção de pimentão. *Bragantia* 58 (1):41-47.
- Vadivel, E. y Bapu, J. R. 1988a. Correlation studies in *Solanum melongena* L. Italia. *Capsicum News*. 7: 84-85.
- Vadivel, E. y Bapu, J. R. 1988b. Heritability estimates in segregating generations of eggplant. Italia. *Capsicum News*. 7:86-87.
- Vadivel, E. y Bapu, J. R. 1989a. Studies on coheritability for yield components in eggplant. Italia. *Capsicum News*. 8-9:66-67.
- Vadivel, E. y Bapu, J. R. 1989b. Path analysis of yield components in eggplant. Italia. *Capsicum News*. 8-9:68-69.
- Wessel-Beaver, L. 1992. Genetic variability of fruit set, fruit weight, and yield in a tomato population grown in two high-temperature environments. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 17(5):867-870.
- Yadad, D. S.; Prasad, A.; y Singh, N. D. 1997. Characters association in brinjal (*Solanum melongena* L.). *Indian J. Hort.* 54(2):171-175.
- Zorzoli, R.; Pratta, G. R.; y Picardi, L. A. 2000. Variabilidad genética para la vida poscosecha y el peso de los frutos en tomate para familias F<sub>3</sub> de un híbrido interespecifico. *Pesq. Agrop. Bras.* 35:2423-2427.

# **Descripción morfoagronómica de materiales de plátano (*Musa AAB, ABB*) y banano (*Musa AAA*) cultivados en San Andrés Isla**

## **Morpho-agronomic Description of Plantain (*Musa AAB, ABB*) and Banana (*Musa AAA*) Materials Grown in San Andres Island**

Oscar Javier Parra Pachón<sup>1</sup>, Daniel Gerardo Cayón Salinas<sup>2</sup>, Jaime Polanía Vorenberg<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. <sup>3</sup>Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Colombia. Autor para correspondencia: [jhpolaniav@unalmed.edu.co](mailto:jhpolaniav@unalmed.edu.co), [parra.oscar@gmail.com](mailto:parra.oscar@gmail.com), [dgcayons@unal.edu.co](mailto:dgcayons@unal.edu.co)

Rec.:24-11-08 Acept.: 19-09-09

### **Resumen**

Durante el primer semestre de 2005 se estudiaron los cultivares de plátano y banano en fincas y parcelas de 15 agricultores típicos participantes en programas conjuntos de la Secretaría de Agricultura y Pesca de San Andrés Isla y de la Universidad Nacional de Colombia sede Caribe. A partir de descriptores de INIBAP, IPGRI y CIRAD y revisiones bibliográficas se describen morfológicamente los materiales de *Musa* cultivados en la Isla, así como las prácticas de los productores isleños. Se identificaron cuatro clones del subgrupo plátano (*Musa AAB*): un Hartón ('Horse') y tres Dominico-Hartón ('Tallo Negro', 'Tallo Blanco' y 'Cincuenta') del subgrupo *ABB* se hallaron un material de Bluggoe ('Boscó') y un Felipita. El subgrupo banano *AAA* presentó dos materiales Gros Michel (denominados Común y Chino) y uno de banano (Rojo). El plátano tiene gran importancia para los agricultores de la Isla, siendo el Boscó el clon más aceptado entre consumidores por su adaptación a las condiciones edafológicas y climáticas. El banano es menos cultivado; ya que los suelos, el clima y las enfermedades como sigatoka negra, condicionaron el desarrollo de clones. El trabajo sugiere prácticas de fácil implementación que podrían aumentar la producción en los sistemas de huerto mixto tropical que predominan en la Isla.

**Palabras claves:** *Musaceae*, banano, plátano, identificación, características morfológicas, prácticas de cultivo.

### **Abstract**

During the first semester, 2005 we studied the plantain and banana cultivars in small farms of 15 volunteer regular producers, who were participating in joint programs of the Agriculture and Fisheries Secretariat of San Andres Island and the Colombian National University Caribbean Headquarters. We described morphologically the *Musa* cultivars identified in the island, as well as agricultural practices of the island producers, using the INIBAP, IPGRI and CIRAD (1996) descriptors and bibliographical reviews. We identified four clones within the plantain sub-group *Musa AAB*: a Horn type and three

1 Ing. Agrónomo, M.Sc. en Biología Vegetal.

2 Ing. Agrónomo, M.Sc. en Fisiología Vegetal

3 Biólogo Marino, Ph.D. rerum naturalium.

French-Horn; and within the *ABB* sub-group a Bluggoe (dubbed “Boscó”) and a Felipita type. The banana sub-group *AAA* had two Gros Michel type, known as “Banano Común” and “Banano Chino”, as well as one of red banana (“Banano Rojo”). The plantain culture has paramount importance for San Andrés farmers, and the clone named “Boscó” is the preferred one for its taste, and its adaptation to the edaphic and climatic conditions. Banana is less cultivated; the soil and the climate, as well as diseases (*v.gr.* the leaf spot disease or sigatoka) determined the growth of their clones. This work suggests a list of easy to implement agronomic practices that would enhance the production of the predominant producing systems of the island.

**Key words:** *Musaceae*, banana, plantain, identification, morphological characteristics, agronomic practices

## Introducción

La mayoría de cultivares de plátano y banano de la familia *Musaceae* tienen origen en dos especies silvestres: *Musa acuminata* y *M. balbisiana* que por poliploidía e hibridación generan las variedades cultivadas. La composición ploídica y genómica de los diferentes clones representan a *M. acuminata* y *M. balbisiana*, respectivamente, como A y B (Simmonds, 1966; Belalcázar, 1991; Sierra, 1993).

Si bien es claro que, en general, los itinerarios técnicos difieren de los sistemas industriales y campesinos, es indudable que la fertilización en musáceas es importante para el desarrollo de las raíces y, por ende, la tolerancia a nemátodos y enfermedades del sistema radical (Sarah, 1998). De la misma manera, Echeverry (2001) encontró que cultivos del clon Cachaco (*Musa ABB*) que no recibieron fertilización, produjeron racimos con pesos menores a aquellos abonados con compuestos orgánicos y/o de síntesis. En el ciclo del cultivo de Dominico-Hartón, los factores climáticos, la falta de control de malezas y otras prácticas pueden generar retrasos en la floración y consecuentemente, la prolongación del tiempo de cosecha (Cayón et al., 1994).

La actividad agropecuaria en San Andrés Isla (Colombia) es precaria, ya que la mayoría de los 500 productores la realizan casi exclusivamente para autoabastecimiento (Polanía, 2004). Sin embargo, los frutos de las musáceas son parte importante de la cultura culinaria sanandresana que incluye sopas, platos fuertes y postres. Pese a la importancia del plátano y el banano, productos básicos en la canasta familiar de los habitantes de la Isla, no existe un inventario detallado de las variedades que allí se utilizan.

Es importante conocer los cultivares, las culturas culinarias, las identidades, las condiciones edafológicas y climáticas, así como las prácticas productivas y culturales en San Andrés, pues la disponibilidad constante y segura de plátano y banano justifica los esfuerzos para evaluar, mantener e incrementar materiales en las diferentes condiciones ecológicas de las zonas productoras (Belalcázar y Valencia, 1998). Con este trabajo se espera ampliar el conocimiento del género *Musa* en Colombia, a través de la determinación y descripción morfológica de los materiales en sistemas productivos de San Andrés Isla, así como las prácticas agrícolas de los productores isleños.

## Materiales y métodos

El trabajo de campo fue realizado en San Andrés Isla, ubicada entre 12° 29' y 12° 36' N y 81° 41' y 81° 43' O, a 800 km al noroeste en la costa Atlántica colombiana. Se cuantificaron los cultivares de plátano y banano en fincas y parcelas o solares de 15 agricultores voluntarios, participantes en programas conjuntos de la Secretaría de Agricultura y Pesca del Departamento Archipiélago y de la Universidad Nacional de Colombia sede Caribe, a través de visitas de campo y entrevistas a cada uno de ellos. A partir de las características altamente discriminantes de los descriptores INIBAP, IPGRI y CIRAD (1996) se caracterizaron morfológicamente los materiales, para lo cual se tomaron tres plantas con su racimo en formación de cada material observado. Se evaluó cada una de estas características según la metodología propuesta por Daniels et al. (2001).

San Andrés posee suelos que van desde superficiales (25 cm, con presencia de roca) a profundos con alto contenido de bases intercambiables y carbón orgánico, ligeramente alcalinos, alto poder de retención de humedad y porosidad alta y media, textura desde franca hasta arcillosa con buena disponibilidad de N, P, K, S, Ca, Mg y deficiencias en elementos menores (Correa, 2006). Los suelos con mayor profundidad son aptos para cultivos comerciales o semicomerciales (Correa, 2006). La precipitación promedio en San Andrés es de 1.393 mm/año, con una época seca o verano particularmente intensa y bien marcada desde diciembre hasta abril-mayo y una temperatura promedio anual de 27.7 °C (Polanía, 2004).

Para medir la altura de las plantas se utilizó un clinómetro y para las medidas restantes una cinta métrica. Las prácticas de cultivo se identificaron a partir de visitas programadas para cada uno de los cultivadores. Posteriormente se sistematizaron y se confrontó la información suministrada por los agricultores con los hallazgos de Rodríguez (2004) en la Isla.

En ausencia de referencias con otros sitios insulares, las descripciones se contrastaron con: Cardeñosa (1955), trabajos en Corpoica C.I. Palmira, Belalcázar y Valencia (1998), materiales de la Colección Colombiana de Musáceas en el C.I. El Agrado en Montenegro, Quindío; así como Rosales et al. (1999) y Daniels et al. (2001) quienes caracterizaron materiales en diferentes regiones del mundo. También se confrontaron los resultados con trabajos recientes en Brasil (Pereira et al., 2000; De Oliveira et al., 2002; Damatto et al., 2005; Rodrigues et al., 2006) y Colombia (González et al., 2003; Herrera y Aristizábal, 2003) quienes caracterizaron morfológicamente cultivares y evaluaron su producción en zonas edafoclimáticas específicas, buscando tolerancia a enfermedades o condiciones adversas.

## Resultados y discusión

### Caracterización agronómica

La naturaleza herbácea confiere a las musáceas características especiales, por ejemplo, su alto consumo de agua. Cayón,

Belalcázar y Lozada (1998) estiman que el clon Dominico-Hartón requiere una precipitación mensual mínima de 150 mm para satisfacer sus necesidades hídricas. Sierra (1993) sostiene que suelos con buena estructura, porosidad, drenaje, altos niveles nutricionales y pH entre 5 y 7.5 favorecen el desarrollo de plátano y banano.

En San Andrés se encontraron varios materiales del subgrupo de los triploides: entre los *Musa AAB* un tipo Hartón y tres Dominico-Hartón, un *ABB* (Bluggoe), y un *ABB* (Felipita). En el subgrupo banano (*AAA*) se hallaron dos materiales tipo Gros Michel denominados bananos Común y Chino, así como uno conocido como Banano Rojo. (Cuadro 1).

De manera general, los clones de plátano y banano hallados en San Andrés no presentaron gran altura, lo cual facilita tanto el manejo de los cultivos como su cosecha. La mayoría de los clones mostraron porte bajo, aunque los materiales Boscó (*ABB*) y Felipita (*ABB*) marcaron las mayores alturas, por lo que labores como el 'desbacote' y la cosecha resultan más difíciles en estos clones. Estos materiales presentaban a la cosecha más de seis hijos, siendo mayor que en los clones de banano y plátano restantes. Boscó (*ABB*) y Felipita (*ABB*) suelen ser sembrados en suelos poco fértiles y climas cálidos, sometidos a una distribución inadecuada de lluvias y largos periodos de sequía (Belalcázar, 1991); además son tolerantes a las sigatokas negra y amarilla (De Oliveira et al., 2002).

Los clones de musáceas en la Isla presentaban hasta 17 frutos en la mano media del racimo, pero el material Horse (*AAB*) mostró el menor número promedio de frutos por racimo. Igualmente desarrollaron, en promedio, seis o siete manos por racimo, así: Dominico-Hartón siete, Hartón seis, Boscó seis y Felipita siete. Los tres clones de banano (*Musa AAA*) presentaron, en promedio, seis manos dobles.

Los frutos de Horse, Banano Común y Chino (*AAA*) son rectos en la parte distal, mientras los cultivares Tallo Negro, Tallo Blanco y Cincuenta (*AAB*) presentaron frutos curvos y los de los clones de Boscó, Felipita y Rojo fueron rectos. Todos los del grupo *AAB*

tuvieron características similares en el color de su cáscara y pulpa (amarilla y crema, respectivamente), mientras los frutos del grupo *ABB* fueron crema-pálido en su pulpa madura (Cuadro 1). Los frutos de banano Común y Chino fueron crema-pálido en la pulpa madura y la del clon Rojo fue color marfil pero, a diferencia de los otros descritos, la cáscara fue púrpura en su estado maduro.

Los frutos maduros de los clones tipo Hartón y Dominico-Hartón alcanzaron una longitud hasta de 30 cm, superior a Boscó, Felipita, banano Común y banano Chino. El material Rojo se caracterizó por tener frutos maduros de menor longitud.

Todos los clones se siembran en zonas planas y en pendientes, pero se desarrollan mejor en las colinas debido, posiblemente, a la mayor profundidad de los suelos (Correa, 2006). Aunque se encontró una cantidad considerable de materiales de plátano (*AAB*, *ABB*), la gran mayoría de agricultores

siembra Boscó, pues prefieren su sabor y adaptación a las condiciones edafológicas y climáticas de la Isla. El clon Felipita también se adapta a dichas condiciones pero, debido a la consistencia dura de su pulpa, no tiene tanta aceptación entre los consumidores.

### Sistemas de producción

Los clones Hartón y Dominico-Hartón (*AAB*) están limitados por las condiciones climáticas, ya que los suelos poco profundos y la distribución irregular de las lluvias afectan su crecimiento, desarrollo y producción (Belalcázar, 1991). Los productores anotan que este comportamiento es más notorio en lotes donde habían realizado varias cosechas y consideran que los tres clones son fuertemente afectados por las precipitaciones poco uniformes. Según Sierra (1993) en estas condiciones el riego es indispensable para garantizar un buen desempeño fisiológico y productivo, no obstante Polanía (2004) y

**Cuadro 1.** Características morfológicas de los materiales de plátano y banano cultivados en San Andrés Isla en 2005.

Cultivar	Grupo	Subgrupo	Altura (m)	Número de		Longitud de frutos (cm)	Forma	Color de		Uso del fruto
				hijos	frutos*			cáscara madura	pulpa madura	
Horse	<i>AAB</i>	Hartón	2.1-2.9	3-5	< 12	26-30	Rectos en la parte distal	Amarilla	Crema	Cocción
Tallo Negro							Curvados			
Tallo Blanco										
Cincuenta										
Boscó	<i>ABB</i>	Bluggoe	> 3	> 6	12-17	21-25	Rectos	Amarilla	Crema pálido	En fresco
Felipita		Felipita								
Banano Común	<i>AAA</i>	Gros Michel	2.1-2.9	3-5	12-17	21-25	Rectos en la parte distal	Amarilla	Amarillo pálido	En fresco
Banano Chino										
Banano Rojo		Rojo								

\* Determinados en la segunda 'mano' del racimo.

Rodríguez (2004) mencionan las dificultades que existen en la Isla para implementar esta práctica.

El cultivo de banano no es tan relevante para los productores isleños y, en todo caso, es menos intensivo comparado con cultivo de plátano; su producción es esporádica y generalmente se siembra asociado con cultivos de pancoger. Entre los sistemas productivos isleños, los clones banano Chino y Rojo son menos frecuentes, pero los pobladores lo prefieren por su sabor. De hecho, los frutos de plátanos tipo Hartón, Dominico-Hartón, Bluggoe y Felipita son cocidos en diferentes preparaciones, mientras los dos clones de banano Gros-Michel y el tipo Rojo son consumidos en fresco y empleados para preparar postres.

En San Andrés los cultivos de plátano y banano se encuentran asociados, principalmente con otros cultivos, en un sistema de producción denominado huerto mixto Tropical (Rodríguez, 2004), que es el conjunto de plantas domesticadas o silvestres, perennes o semiperennes en su mayoría, ubicadas alrededor de la casa o muy cerca de ella. Este sistema se utiliza para cubrir las necesidades básicas de las familias o comunidades pequeñas donde, ocasionalmente, los excedentes los destinan para venta (Rodríguez, 2004). Las plantas de plátano y banano se siembran en los alrededores de las casas y en los lotes de pancoger, mezcladas entre sí y sin ningún tipo de distribución organizada. En los huertos se encuentran clones Boscó, Horse, Cincuenta y banano Común, aunque el área en banano fue, en proporción, inferior a cualquiera de los de plátano en los huertos estudiados.

En los cultivos con excedentes comerciales las siembras tienen una distribución más organizada y medianamente homogénea, aunque los clones de plátano y banano también se encontraron asociados. En este sistema se hallaron sembrados clones Horse, Cincuenta, Tallo Blanco y Tallo Negro. El Boscó también es sembrado para fines comerciales, pero en menor proporción que en los huertos de pancoger. El material Felipita y los clones de banano no son destinados para producción comercial, pero se encuen-

tran pequeñas cantidades entre los cultivos comerciales.

Las prácticas de cultivo son casi nulas en los huertos de pancoger, mientras en los comerciales se realizan deshieras y deshojes con mayor frecuencia. En ambos tipos de cultivo se suele realizar una quema como deshiera inicial. Después se abren huecos, se aplica ceniza y se distribuyen hojas y rastrojo alrededor de la planta para fertilizarla, pero la práctica no parece suficiente y los agricultores sostienen que la producción de plátanos Hartón y Dominico-Hartón y los bananos, principalmente, disminuye en el tiempo. Bolaños et al. (2003) observaron que la aplicación de abonos orgánicos afecta positivamente las propiedades químicas del suelo, lo que se refleja en el incremento de la producción de plátano Dominico-Hartón, siendo el resultado más notorio después de un segundo ciclo de cultivo. Esta práctica podría ser importante en el manejo de residuos de la actividad agropecuaria en la Isla y en su aprovechamiento como fuente de nutrición para los cultivos. La siembra de este tipo de cultivos no es muy frecuente, debido a su naturaleza perenne pero, cuando se lleva a cabo, los colinos son seleccionados de plantas madre teniendo en cuenta su vigor y apariencia.

Si bien los cultivares de musáceas en San Andrés Isla son afectados por la sequía y el escaso manejo, los clones menos sensibles son los tipo *ABB*. Los cultivos del subgrupo *ABB* son más tolerantes a suelos poco profundos, baja fertilidad, sequía y sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) (Orozco y Chaverra, 1999), pero son sensibles a enfermedades bacterianas como el Moko (*Ralstonia solanacearum*) y la Pudrición acuosa del pseudotallo (*Erwinia chrysantemi*), que están en la Isla y generan mayores daños bajo déficit hídrico y pobre fertilización (Belalcázar, 1991). En San Andrés Isla existe Sigatoka negra, pero limita más los cultivos de banano que de plátano (Rodríguez, 2004). Por esto, y para evitar su diseminación, reviste importancia la identificación y erradicación de plantas con enfermedades bacterianas, así como la desinfección de las herramientas antes de su uso.



La producción de los materiales de plátano y banano en San Andrés Isla parece viable, y un mayor esfuerzo en asistencia técnica y la implementación de prácticas culturales como selección de semilla para evitar diseminación de plagas y enfermedades, los deshojes y el monitoreo, y el manejo de focos de Sigatoka negra, entre otras prácticas, permitiría mejorar las condiciones del cultivo. Así mismo es determinante educar a los agricultores para implementar prácticas de fertilización con el fin de incrementar la producción, la calidad y mantener el suelo, que se degrada por la actividad agrícola. En todos los casos, cabe resaltar que las prácticas de cultivo antes relacionadas deben ser consecuentes con la condición de Reserva de Biosfera, otorgada por la UNESCO desde 2000 al archipiélago (Polanía, 2004).

### Conclusiones

- Se encontraron siete clones de plátano de los grupos *Musa AAB* y *ABB*, como parte importante de los cultivos de pancoger sanandresanos. Estos clones están bien adaptados a las condiciones de suelo y distribución de lluvias de la Isla.
- Los clones del grupo *Musa AAB* presentan un buen desarrollo en zonas pendientes o loma. Los clones de banano *Musa AAA* tienen su desarrollo limitado por condicionados de suelo y clima, pero también por enfermedades como la Sigatoka negra.
- Tanto el trabajo de campo como las entrevistas a cada uno de los agricultores, permitieron conocer de manera detallada las labores de cultivo para plátano y banano que se llevan a cabo actualmente en la Isla. Esto proporcionó herramientas para determinar falencias en el sistema productivo y proponer posibles soluciones.
- Es urgente conocer la viabilidad técnica y económica del uso de residuos resultantes de la actividad pecuaria de San Andrés como fertilizantes para los cultivos de plátano y banano.
- El archipiélago fue declarado por UNESCO Reserva de Biosfera desde el 2000, motivo por el cual las prácticas de cultivo propuestas deben ser consecuentes y apuntar al desarrollo sostenible de la actividad.

### Agradecimientos

Este estudio se desarrolló con el apoyo del Proyecto Generación de Opciones Tecnológicas para la Producción Agropecuaria en la Reserva de la Biosfera Seaflower (San Andrés Islas), cofinanciado por la Universidad Nacional de Colombia sede Caribe y Colciencias.

### Referencias

- Belalcázar, S. 1991. El cultivo del plátano en el trópico. Cali. Ed. Feriva. 376 p.
- Belalcázar, S. y Valencia, J. 1998. Módulo 1: Conservación y evaluación de la Colección Colombiana de Musáceas. En: Belalcázar, S.; Valencia J.; y Ardila, M. (eds.) Seminario Internacional sobre producción de Plátano. Armenia: INIBAP, SENA, Corpoica, U. del Quindío. P. 1-20.
- Bolaños, M.; Morales, H.; y Celis, L. 2003. Fertilización (orgánica-química) y producción de Dominico-Hartón. Infomusa. 12(1):38-41.
- Cardeñosa, R. 1955. El género *Musa* en Colombia. Plátanos, bananos y afines. Cali: Editorial Pacífico. 368 p.
- Cayón S, G.; Belalcázar, S.; y Lozada, J. 1998. Ecofisiología del plátano (*Musa ABB* Simmonds). Armenia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). 236 p.
- Cayón S, G.; Belalcázar, S.; Valencia, J.; y Arcila, M. 1994. Periodo crítico de competencia de las malezas en el cultivo del clon de plátano Dominico-Hartón, *Musa ABB* Simmonds. En: Arcila, M. (eds.). Nueva Tecnología para la producción del plátano. Armenia. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA-Corpoica). P. 83 - 89.
- Correa, D. 2006. Caracterización y diagnóstico participativo de suelos de algunas unidades productivas en San Andrés Isla. En: Polanía, J. y Perez, M. (eds.). Cuadernos del Caribe N° 7. Visión desde el aula hacia la isla. Bogotá: Opciones Gráficas editores Ltda. p. 103-116.
- Damatto, E. R.; Campos, A. J.; Manoel, L.; Moreira, G.C.; Leonel, S.; y Evangelista, R. M. 2005. Produção e caracterização de frutos de bananiera 'Prata Anã' e 'Prata Zulu'. Rev. Brasil. Frutic. 27(3):440-443.

- Daniels, J.; Karamura, D; y Tomekpe, K. 2001. Musalogue. A catalogue of *Musa* germoplasm. Diversity in the genus *Musa*. Montpellier: INIBAP, IPGRI. 207 p.
- De Oliveira, S; De Oliveira, J; y Lima, F. 2002. Avaliação de cultivares e híbridos de bananeira em quatro ciclos de produção. Pesqu. Agropec. Brasil. 37(11):1567-1574.
- Echeverry, E. 2001. Fertilización orgánica vs fertilización inorgánica de plátano cachaco común en Colombia. Infomusa 10(2):7-10.
- González, A.; Gómez, C.; y Aristizábal, M. 2003. Características de crecimiento y producción de híbridos FHIA en Colombia. Infomusa 12(1):46-49.
- Herrera, J. y Aristizábal, M. 2003. Caracterización de crecimiento y producción de híbridos y cultivariedades de plátano en Colombia. Infomusa 12(2):22-24.
- INIBAP, IPGRI, CIRAD. 1996. Descriptores para el banano (*Musa spp*). Italia: IPGRI. 63 p.
- Orozco, M y Chaverra, C. 1999. Curso de actualización tecnológica en el cultivo del plátano con énfasis en poscosecha. Ungía: Corpoica-Pronatta. 25 p.
- Pereira, M. C. T.; Salomao, L. C. C.; Silva, S. E.; Sedyama, C. S.; Couto, F. A. D.; e Neto, S. P. 2000. Crescimento e produção de primeiro ciclo da bananeira 'Prata Anã' (AAB) em sete espaçamentos. Pesqu. Agropec. Brasil. 35(7):1377-1387.
- Polanía, J. 2004. La recuperación del sector agropecuario y el mejoramiento de la seguridad alimentaria. En: Polanía, J. (ed.). El sector agropecuario y la seguridad alimentaria en San Andrés isla. Historia de una experiencia del Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria en el cambio de siglo. Bogotá: Cargraphics S.A. p. 3-16.
- Rodríguez, A. 2004. Estrategias de uso, manejo y conservación de recursos agrícolas. En: Polanía, J. (ed.). El sector agropecuario y la seguridad alimentaria en San Andrés isla. Historia de una experiencia del Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria en el cambio de siglo. Bogotá: Cargraphics S.A. p 17-28.
- Rodrigues, S.L.; De Oliveira, S.; Lucca, O. A.; Becerra, M.; Domingues, H.; e Da Silva, J. 2006. Comportamento de variedades e híbridos de bananeira (*Musa spp.*), em dois ciclos de produção no sudoeste da Bahia. Rev. Brasil. Frutic. 28(1):139-144.
- Rosales, F.; Arnaud; E.; y Coto, J. 1999. A tribute to the work of Paul H. Allen. A catalogue of wild and cultivated bananas. Montpellier: INIBAP, IPGRI, FHIA. 362 p.
- Sarah, J. 1998. Las prácticas culturales como medios de control de nemátodos en el banano. En: Rosales, F.; Tripon, S.; y Cerna, J. (eds.). Producción de banano orgánico y/o ambientalmente amigable. Memorias del taller internacional en Guácimo, Costa Rica. Honduras: Centro Editorial. p. 138-151.
- Sierra, L. 1993. El cultivo del banano. Producción y comercio. Pereira: Editorial Gráficas Olímpica. 678 p.
- Simmonds, N. 1966. Bananas. 2<sup>a</sup> ed. Gran Bretaña: Western Printing Services Ltd. 512 p.

# **Geoprocessamento aplicado na identificação e localização potencial de conflitos de uso em áreas de preservação permanente na microbacia do córrego Monte Belo, Botucatu (SP, Brasil)**

**Geo-processing in identifying and locating potential conflicts of land use in areas of permanent preservation of the Monte Belo watershed, Botucatu (SP, Brazil)**

*Sérgio Campos<sup>1</sup>, Mariana Lisboa Pessoa<sup>2</sup>, Ana Paula Barbosa<sup>2</sup>, Flávia Mazzer Rodrigues<sup>3</sup>, Teresa Cristina Tarlé Pissarra<sup>4</sup>, Victor Benedictes Mora<sup>5</sup>*

Professor, Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil. CEP: 18611-330. <sup>2</sup> Discentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Energia na Agricultura da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil. <sup>3</sup> Discentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Jaboticabal, Estado de São Paulo, Brasil. <sup>4</sup> Professora Doutora do Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Jaboticabal, Estado de São Paulo, Brasil. Autor para correspondência: Email: seca@fca.unesp.br

Rec.:21-05-09    Accept.: 14-11-09

## **Resumo**

Este trabalho teve como objetivo avaliar o geoprocessamento aplicado na identificação e localização potencial de conflitos de uso de 1592 ha em áreas de preservação permanentes (APPs) da microbacia do Córrego Monte Belo - Botucatu (SP, Brasil) (22° 45' a 22° 48' de latitude S e de 48° 15' a 48° 21' de longitude WGr.) através do uso de Sistema de Informações Geográficas e de imagem de satélite digital, bandas 3, 4 e 5 do Sensor TM, do Landsat 5, da órbita 220, ponto 76, quadrante A, passagem de 23.10.2006. Os resultados permitiram constatar que 62.78% da área é ocupada com reflorestamento e 37.22% é mata, e que somente 2.65% da área vem sendo usado inadequadamente com reflorestamento.

**Palavras chaves:** Paisaje, aspectos fisiográficos, evolução paisagística; microbacia; sensoriamento remoto.

## **Abstract**

This work aimed to evaluate the potential of geo-processing in the identification and localization of potential conflicts of use over 1592ha in permanent preservation areas (APPs) of the Monte Belo watershed - Botucatu (SP, Brazil) (22° 45' to 22° 48' S and 48° 15' to 48° 21' W), through the use of Geographical Information Systems (GIS) and digital satellite images, bands 3, 4 and 5 of Sensor TM of LANDSAT 5, of the orbit 220, point 76, quadrant A, passage of 23/10/2006. The results allowed verification that 62.78% of the area is occupied with reforestation and 37.22% is forest, and that only 2.65% of the area has been used inadequately with reforestation.

**Key words:** landscape evolution; watershed; remote sensing

1 Professor, UNEPS

2, 3, 4, 6 Ing. Agrônomo

5 Professora Assistente, Ph.D. Engenharia Rural

## Introdução

As áreas de preservação permanentes têm papel vital dentro de uma microbacia, por serem responsáveis pela manutenção, preservação e conservação dos ecossistemas existentes (Magalhães e Ferreira, 2000). Estas devem estar sempre cobertas com a vegetação original, pois a cobertura vegetal atenua os efeitos erosivos e a lixiviação dos solos, contribuindo também para regularização do fluxo hídrico, redução do assoreamento dos cursos d'água e reservatórios, trazendo benefícios diretos para a fauna (Costa et al., 1996).

O monitoramento das áreas de preservação permanente tem sido um grande desafio sob o aspecto técnico e econômico, pois os critérios de delimitação com base na topografia exigem o envolvimento de pessoas especializadas e de informações detalhadas da unidade espacial em análise.

A caracterização do uso e cobertura da terra trás uma infinidade de informações sobre o espaço, as quais devem ser avaliadas, integradas e armazenadas. O geoprocessamento é uma tecnologia utilizada para integrar várias ferramentas, dados e programas (Rocha, 2000).

O presente trabalho teve por objetivo utilizar geotecnologias para fazer o mapeamento de uso e cobertura da terra e o conflito deste nas Áreas de Preservação Permanente - APPs na microbacia Monte Belo - Botucatu (SP, Brasil).

## Materiais e método

A microbacia do Córrego Monte Belo (1592 há), situada no Município de Botucatu São Paulo (48° 21' W, 48° 15' W, 22° 48' S e 22° 45' S, 18°C a 22°C, 440 - 620 m.s.n.m a, clima subtropical úmido).

A interpretação das classes de uso e cobertura do solo foi feita com base na imagem de satélite digital, bandas 3, 4 e 5 do Sensor TM, do Landsat 5, da órbita 220, ponto 76, quadrante A, passagem de 23.10.2006, através do método de classificação em tela.

As imagens foram georreferenciadas no ENVI 4.2, e os pontos de controle utilizados foram obtidos da carta planialtimétrica. Posteriormente, foram exportadas para o IDRISI

onde foram feitas as composições RGB para cada uma das datas. Tais composições foram convertidas para o formato BMP através do CartaLinx, para então serem interpretadas.

Depois de identificadas as diferentes classes de uso e cobertura do solo, os polígonos vetorizados foram exportados para o ArcView 3.2 para a elaboração do mapa final e quantificação das áreas. Inicialmente, através do software Arc View 3.2, foi realizado o georreferenciamento, utilizando-se para isso da carta topográfica de Botucatu, escala de 1:50000 e um GPS (Global Positioning System) para coleta de dados em campo.

O recorte da área na imagem digital foi realizado segundo os limites geográfico da área através do software Arcview. Posteriormente, o mapeamento da área feito através da tela do monitor obedecendo aos padrões de análise, o qual se baseia em princípios como cor, tonalidade, textura, forma, agrupamento, tamanho (elementos utilizados em foto-interpretção) e sombra.

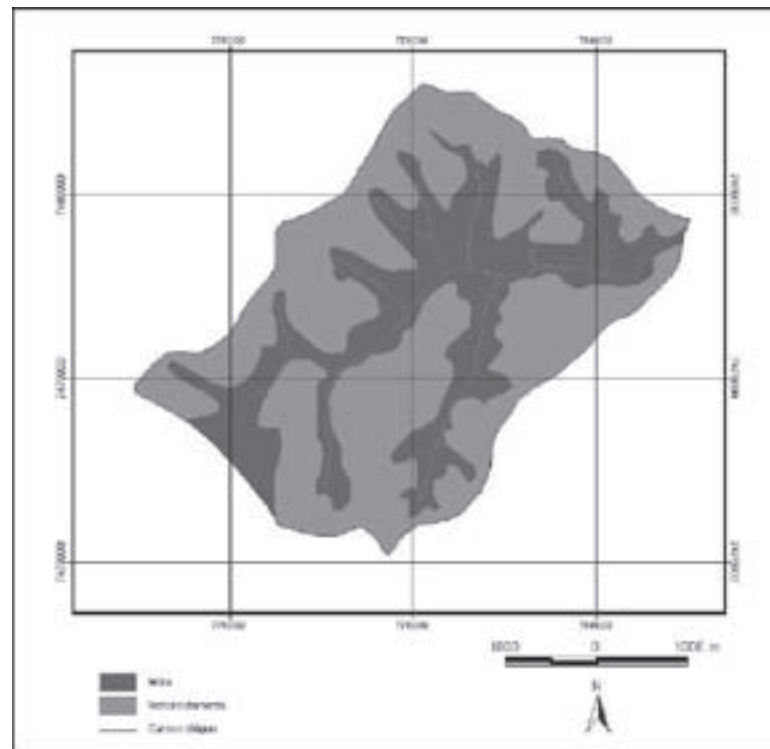
As áreas de preservação permanente foram definidas ao longo dos cursos d'água do córrego Monte Belo, sendo utilizado a operação *Buffer Selected Features* do software ArcView 3.2, a qual proporcionou com que se fosse criado um *buffer* de 50 m de raio das áreas das nascentes e um *buffer* de 30 m de cada lado da drenagem ao longo do leito do córrego, (Art.3º resolução Conama no. 303/2002, Código Florestal, Lei 4771-1965).

O mapeamento e a quantificação dos conflitos de uso da terra em áreas de preservação permanente foram realizados usando-se álgebra de mapas. Os procedimentos foram executados no ambiente *Raster Calculator* do módulo *Spatial Analyst* do ArcGIS.

## Resultados e discussão

O uso da terra na microbacia do córrego Monte Belo - Botucatu (SP) mostra que os reflorestamentos (Figura 1 e Tabela 1) vêm predominando em mais de 60% da área em 2006. bEssa classe de uso vem ocorrendo em virtude da predominância de solos férteis e da fácil mecanização nessas áreas (Barros et al., 1987).

As matas, elementos importantes na preservação ambiental, representam mais



**Figura 1.** Uso e cobertura do solo da microbacia do córrego Monte Belo – Botucatu (SP), em 2006.

**Tabela 1.** Classes de uso do solo e conflito de uso em áreas de preservação permanentes (APP's) da microbacia do córrego Monte Belo – Botucatu (SP), em 2006.

Classes de uso da terra	Área			
	Microbacia		Conflito	
	ha	%	ha	%
Mata	592.23	37.22	98.50	97.35%
Reflorestamento	998.92	62.78	2.68	2.65%
Total	1591.15	100	101.18	100%

35% da área. Estas classes são formadas praticamente por matas ciliares e florestas propriamente ditas. As matas ciliares ou de galeria é uma formação florestal que acompanha os rios de pequeno porte e são corredores fechados (galeria) sobre a rede de drenagem. Segundo o Código Florestal, a reserva mínima de florestas deve ser de 20%. Esses dados permitem inferir que a microbacia vem sendo preservado ambientalmente (37.22%), devido à alta porcentagem de mata ripária presente. A mata de galeria protege o solo contra o impacto direto das gotas das chuvas, diminuindo a velocidade de escoamento su-

perficial e favorecendo a infiltração de água no solo (Silveira et al., 2005).

No mapa de conflito de usos em áreas de preservação permanentes (APPs) o buffer somam 7065 m<sup>2</sup>, representando cerca de 0.05% da superfície da microbacia, enquanto que ao longo da rede de drenagem ocuparam 6.74% (100.48 ha) da área total da microbacia.

Ao longo do tempo, a transformação na cobertura vegetal vem acontecendo de forma dinâmica na microbacia, com a região sofrendo sensíveis mudanças nas paisagens nos últimos anos, caracterizadas principalmente expansão da silvicultura.

As APPs representam 6.78% da área da microbacia. A área de APP discriminada ao longo da rede de drenagem foi de 101.18 ha, sendo que apenas 2.65% das áreas de APP está ocupada com reflorestamento de forma inadequada (conflito). Portanto, 97.35% de área de APP vêm sendo utilizados adequadamente, demonstrando que a microbacia está conservada ambientalmente segundo o Código Florestal Brasileiro vigente (1965).

Neste estudo foram analisados os conflitos de uso nas áreas de preservação permanente, somente ao longo da rede de drenagem da microbacia, desconsiderando-se as demais áreas de APPs, uma vez que a microbacia vem sendo conservada ambientalmente, conforme podemos notar pela espacialização do uso do solo na Figura 1.

### Conclusões

O estudo realizado na microbacia do córrego do Monte Belo - Botucatu (SP) mostrou que o uso inadequado da terra em áreas de preservação permanente é consideravelmente baixo, pois o uso antrópico (inadequado) chega a 2.65% das APPs. Os mapas de uso da terra podem servir como poder de fiscalização futuramente pelos Órgãos Públicos, bem como par identificação e localização das áreas de conflitos de uso da terra. O uso de técnicas de sensoriamento remoto através do emprego de produtos orbitais do Landsat mostrou-se eficientes; a definição do uso do solo, na integração dos dados georreferenciados dentro de um banco de dados mostrou ser uma ferramenta fundamental para o planejamento de uso do solo numa microbacia, bem como a sua utilização no atendimento à legislação ambiental, principalmente nas áreas de APPs. O Sistema de Informações Geográficas Arc View 3.2 foi eficiente na discriminação das classes de uso do solo, mostrando que 62.78% da área é ocupada com reflorestamento e que 37.22% é coberto de mata e que a área de APP da microbacia é de 101.18ha, onde apenas

2.65% está sendo usado inadequadamente (conflito) por reflorestamento.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Faculdade de Ciências Agrônomicas/UNESP e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico -CNPQ pelo apoio financeiro, sem o qual não seria possível a realização deste trabalho.

### Referencias

- Barros, Z. X. de; Cardoso, L. G.; e Targa, L. A. 1987. Utilização de fotografias aéreas em ocupação do solo por cobertura vegetal.. En: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. 16, Jundiaí, Brasil, SBEA, 1987. p. 598 – 603.
- Conama (Brasília, DF). 2002. Resolução No. 303, de 20 de março. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, 13 de maio.
- Costa, T. C. C.; Souza, M.G.; e Brites, R.S. 1996. Delimitação e caracterização de áreas de preservação permanente, por meio de um sistema de informações geográficas. En: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7, Salvador, Brasil, INPE, 1996. Anais... p. 121 – 127.
- Lei 4771 de 15 de setembro, que institui o novo Código Florestal. Brasil.
- Magalhães, C.S.e Ferreira, R.M. 2000. Áreas de preservação permanente em uma microbacia. Informe Agropecuário, Belo Horizonte. 21(207):33-39.
- Rocha, C. H. B. 2000. Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar. Juiz de Fora, MG: Ed. do Autor. 220 p.
- Silveira, E. M. O.; Carvalho, L. M. T.; e Silva, A. M. 2005. Uso conflitivo do solo nas áreas de preservação permanente no município de Bocaina de Minas/MG. En: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia - GO. Anais... São José dos Campos: INPE.

# Estudio de metales pesados y arsénico en los suelos de olivar de Sierra Mágina, Jaén (España)

Study of heavy metal and arsenic concentrations in olive farm soils, Sierra Mágina, Jaen, Spain.

Juan Carlos Menjivar Flores<sup>1</sup>, María Díez Ortiz<sup>2</sup>, José Aguilar Ruiz<sup>2</sup>, Francisco Martín Peinado<sup>2</sup>,  
Inés García Fernández<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Dpto. Ciencias Agrícolas. AA. 237, Palmira, Valle del Cauca, Colombia. <sup>2</sup> Universidad de Granada, Campus Fuentenueva s/n, 18002 Granada. Facultad de Ciencias, Dpto. de Edafología y Química Agrícola. <sup>3</sup> Universidad de Almería Ctra. Sacramento s/n, 04120 Almería, Dpto. de Edafología y Química Agrícola. CITE II B. Autor para correspondencia. [jcmenjivar@palmira.unal.edu.co](mailto:jcmenjivar@palmira.unal.edu.co)

Rec.: 04-08-09 Acept.: 01-11-09

## Resumen

En Sierra Mágina, Jaén (España) fueron seleccionados 35 suelos dedicados al cultivo del olivar en los que se estudió la concentración de cromo (Cr), níquel (Ni), cobre (Cu), plomo (Pb), Zinc (Zn) y arsénico (As) a profundidades entre 0 - 20 y 20 - 40 cm. Estos suelos se desarrollan sobre materiales carbonatados, predominando Calcisoles pétricos y Regosoles calcáricos (FAO, 1999). La homogeneidad del material parental es responsable de la ausencia de variaciones significativas en las propiedades de los suelos a las profundidades estudiadas, así como en el contenido de metales pesados y arsénico. El Cu es el único elemento que varía con la profundidad ( $p < 0.01$ ), presentando un valor promedio más elevado entre 0 y 20 cm debido a la aplicación de controles fitosanitarios en los cultivos de la región. En los suelos con texturas arcillosa y limosa se presentan concentraciones más altas de Cr y Ni, mientras que el resto de metales analizados y el As no presentan variaciones significativas con las principales propiedades físicas y químicas de los suelos. Los elementos estudiados no exceden el nivel de referencia establecido para suelos por la Junta de Andalucía y presentan concentraciones similares a las encontradas en rocas equivalentes y en suelos no contaminados. Los valores promedio en As, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn están relacionados con las concentraciones heredadas del material litológico del que se derivan.

## Abstract

The content of heavy metals and arsenic was studied in 35 soils under olive cultivation in the Sierra Mágina, Jaen, Spain. The concentrations of chromium (Cr), nickel (Ni), copper (Cu), lead (Pb), zinc (Zn) and arsenic (As) were determined at depths between 0 - 20 and 20- 40 cm. These soils developed on carbonate materials, predominantly Petric Calcisols and Calcaric Regosols (FAO, 1999).

The homogeneity of parental material was responsible for the lack of significant variation seen in soil properties, and also heavy metal and arsenic content at the depths studied. Copper was the only ele-

<sup>1</sup>Ing. Agrónomo, M.Sc. Ph.D. Suelos y Aguas.

<sup>2</sup>Geóloga, Ph.D.

<sup>3</sup>Ph.D. Ciencias del Suelo, Esp. en Evaluación y Degradación de Suelos.

<sup>4,5</sup>Ph.D. Ciencias del Suelo, Esp. en Contaminación de Suelos

ment that varied over depth ( $p < 0.01$ ), with a higher mean value between 0 - 20 cm; a consequence of agrochemical applications in the region.

Soils with a clay and silt texture had higher concentrations of Cr and Ni, while the rest of the metals, and As, did not present significant variation with the main physical chemical properties of the soil.

The studied elements did not exceed the reference levels established by the Andalucía Authorities, presenting similar concentrations to those found in equivalent rocks and in non-contaminated soils. The mean values for As, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn were related to the concentrations inherited from the lithological material from which the soils are derived.

### Introducción

Los metales pesados presentes en el suelo pueden tener un origen diverso, bien sea natural y heredado del material original (litológico), a través de la actividad humana (antropogénico), o puede ser distribuido a través de los horizontes o en partículas del suelo como resultado de transformaciones minerales o procesos edafológicos (edafológico). Las prácticas agrícolas con frecuencia son fuente de contaminación de metales pesados (Kabata-Pendias, 1995) como resultado de impurezas en los fertilizantes aplicados. Otras fuentes incluyen el uso de lodos como enmienda orgánica, la aplicación de residuos sólidos urbanos y el transporte de partículas de la atmósfera (Alloway, 1995; Föstner, 1995).

La evaluación y conocimiento de la contaminación por metales pesados en el suelo es de interés por sus posibles efectos en la cadena trófica. En la provincia de Jaén, Andalucía (España) existe prácticamente un monocultivo de olivar, dedicado a la variedad picual. Dentro de la provincia existen varias clases de aceites con denominación de origen y uno de ellos es Sierra Mágina, ubicado en la comarca del mismo nombre, que produce dos tipos de aceite de oliva virgen, uno ecológico y otro procedente de olivares con producción integrada. La pertenencia de los suelos a una misma comarca olivarera tiene como ventaja que todos ellos reciben el mismo tratamiento. En los ecológicos no se aplican productos fitosanitarios y en los de producción integrada se aplican cantidades iguales de insumos en la misma época.

El objetivo del presente trabajo fue determinar los niveles en los contenidos totales de As, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en suelos de olivar de Sierra Mágina y una vez comparados con

niveles de referencia de otras zonas, identificar posibles anomalías y sus relaciones con las variaciones en el uso o las propiedades químicas de los suelos.

### Materiales y métodos

Para el estudio se tomaron muestras de 35 suelos del olivar de Sierra Mágina entre 0 - 20 y 20 - 40 cm, para un total de 70 muestras. Todos los suelos muestreados se desarrollan sobre material carbonatado (calizas, margocalizas, margas, dolomías, materiales aluviales y materiales triásicos). Las muestras correspondieron a todos los tipos de suelos existentes en la zona del estudio y varían desde aquellos menos desarrollados como Leptosoles calcáricos ( $n = 3$ ) y Regosoles calcáricos y fluventico-calcáricos ( $n = 22$ ), hasta muy evolucionados como Luvisoles crómicos ( $n = 2$ ), pasando por Cambisoles vérticos y calcáricos ( $n = 14$ ) y Calcisoles pétricos, hypercálicos y háplicos ( $n = 24$ ) (Menjívar, 2001).

Para el muestreo de suelos, además de tener en cuenta los distintos factores que dieron origen a su formación, se prestó especial atención a las zonas con y sin riego y al tipo de manejo: tradicional y labranza mínima.

Para la determinación de los elementos se utilizaron los métodos analíticos siguientes: carbono orgánico según Tyurin (1951), carbonatos por método de Barahona et al. (1984), textura por pipeta de Robinson (Soil Conservation Service, 1972), bases y capacidad de cambio con acetato amónico (1N, pH = 7) y acetato sódico (1N, pH = 8,2), pH en suspensión suelo-agua 1:2.5. Los metales pesados (Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) y el As se determinaron después de una digestión ácida (HF, HNO<sub>3</sub> y HCl) mediante ICP-MS en un espectrómetro Pe Sciex Elan-5000A. Para el



estudio estadístico de los datos obtenidos se utilizó el programa SPSS v.11.0.

## Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se incluyen los valores promedio, la desviación estándar (DE), y los valores mínimos y máximos de las principales propiedades de los suelos y del contenido total (mg/kg) de Cr, Cu, Ni, Pb, Zn y As de los grupos de suelos del estudio.

Los suelos tienen como característica en común un elevado contenido de carbonato cálcico equivalente (> 40%) por lo que predominan los Calcisoles y las formas calcáricas de muchas tipologías. Este exceso de carbonato cálcico ocasiona que muchas plantaciones presenten clorosis férrica por ausencia de asimilación de hierro.

El pH de los suelos varía de ligero a moderadamente básico y el porcentaje de carbono orgánico es bajo para todos los suelos estudiados. Las propiedades de los grupos de suelos no presentan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), no obstante, a nivel de unidad de suelos aparecen algunas variaciones, así, los Luvisoles crómicos tienen un pH más bajo ( $P < 0,05$ ), menor contenido de  $\text{CaCO}_3$  y textu-

ra arcillosa; los Cambisoles vérticos tienen un alto contenido de arcilla y capacidad de cambio; y los Regosoles fluventico-calcáricos poseen una textura arenosa claramente diferente ( $P < 0,05$ ). El material parental es muy homogéneo en la mayoría de los casos y se encuentra dominado por materiales carbonatados. Por tanto, la influencia de este material puede ser responsable de la ausencia de variaciones significativas en las propiedades de los suelos hasta 40 cm de profundidad, pese a que en el estudio se incluyen Luvisoles y Cambisoles relativamente evolucionados.

El pH es la propiedad que aparentemente ha sido afectada ( $P < 0,01$ ) por la forma de uso. Los suelos con laboreo tradicional presentan valores inferiores de pH ( $7,98 \pm 0,45$ ) en comparación con los suelos manejados con mínima labranza ( $\text{pH } 8,38 \pm 0,38$ ).

Los valores encontrados de metales pesados y As en los suelos indican que, al igual de lo que ocurre con las propiedades, existe cierta homogeneidad tanto entre los distintos tipos de suelos como en su distribución en profundidad. Las únicas variaciones se encuentran en el contenido de Cu el cual presenta diferencias ( $P < 0,01$ ) en profundidad, mostrando los promedios más altos entre 0 y

**Cuadro 1.** Principales propiedades, contenidos de metales y As de los grupos de suelos en el estudio. Olivar de Sierra Mágina, Jaén (España).

Suelo		pH	$\text{CaCO}_3$ (%)	CO (%)	Arcilla (%)	CIC $\text{cmol}_c/\text{kg}$	As	Cr	Cu $\text{mg}/\text{kg}$	Ni	Pb	Zn
Leptosol	Media	8.42	58.77	0.63	25.97	12.81	4.23	3.433	25.33	19.33	27.00	38.33
	D.T.	0.29	9.76	0.21	9.53	3.72	2.22	11.01	9.71	8.74	3.61	9.61
	Min.	8.08	52.30	0.46	15.00	8.77	2.40	23.00	17.00	12.00	24.00	28.00
	Max.	8.60	70.00	0.86	32.20	16.09	6.70	45.00	36.00	29.00	31.00	47.00
Calcisol	Media	8.07	39.75	0.78	33.06	14.33	5.92	45.37	18.96	20.58	25.96	37.29
	D.T.	0.46	17.41	0.46	8.16	3.62	2.35	23.53	7.53	10.25	17.10	15.82
	Min.	7.20	7.24	0.17	18.70	6.57	2.70	9.00	5.00	4.00	7.00	2.00
	Max.	9.10	82.00	2.04	49.50	20.73	12.0	109.00	33.00	46.00	83.00	65.00
Luvisol	Media	7.44	11.75	1.20	41.30	17.37	4.10	47.50	18.00	20.00	21.50	43.00
	D.T.	0.18	7.60	0.16	17.39	2.55	0.28	12.02	1.41	1.41	0.71	0
	Min.	7.32	6.38	1.09	29.00	15.57	3.90	39.00	17.00	19.00	21.00	43.00
	Max.	7.57	17.13	1.31	53.60	19.17	4.30	56.00	19.00	21.00	22.00	43.00
Cambisol	Media	8.17	48.95	0.85	38.40	18.67	7.86	55.93	21.71	24.21	22.93	42.36
	D.T.	0.34	22.03	0.32	9.61	7.60	1.53	17.25	5.31	6.34	9.73	14.58
	Min.	7.34	13.56	0.43	19.50	7.10	5.90	29.00	15.00	13.00	12.00	24.00
	Max.	8.70	76.25	1.56	51.90	32.08	10.2	86.00	32.00	32.00	43.00	63.00
Regosol	Media	8.30	46.96	0.65	34.96	14.96	4.61	40.36	20.27	19.18	20.23	32.95
	DE	0.50	17.96	0.36	10.01	5.13	2.61	20.96	11.78	9.01	7.91	17.13
	Min.	7.00	24.80	0.14	14.40	8.47	0.60	11.00	2.00	4.00	7.00	7.00
	Max.	8.87	82.00	1.30	58.10	29.13	11.8	75.00	53.00	33.00	36.00	64.00

DE desviación estándar ; CO: carbono orgánico, CIC: capacidad de intercambio catiónico

20 cm ( $23.09 \pm 9$  mg/kg) y los menores entre 20 y 40 cm ( $17.16 \pm 7.51$  mg/kg). El mayor contenido superficial de Cu en estos suelos puede ser explicado por la aplicación de este elemento en forma de compuestos fitosanitarios, práctica muy utilizada en la zona.

La influencia del material parental y de los procesos de meteorización se manifiesta en los valores de Cr y Ni (Cuadro 2) que alcanzan concentraciones claramente superiores en los suelos de texturas finas (arcillosa y limosa), lo que concuerda con lo observado por McGrath y Loveland (1992) en suelos de Inglaterra y Gales.

**Cuadro 2.** Concentraciones de Cr y Ni en función de la textura del suelo. Olivar de Sierra Mágina, Jaén (España).

Textura	Cr (mg/kg)		Ni (mg/kg)			
	Prom.	DE	Prom.	DE		
Arcillosa	54.75	-	12.85	24.10	-	4.86
Limosa	58.20	-	32.03	26.70	-	11.89
Franca	-	37.25	16.59	-	17.32	7.61
Arenosa	-	-	21.37	-	-	11.07
	34.00		17.00			
	P =		P =			
	0.002		0.003			

Las concentraciones de los demás metales y de As no presentan variaciones significativas debidas a las principales propiedades de los suelos. Igualmente, no se observan variaciones relacionadas con los principales grupos de suelos estudiados (ver Cuadro 1). En este sentido, es evidente la influencia que tiene el material parental sobre las concentraciones de los elementos analizados en estos suelos; como se mencionó antes existe una gran similitud en las diferentes litologías sobre las que se desarrollan, lo que se refleja en la ausencia de variaciones significativas en la concentración de metales y As. Por otra parte, los pocos suelos desarrollados sobre materiales no-carbonatados (areniscas) son los únicos que presentan diferencias ( $P < 0.01$ ) en elementos como el Cu, que alcanza concentraciones entre tres y cuatro veces inferiores a las de los suelos desarrollados sobre materiales carbonatados.

El estudio de las concentraciones de metales y As en comparación con los nive-

les de referencia para suelos de Andalucía (Aguilar et al., 1999) pone de manifiesto que los elementos analizados se encuentran por debajo de los niveles establecidos (Figura 1) y presentan concentraciones similares a las encontradas en rocas equivalentes y en suelos no-contaminados (Alloway, 1995), por tanto, los valores determinados en el presente estudio en estos suelos se pueden considerar normales y relacionados con las concentraciones heredadas del material litológico de origen.

### Conclusiones

Los contenidos de metales pesados y arsénico en los suelos dedicados al cultivo del olivar en Sierra Mágina están relacionados con el material original sobre el que se desarrollaron. El uso o manejo del suelo, como tipo de riego o prácticas culturales de laboreo influyen en la concentración total de metales en los suelos, ya que sus concentraciones no exceden en ningún caso el nivel de referencia establecido por la Junta de Andalucía.

### Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al Proyecto Plan de Fertilización del Olivar financiado por la Caja Rural de Jaén (España)

### Referencias

Aguilar, J.; Dorransoro, C.; Gómez, J. L. y Galán, E. 1999. Los criterios y estándares para declarar un suelo contaminado en Andalucía y la metodología y toma de muestras y análisis para su investigación. En: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Sevilla (eds.). Investigación y desarrollo medioambiental en Andalucía, Universidad de Sevilla (España). p. 45-59.

Alloway, B. J. 1995. The origins of heavy metals in soils. En: B. J. Alloway (ed.). Heavy Metals in Soils. Blackie Academic and Professional. p. 38-57

FAO-ISRIC-ISSS. 1998. World reference base for soil resources. roma,

Föstner, U. 1995. Land contamination by metals: global scope and magnitude of problem. En: Allen, H. E.; Huang, C. P.; Bailey, G. W. y Bowers, A. R. (eds.). Metal speciation

and contamination of soil. Lewis Publ. CRC Press. 91 p.

Kabata-Pendias, A. 1995. Agricultural problems related to excessive trace metal contents of soils. En: W. Salomons, U. Förstner and P. Mader, (eds.). Heavy metals. problems and solutions, Springer-Verlag. p. 3-18.

Menjivar, J. C. 2001. Estudio de los suelos de olivar de la Hoja de Torres (948): Su evaluación y degradación. Tesis Doctoral. Universidad de Granada (España), 300 p.

McGrath, S.P. y Loveland, P.J. 1992. The soil geochemical atlas of England and Wales. Blakie Academic and Professional. Londres. 352 p.

Tyurin, I. V. 1951. Analytical procedure for a comparative study of soil humus. Trudy. Pochr.Inst.Dokuchaeva. 38(5).

Barahona, E. 1984. Determinaciones analíticas en suelos. Normalización de métodos. Determinación de carbonatos totales y caliza activa. Grupo de Trabajo de Normalización de Métodos Analíticos. Primer Congreso de la Ciencia del Suelo, Madrid. 1, p. 53-67.

Soil Conservation Service, 1972. Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soils samples, Soil Surv. Report. USDA, Washington (USA).

# Cambios en coberturas de áreas y usos del suelo en tres humedales en el Valle del Cauca

## Changes of the coverage of three wetland areas in Cauca Valley

*Christian Andrés Núñez Restrepo<sup>1</sup>, Edgar Enrique Madero Morales<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Ingeniero Ambiental. <sup>2</sup>Profesor asociado, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle del Cauca, Colombia  
Autor para correspondencia: sudaca1986@hotmail.com

Rec. 15-03-09 Acept.: 20-09-09

### Resumen

El objetivo de este proyecto fue aplicar la tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG), en especial los programas ARCGIS y ERDAS, como metodología para identificar los cambios de cobertura de área y uso del suelo en las zonas de los humedales la Bolsa, Charco de Oro y el Pital, localizados en la parte plana del municipio de Andalucía corregimiento de Campoalegre y El Salto (Valle del Cauca, Colombia). Para el estudio se utilizaron fotografías aéreas de 1950 y 1998, imágenes Landsat 2002 y cartografía base de la zona. Los procesos dentro de la metodología fueron depurados, un ejemplo es la georreferenciación de las fotografías y la creación de fotomosaicos que conllevan una imagen con mejor apariencia visual y más fácil identificación de los humedales, de manera que al hacer comparaciones, aquellos arrojen cambios de cobertura en la zona de estudio. Así, la utilización de los SIG y un correcto tratamiento de las imágenes satelitales resultan de gran ayuda no sólo en la obtención de los cambios en el uso del suelo y los humedales, sino también en diferentes áreas donde la utilización de esta tecnología es poco común.

**Palabras clave:** Sistema de Información Geográfica, imágenes satelitales, georreferenciación, humedales, Valle del Cauca, Colombia.

### Abstract

The objective of this project was to apply geographic information system (GIS) technology, mainly ARCGIS and ERDAS software, as a methodology to identify changes in coverage and land usage of the terrain comprising the wetlands La Bolsa, Charco de Oro, and El Pital, located in the flat zone of the Andalucía municipality, in the villages of Campo Alegre and el Salto (Valle del Cauca Department, Colombia). The study employed aerial photos from 1950 and 1998, Landsat images from 2002, and base cartography of the zone. The processes within the methodology were purged. For example, the geo-referencing of photographs, and the creation of photo-mosaics to convey an image with a better visual appearance, and easier identification of the wetlands, in such a way that when making comparisons, they reveal changes in coverage in the study zone. The usage of GIS and correct processing of satellite images will be very helpful not only to evidence changes in soil usage in wetlands, but also in different areas where use of these technologies is very unusual.

**Key words:** Geographic Information System, wetlands, cartographic, Cauca valley, Colombia.

1 Ing. Ambiental.

2 Profesor Asociado, M.Sc. Ph.D. Suelos y Aguas.

## Introducción

El valle geográfico del río Cauca es la zona con uno de los mayores índices de desarrollo agropecuario en Colombia debido a la alta fertilidad de los suelos, estratégica ubicación geográfica, variedades de clima y el aprovechamiento del sistema hídrico con sus derivados las 'madreviejas', -cuerpos de agua formados por estrangulamientos debidos a la sinuosidad del río Cauca- utilizados para riego en la ampliación de la frontera agrícola, con los consecuentes cambios en el paisaje natural y el desplazamiento de la vegetación autóctona (Ministerio del Medio Ambiente-Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. 1999.).

Dentro del ciclo hidrológico, los humedales juegan un rol importante en el mantenimiento de la calidad ambiental y la regulación de las cuencas hidrográficas, los estuarios y las aguas costeras desarrollando, entre otras, funciones de mitigación de impactos por inundaciones y absorción de contaminantes, proveyendo hábitats para animales y plantas (Ministerio del Medio Ambiente de Colombia. 2001).

En 1995 en el Valle del Cauca existían 15,286 ha en humedales lénticos naturales de agua dulce a lo largo del río Cauca. De acuerdo con datos del Ministerio del Medio Ambiente en la actualidad existen 52 humedales en 2650 ha. (CVC.Madreviejas,Cali+1 videocasetes(VHS))

En el municipio de Andalucía (Valle del Cauca) se consideran importantes los humedales la Bolsa, Charco de Oro y el Pital, actualmente en proceso de degradación. El objetivo del presente estudio fue hacer un análisis múltitemporal por comparación de aerofotografías e imagen Landsat en diferentes épocas (1954, 1998, 2002) con la aplicación del Sistema de Información Geográfica (SIG) para determinar los cambios en la cobertura de área de estos humedales. Se espera que la información sea útil para los trabajos del grupo de biodiversidad de la Dirección de Gestión Ambiental de la CVC encargado del manejo y control de los humedales en el Valle del Cauca y en especial los del municipio de Andalucía(Plan de Manejo Integral de las

Madresviejas La Trozada, Bocas de Tuluá, Madrigal, La Herradura y Cementerio.

## Materiales y métodos

Los humedales la Bolsa, Charco de Oro y el Pital se encuentran localizados en el sector occidental del municipio de Andalucía, departamento del Valle del Cauca, en la margen derecha del río Cauca entre el corregimiento Campoalegre y la vereda Madrevieja (Esquema de Ordenamiento Ambiental del Municipio de Andalucía, 2000) y es aprovechado por la Asociación Granos y Granos S.A., proveedores de caña de azúcar del Ingenio Riopaila SA.

Para el estudio se consideraron las unidades diferenciadas por su naturaleza y apariencia exterior, por ej., cobertura vegetal y de área de los humedales. Para determinar las clases de cobertura se tuvieron en cuenta los accidentes naturales como bosques, pasturas, pantanos, cultivos y construcciones, entre otros; de esta manera se establecieron las condiciones propias de cada tipo de cobertura, dentro de la cual fueron consideradas las clases: Bosque natural, pradera natural intervenida, conflictos de uso de suelo (agricultura de bajos y altos insumos, cuerpos de agua y humedales propiamente) (Andrade y Baquero, 2007).

Los valores de áreas para los periodos 1954 y 1998 se tomaron directamente de fotografías aéreas utilizando los Programas ERDAS (Georreferenciación y Análisis Digital de Imágenes) y ARC-GIS (Digitalización de Áreas de Cobertura). La información para 2002 fue tomada de una imagen Landsat, que posteriormente fue ajustada para 2008 con información tomada directamente de observaciones en campo.

### Fase inicial

Esta fase comenzó con la elección del área (957 ha) de influencia de los humedales o madreviejas. Para las fotografías aéreas se seleccionaron una escala 1:30000 para 1998 y 1:20000 para 1954, las cuales fueron tomadas a una distancia focal de 152 mm, con una cámara zeiss RMK. Para las imágenes de tamaño de pixel 30 x 30 (Landsat TM) se puede trabajar desde escala 1:50000 hasta 1:100000. En esta fase también se elabora-

ron: (1) la cartografía base y catastral de la zona de estudio, que incluyó asociaciones con las fotografías aéreas y la fecha de toma de la imagen; y (2) fotografías aéreas e imagen satelital. Para los análisis se utilizaron fotografías de las décadas 1950 - 1998 y una imagen satelital de 2002, lo que representa, aproximadamente, 54 años de diferencia en los cuales se esperaría que ocurriera un cambio de uso del suelo y de la cobertura de área de los humedales.

### **Procesamiento de fotografías aéreas**

Las fotografías fueron escaneadas con un equipo Epson-Stylus-CX 5600 y se procedió a visualizarlas con el programa Photoshop modificado a una resolución alta de 1600 pixels/pulgada y en un formato gráfico que utiliza ERDAS y ARC-GIS para su posterior procesamiento y archivo en formato TIFF.

### **Proceso de georreferenciación de fotografías aéreas**

Inicialmente las fotografías fueron desplegadas dentro del software ERDAS 9.21, procediendo a la ubicación, identificación de puntos visibles en coordenadas planas (este y norte) en los tres formatos: aerofotografías, puntos tomados por GPS ('Thales') y cartografía de 1999 suministrada por la CVC. La selección de puntos se determinó de acuerdo con parámetros mínimos como el número de puntos según el polinomio de transformación utilizado; en este caso un polinomio de segundo grado el cual exigía como mínimo la ubicación de seis u ocho puntos para alcanzar un error medio cuadrático  $< 1$ , como criterio de aceptación.

La selección de puntos fue dos puntos en las esquinas superior e inferior izquierda y derecha, un número igual en las zonas intermedias y en el centro de la fotografía en sentido sur-norte, todos con las mismas características de visibilidad y fácil ubicación; en algunos casos se presentó traslape en las aerofotografías.

Otros parámetros en el proceso de georreferenciación fueron de tipo DATUM, el cual para este caso fue 'Bogotá oeste'; el tipo de proyección trasverse mercator y el tipo de esferoide internacional 1924 correspondiente

a la zona de estudio; el tipo de coordenadas planas fue este-norte.

### **Construcción del mosaico fotográfico**

El programa ERDAS 9.21 aplicó automáticamente los diferentes pasos, minimizando el efecto de bordes y costuras entre fotos. Alguno de los efectos automáticos más importantes aplicados en este proceso son 'Seam feathering' cuya función principal es mezclar o permitir la grabación de colores de los valores de los datos, e 'Image display priority' que controla la prioridad de ubicación de las fotografías.

### **Análisis visual del mosaico**

Este análisis se realizó teniendo en cuenta los parámetros necesarios y conceptos de fotointerpretación de suelos para interpretar una fotografía en escala de grises, entre ellos: color, tono, tamaño, textura, patrón y forma. Según estos parámetros se analizaron las variables que intervenían en la interpretación: (1) vegetación, principalmente cultivos de caña de azúcar, bosques en general (guaduales y árboles de típicos de humedales y otras especies), pastos y otros cultivos menores; (2) suelos, descubiertos preparados para cultivo, ocupados por elementos antrópicos de tipo habitable como el casco urbano en pequeños asentamientos, y suelos destinados a vías; (3) cuerpos de agua, se incluyó el río Cauca, y los humedales de interés ambiental donde el espejo lagunar es invadido por varias especies vegetales acuáticas como enea, buchón de agua y lechugilla (Andrade y Baquero, 2007).

### **Digitalización de áreas en fotografías aéreas e imagen Landsat**

Con el uso de GPS (Thales mobile mapper) se delimitaron los bordes de los humedales para conocer el área en 2008 y se procedió a introducir los datos en ARC-GIS. Una vez delimitados los bordes de los humedales para las fotografías de 1954, 1998 y la imagen Landsat de 2002, se caracterizaron y digitalizaron las áreas de influencia a estos humedales en los aspectos conflictivos de uso del suelo, bosques naturales representativos y cuerpos de agua vulnerables a la desecación por su uso para riego.

## Resultados y discusión

### Cobertura y usos del suelo

En 1954 se observaban seis formas de uso y cobertura vegetal (Cuadro 1) con predominio de pastura naturalizada que se encontraba en 588.25 ha y cubría 61% del área total de la zona piloto de estudio (Foto 1). En menor proporción se encontraba el área en agricultura de bajos insumos en 190.60 ha que cubría 19.9% del área, seguida del área en humedales o madre viejas el Pital, la Bolsa y Charco de Oro.

Las restantes clases de uso y cobertura vegetal estaban constituidas por bosques naturales de especies arbóreas propias de los humedales y cuerpos de agua remanentes. Estos últimos se formaron por los desbordamientos del río Cauca y fueron favorecidos por el nivel freático superficial, que crearon volúmenes de agua inmersos o atrapados y distribuidos en la pastura naturalizada.

En 1998 igualmente se identificaron seis clases de uso y cobertura del suelo (Cuadro 1

**Cuadro 1.** Cambios por épocas en el uso del suelo y tipo de cobertura en la zona de influencia de los humedales. Municipio de Andalucía, Valle del Cauca (Colombia).

Tipo de uso y cobertura	1954 (ha)	1998 (ha)	Pérdidas (ha)	1998 (ha)	2002 (ha)	Pérdidas (ha)	1954-98 (ha/año)	1998-02 (ha/año)
Cuerpos de agua	26.09	0.71	-25.38	0.70	0.52	-0.18	0.045	0.57
Pradera natural	588.25	10.75	-577.50	10.75	0	-10.75	2.67	13.12
Agricultura de altos insumos	0	621.95	621.95	621.95	850.45	228.50	57.12	14.13
Bosque natural	84.81	35.15	-49.65	35.15	30.15	-5.00	1.25	1.12
Agricultura de bajos insumos (maíz)	190.59	17.17	-173.42	17.17	37.31	20.14	5.03	3.90
Humedales	69.51	55.65	13.86	55.65	49.16	6.50	1.6	0.31



Foto 1. Aerofotografía digitalizada en el área de influencia de los humedales. 1994.

y Foto 2) con predominio de la agricultura de altos insumos que comprendía 721.68 ha, es decir, 85.5% del área total de estudio, lo que significó un cambio drástico en comparación con los mismos parámetros observados en 1954. Los humedales en estudio cubrían un área de 57.5 ha, seguido de bosque natural (35.15 ha). En ese año era posible observar evidencias de agricultura de bajos insumos (cultivo de maíz en 17.17 ha), rodeada por el monocultivo de la caña en la isla que se encuentra en la parte interna del humedal el Pital. También se observaba gramíneas in-

cluidas en la clase de cobertura denominada pastura naturalizada (10.75 ha). Los cuerpos de agua ocupaban el área más reducida en la zona piloto con un reservorio (0.70 ha) destinado al riego del monocultivo de caña de azúcar (Berlanga-Robles y Ruiz-Luna).

En 2002 utilizando imagen satelital Landsat se observó el predominio nuevamente de la agricultura de altos insumos (850.45 ha) en 87.34% del área total de la zona piloto de estudio, seguido del área en humedales (57.5 ha) (Cuadro 1 y Foto 3). El resto de la zona se encontraba cubierta por cultivos



Foto 2. Aerofotografía digitalizada en el área de influencia de los humedales. .1998.



Foto 3. Imagen Landsat digitalizada del área de influencia de los humedales. 2002.



de bajos insumos (37.31ha), bosque natural (30.15 ha), bosque de guadua (3.34 ha), cultivo de cacao (0.67). El cuerpo de agua más representativo (0.52 ha) se encontraba en lotes de la hacienda Madre Vieja. Para este año la pradera natural había desaparecido de la zona piloto (Pardo, M. T.; Carreño, M. F.; Esteve, M. Á. 2001).

### Cambios generales en cobertura de área y usos

**Humedal Charco de Oro.** En 1954 este humedal estaba conectado directamente con el río Cauca; además de estar físicamente unido al humedal la Bolsa mostrando una forma de herradura y una cobertura de área de gran extensión. En el periodo 1954 - 98 se observaba una reducción considerable del área que ocupaba el humedal, perdiendo 12.08 ha para una tasa anual de pérdida de área de 0.27 ha. En 1991 la CVC realizó un levantamiento topográfico en el cual se lograron identificar las áreas de los humedales. La madre vieja Charco de Oro aparecía con 11.8 ha, lo que permite deducir que entre 1991 y 1998 el humedal perdió 8.79 ha para una tasa de pérdida anual de 1.2 ha. En 2002 la imagen Landsat mostró un área de 2.8 ha y en 2008, por GPS, el área era de 2.5 ha (Cuadro 2). De seguir esta tendencia próximamente el humedal desaparecerá (Ramsar, 1992).

**Cuadro 2.** Cambios entre 1954 y 2002 en área del humedal Charco de Oro, municipio de Andalucía, Valle del Cauca.

Año	Area (ha)
1954	15.09
1998	3.00
2002	2.80
2008	2.50

El humedal ha experimentado grandes impactos especialmente ocasionados por factores antropicos en el afán de expandir la frontera agrícola. La construcción de un jarillón ocasionó alteraciones en la descarga natural el aislamiento total del río Cauca y mala circulación de las aguas, contribuyendo

de esta forma al aceleramiento del proceso de eutrofización. Aunque no presenta invasión en el espejo de agua, no se descarta que haya ocurrido la proliferación de vegetación acuática en tiempos anteriores, la cual debió ser removida por la circulación natural y el dinamismo entre el río Cauca y la madre vieja (Flórez et al., 2004).

**Humedal la Bolsa.** Entre 1954 y 1998 este humedal perdió 2.6 ha debido a la intervención por parte del Ingenio Riopaila y a la construcción del jarillón que interceptó la comunicación directa con el río Cauca. En el periodo 1998 -2002 la reducción fue de 1.10 ha para una tasa anual de pérdida de 0.27 ha. En 2008 ocupaba un área de 24.48 ha (Cuadro 3)

**Cuadro 3.** Cambios entre 1954 y 2002 en área del humedal la Bolsa, municipio de Andalucía, Valle del Cauca.

Año	Area (ha)
1954	29.30
1998	26.70
2002	25.59
2008	24.48
2295	0

El humedal presenta una alteración notable del régimen hídrico, en las zonas aledañas a los cultivos de caña se han construido diques o jarillones que lo dividen, lo que permite por un lado la retención de agua y por otro, una pérdida significativa de área con presencia de vegetación acuática. Esto ocasiona un aumento en la sedimentación y finalmente la colmatación por sucesión vegetal natural de arbustos e incluso árboles en las zonas más secas y periféricas. El humedal tiene actualmente 2.5 ha de espejo de agua y algunos cuerpos de agua remanentes que escapan de la abultada vegetación acuática. La predominancia del 'buchón de agua' (*Eichornia crassipes*) como especie acuática invasora es notable, ocupando la mayor superficie de área del espejo de agua con respecto a otras especies como enea y lechuguilla. La fuerte relación entre el buchón y el humedal es uno de los fenómenos responsables del descenso en el nivel del humedal. Como principal fuente de material orgánico acumulado y

descompuesto en el fondo de las madre viejas y su facilidad de propagación, el buchón es una maleza difícil de erradicar, lo que incrementa la evapotranspiración e impide la penetración de la luz y el intercambio de oxígeno (Flórez et al., 2007).

**Humedal el Pital.** En 1954 este humedal, al igual que los anteriores, tenía conexión directa con el río Cauca. En la actualidad es alimentado por el caudal proveniente de la acequia el Cedrito y por corriente subterránea del río Cauca. Al contrario de lo ocurrido en los humedales el Pital y Charco de Oro, ha incrementado su superficie, de acuerdo con la medición utilizando GPS (Cuadro 4). Se puede asegurar que este humedal ha crecido tanto en profundidad como lateralmente a expensas de las crecientes e inundaciones producidas por el río Cauca, que irrumpen en los jarillones saturando los cultivos de caña y llegando hasta el mismo humedal (Andrade, D. y Baquero, F. 2007).

**Cuadro 4.** Cambios entre 1954 y 2002 en área del humedal el Pital. municipio de Andalucía, Valle del Cauca.

Periodo	Area (ha)
1954	25.12
1998	27.40
2002	26.88
2008	37.84

En este humedal también fue alterado el ciclo dinámico de flujo de caudales con el río Cauca, lo que se ha promovido el crecimiento de vegetación acuática, especialmente enea. Esta planta acuática es uno de los principales causantes de la desecación y el descenso del nivel del agua en épocas secas y principal fuente de material orgánico que se acumula y descompone en el fondo de las madre viejas.

### Conclusiones

- La adecuación de tierras con fines agrícolas y la construcción de jarillones ha

ocasionado la alteración de los niveles de agua y el desplazamiento de los límites y fronteras de los humedales. Esta perturbación frecuente cambia la estructura, el funcionamiento y los flujos superficiales de los humedales favoreciendo nuevos procesos ecológicos, pero todavía clasificados dentro de los procesos típicos de humedales por cambios de cobertura vegetal que aumentan la carga de sedimentos o alteran la capacidad de retención de las aguas

- Los humedales la Bolsa, el Pital y Charco de Oro carecen de una franja protectora mínima de 30 m alrededor de su perímetro, lo cual infringe lo establecido en el Decreto 1449 de 1997, por otro lado la zona destinada al amortiguamiento forestal está siendo ocupada por el monocultivo de la caña de azúcar.
- Los registros y las observaciones periódicas de procesos dinámicos de la cobertura de área de los humedales y sus áreas de influencia, permiten la identificación de puntos fundamentales en la evolución de la cobertura y repercusiones de la acción del hombre por la ampliación de la frontera agrícola para cultivo de caña de azúcar.
- El empleo de los programas automatizados ARC-GIS y ERDAS permitió cuantificar los cambios en la cobertura de área de los humedales y medir e identificar las principales transformaciones durante el periodo analizado (1954-1998-2002-2008).
- Los programas automatizados ARC-GIS y ERDAS también permitieron realizar un análisis comparativo de sobreposición entre las fechas de referencia, de acuerdo con la discriminación de la cobertura del área de influencia de los humedales. Los cambios más significativos fueron la conversión de la pastura naturalizada en monocultivo de la caña de azúcar, el evidente aislamiento de los humedales con el río Cauca y la proliferación de la vegetación acuática en aguas detenidas o corrientes, intensa iluminación, material orgánico suspendido y un incremento en la concentración de nutrientes.

## Referencias

- Andrade, D. y Baquero, F. 2007. Programa parques en peligro. Estudio sobre la remanencia del bosque y sistemas productivos sector Cosanga. P. 4 – 18.
- Davis, T. J; Blasco, D.; y Carbonel. M. 1996. Manual de la convención de Ramsar. Una guía- a la convención sobre los humedales de importancia internacional. Convención Ramsar y Ministerio del Medio Ambiente de España, p. 12-18.
- Florez, P. P. y Aníbal, M. E. 2004. Estudio ambiental de los humedales Charco de Oro y la Bolsa ubicados en el municipio de Andalucía departamento del Valle del Cauca .2004. p. 1-4.
- Fundación Natura y CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca). 2003. Plan de Manejo Integral de las Madresviejas La Trozada, Bocas de Tuluá, Madrigal, La Herradura y Cementerio. Santiago de Cali 2003. Contrato de Consultoría 0139CVC-Fundacion Natura. 84 p.
- Ministerio del Medio Ambiente de Colombia-Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. 1999. Humedales Interiores de Colombia: Bases técnicas para su conservación y uso sostenible. p. 1-7.
- Ministerio del Medio Ambiente de Colombia. 2001. Política nacional para humedales interiores de Colombia. Bogotá. Ministerio del Medio Ambiente. p 46.
- Florez, P.; Mondragón, C.; y Baena, L. 2007. CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca) Concepto técnico visita al trapiche el Trébol. Análisis físico-químico de aguas superficiales. 5 p. (manuscrito)
- Pardo, M. T.; Carreño, M. F.; Esteve, M. Á. 2001. Los humedales litorales de la laguna del mar Menor (Murcia, España). Dinámica de sus hábitats asociada a los cambios en el régimen hidrológico de la cuenca. Campus de Espinardo. 30100. Departamento de Ecología e Hidrología. Facultad de Biología. Espinardo (Murcia). p. 4 – 12.
- Ramsar, 1992. Protocolo Internacional para la Protección de Humedales, pág.web: [www.ramsar.org.co](http://www.ramsar.org.co)

# Herencia de la resistencia al virus del mosaico deformante del pimentón PepDMV en *Capsicum*

## Inheritance of resistance to the deforming pepper mosaic virus, PepDMV, in *Capsicum*

Mario Augusto García Dávila.<sup>1</sup>, Catherine Pardey Rodríguez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, AA 237, Palmira, Valle del Cauca, Colombia. <sup>2</sup> Universidad de Magdalena, Colombia. Autor para correspondencia: magarciad@palmira.unal.edu.co

Rec.: 20-10-08    Acept.: 18-09-09

### Resumen

En busca de determinar el modo de herencia de la resistencia en tres materiales resistentes, se hicieron cruzamientos hacia tres líneas susceptibles. Se siguió el método del retrocruzamiento propuesto por Warner (1952) fundamentado en el modelo matemático de Fisher Immer y Tedin (1932) descrito con detalle por Mater (1949) y Jenkins (1982, 1984) en el cual se descompone la varianza genética en tres componentes: aditiva, dominancia y epistática. El modelo del retrocruzamiento incluye los dos parentales, el híbrido de la primera generación y la autofecundación de la F1 para formar la población F2 y las retrocruzas hacia ambos padres. Las poblaciones fueron evaluadas a resistencia al virus del mosaico del pimentón PepDMV en condiciones de invernadero. Los resultados mostraron que el modelo aditivo-dominancia explicó la resistencia en los híbridos formados entre materiales resistentes y susceptibles. Los genes con acción heredable transmiten a la descendencia el efecto de resistencia. La ganancia de la resistencia viral se da por la presencia de parentales resistentes.

**Palabras clave:** Solanaceae, ají, virus, resistencia varietal, *Capsicum annuum*, *C. frutescens* y *C. chinense*.

### Abstract

With the aim to determine the mode of inheritance in three resistant materials, crosses were performed towards three susceptible lines. We followed the backcrossing method used by Warner (1952), based on the mathematical model of Fisher Immer and Tedin (1932), described in detail by Mater (1949) and Jenkins (1982, 1984). In this method the genetic variance is partitioned into three components: additive, dominant and epistatic. The backcross method includes the two parents, the F1 hybrid, and the self-pollination of the F1 to form the F2 population, and the backcrosses to both parents. The populations were evaluated for resistance to the pepper mosaic virus PepDMV in greenhouse conditions. The results showed that the model additive-

1 Ing. Agrónomo, M.Sc. en Producción Vegetal, Ph.D. en Ciencias Agropecuarias.

2 Ing. Agrónoma, M.Sc. en Mejoramiento Genético en Plantas, Ph.D. en Ciencias Agrarias con Énfasis en Fitomejoramiento

dominant explained the resistance in the hybrids formed between resistant and susceptible material. The genes with heritable action transmit to their offspring the resistance effect. The presence of viral resistance is given by the presence of resistant parents.

**Key words:** Solanaceae, chili, virus, varietal resistance, *Capsicum annuum*, *C. frutescens* and *C. chinense*.

## Introducción

El género *Capsicum* incluye especies de pimentón y ají para consumo en fresco, usos industriales y farmacología. El Programa de Investigación en Mejoramiento de Hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, comenzó en 1987 la recolección de ejemplares de este género en el departamento del Valle, y en el año 1995 liberó la variedad de pimentón UNAPAL Serrano (Vallejo *et al.*, 1999).

El cultivo de *Capsicum* es afectado por virus, entre los cuales en Colombia son comunes los virus del mosaico del tabaco (TMV), mosaico del pepino (CMV), geminivirus y Potyvirus (Morales *et al.*, 2005). Los más limitativos son los Potyvirus que han sido encontrados con mayor frecuencia en muestras realizadas en el Valle del Cauca (Pardey, 2008). Morales *et al.* (2005) denominaron este Potyvirus como *virus del Mosaico Deformante del Pimentón* -PepDMV. El Programa de Mejoramiento de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira tiene entre sus objetivos evaluar y desarrollar líneas de pimentón y/o ají con resistencia a PepDMV a partir de las líneas Serrano accesiones 70 y 24, que han mostrado resistencia a PepDMV (Pardey, 2008). De ahí la necesidad de conocer el modo de herencia de la resistencia para desarrollar una estrategia de mejoramiento hacia los materiales comerciales que muestran susceptibilidad en campo.

## Materiales y métodos

Para determinar el modo de herencia de la resistencia en las materiales Serrano,

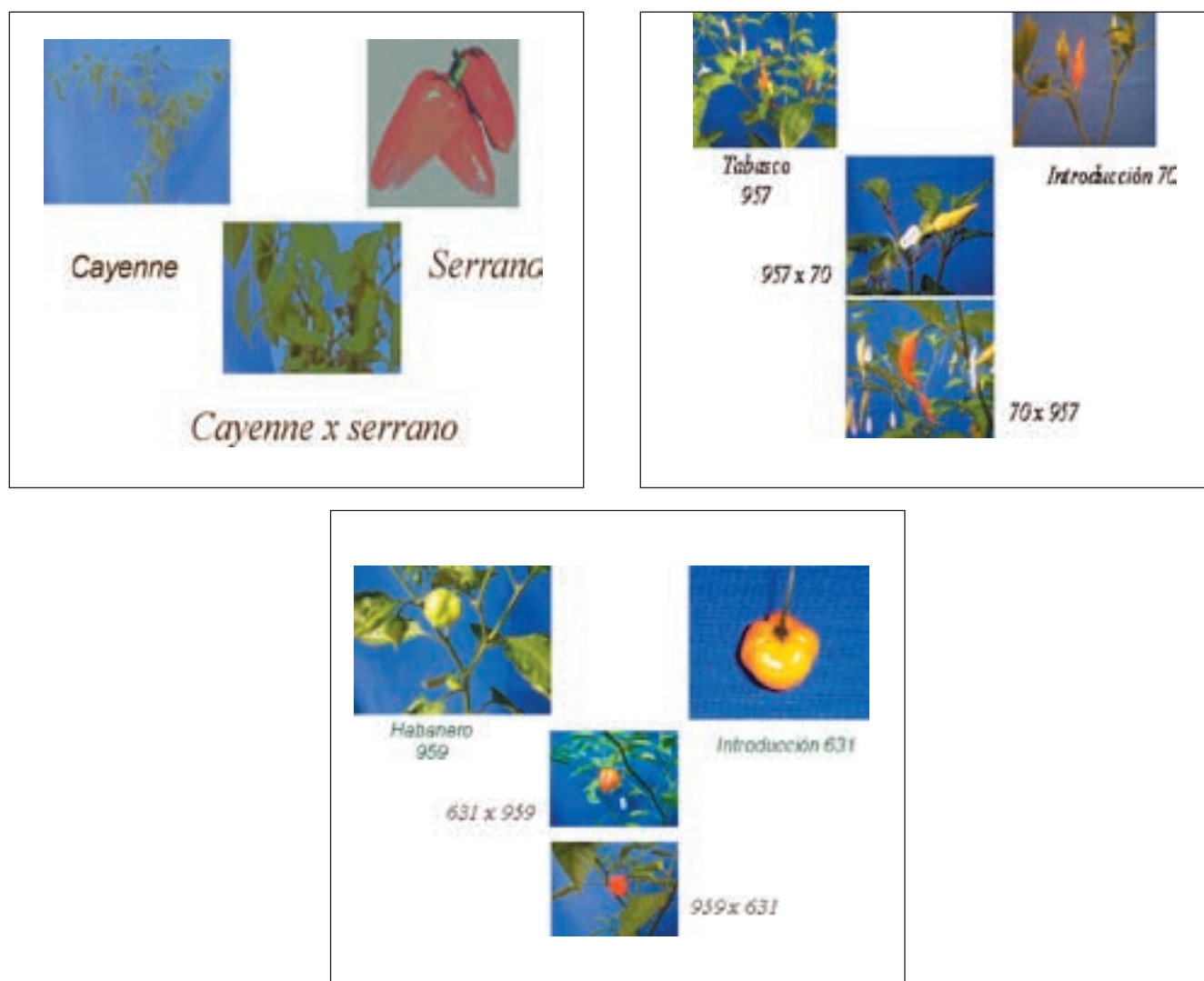
introducción 70 y 631y 24 se hicieron cruzamientos hacia las variedades comerciales susceptibles al *virus del mosaico deformante del pimentón* PepDMV Cayenne (*Capsicum annuum*), Tabasco (*Capsicum frutescens*) y Habanero (*Capsicum chinense*). Se realizaron cruzamientos intra específicos (Cuadro 1) en invernaderos con condiciones controladas de temperatura y libre de insectos. Las introducciones resistentes fueron Serrano (*Capsicum annuum*), actual variedad comercial de pimentón liberada por la Universidad Nacional de Colombia en 1995, la introducción 70 (*Capsicum frutescens*) procedente del Ecuador donada por el departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) en el año 2000, la introducción 631(*Capsicum chinense*) colectada en el departamento del Guainía por el SINCHI y la Universidad Nacional de Colombia, en el año 1998 y la introducción 24 (*Capsicum chinense*) colectada en el Valle del Cauca.

Se obtuvo las generaciones F1 de cada especie (Fotografía 1). Se realizaron cruzamientos directos y recíprocos para identificar los efectos maternos y/o barreras de incompatibilidad entre ambos parentales. Una vez obtenida la semilla F1 se realizaron cruzamientos dirigidos hacia cada uno de los parentales para obtener las retocruzadas RC1 y RC2. La semilla F1 se sembró en macetas para obtener semilla F2 con control de polinización (Cuadro 2).

La evaluación a PepDMV se realizó sobre poblaciones F1, F2, RC1, RC2 y parentales de cada una de las especies. Las poblaciones de cada cruzamiento se sembraron en bandejas. Se diferenció la siembra entre cruzamientos

**Cuadro 1.** Esquema de cruzamientos entre materiales resistentes a virus del mosaico deformante del pimentón -PepDMV y variedades comerciales de ají

Cayenne		Tabasco			Habanero			
Parental	Parental	Parental	Parental	Parental	Parental	Parental		
Cayenne	x	Serrano	Tabasco	x	70	Habanero	x	24
Serrano	x	Cayenne	70	x	Tabasco	24	x	Habanero



**Foto 1.** Cruce entre especies de: (a) *C. annuum*: Cayenne y Serrano; (b) *C. frutescens*: Tabasco e Introducción 70; (c) *C. chinense*: Habanero e introducción 631

**Cuadro 2.** Cantidad de semillas evaluada en cada cruzamiento para determinar el modo de herencia de la resistencia en *Capsicum*

	Parental comercial	Introducción resistente	F1	F2	RC1	RC2
Cayenne x Serrano	20	20	50	250	50	50
Serrano x Cayenne	20	20	50	250	50	50
Tabasco x Introducción 70	20	20	50	250	50	50
Introducción 70 x Tabasco	20	20	50	250	50	50
Habanero x Introducción 24	20	20	50	250	50	50
Introducción 24 x Habanero	20	20	50	250	50	50

directos y recíprocos. Se hicieron dos réplicas en el tiempo por cruzamiento. Las inoculaciones se realizaron dos veces en el estado de plántula con una diferencia de ocho días entre una y la siguiente inoculación con aislamientos de PepDMV mantenido sobre plantas de *Nicotiana benthamiana*; la inoculación se

hizo frotando las hojas con gasa húmeda. La evaluación se inició a los quince días siguientes cuando las plantas presentaron nuevas hojas. Las plantas asintomáticas fueron evaluadas con la técnica inmunoenzimática ELISA. Se evaluó la incidencia en planta (ausencia o presencia de mosaico).

Con los datos obtenidos de incidencia se realizaron tablas de frecuencias para probar herencia mendeliana para uno y dos genes y efectos epistáticos. La validez de los modelos se confirmó con la fórmula de chí cuadrado ( $X^2$ ). Al no ajustarse los cruzamientos al modelo de herencia simple mendeliana se realizó estudios de medias generacionales.

Los componentes que hicieron parte del estudio de medias generacionales fueron la media ( $m$ ) como el promedio del fenotipo de los parentales. Y de ahí se derivaron los parámetros  $[a]$  y  $[d]$  donde  $[a]$  es la distancia de cada uno padres (líneas homocigotos) a la media y  $[d]$  la distancia de la F1 (línea heterocigoto) a la media.  $[a]$  significa el valor heredable de una característica;  $[d]$  significa el valor no heredable de una característica; ya que los componentes de la varianza genética de una característica están dados por la varianza aditiva, la varianza de dominancia y la interacción que se dan entre los componentes.

Los componentes esperados para las medias de distintas generaciones en función de  $m$ ,  $[a]$  y  $[d]$  y asumiendo ausencia de epistaxis entre loci fueron los siguientes:

Generación	Fenotipo promedio esperado		
	M	[a]	[d]
P1	1	-1	0
P2	1	1	0
F1	1	0	1
F2	1	0	1/2
RC1	1	-1/2	1/2
RC2	1	1/2	1/2

A partir de los componentes para cada generación se calculó el promedio esperado para cada una de ellas. La validez del modelo se hizo ponderando la varianza de cada población por el número de datos y se calculó la inversa  $1/[\delta^2/n]$  que constituyó el peso de la ponderación; cuanto mayor es la varianza de la media de una determinada generación, menor será la precisión con que se conocerá el valor real de dicha media, y por tanto, me-

nor debe ser el peso que tenga la información provista por la misma, en la prueba de escalas agrupadas (Ceballos, 2008).

Cuando el modelo no fue satisfactorio debido a que las diferencias entre valores calculados y observados fueron demasiado grandes para ser consideradas aleatorias, se procedió a probar un modelo más completo que incluyó parámetros de interacción. El análisis que se hizo fue el de regresión con el programa SAS 2006.

Parámetro	Modelo matemático
$m$	= $1/2P2+1/2P1+4F2-2RC1-2RC2$
$[a]$	= $1/2P2-1/2P1$
$[d]$	= $6RC1+6RC2-8F2-F1-1.5P1-1.5P2$
$[aa]$	= $2RC1+2RC2-4F2$
$[ad]$	= $2RC2-P2-2RC1+P1$
$[dd]$	= $P1+P2+2F1+4F2-4RC1-4RC2$

Para observar el efecto individual de los distintos parámetros que incluyeron las diferentes combinaciones de los seis parámetros, se hizo un análisis de regresión escalonado. El modelo de mejor ajuste fue aquel cuyo parámetro aportó en forma significativa a la suma de cuadros total.

## Resultados y discusión

El análisis para determinar el modo de herencia para la resistencia en cada una de las variedades comerciales se presenta por especie debido a que cada especie mostro un modelo propio.

### *Capsicum annuum*.

La variedad comercial aji Cayenne y Serrano pertenecen a la especie *C. annuum*. En el análisis de varianza se detectó diferencias entre poblaciones (Parental 1, Parental 2, F1 directa F1 recíproca, F2 directa, F2 recíproca, RC1 directa RC1 recíproca, RC2 directa, RC2 recíproca) y no entre las repeticiones (Cuadro 3). Esto muestra consistencia en el tiempo del comportamiento de las poblaciones. No

**Cuadro 3.** Cuadrados medios del análisis de varianza para el porcentaje de plantas resistentes a PepDMV en cruces directos y recíprocos de las especies *Capsicum annuum*, *C. frutescens* y *C. chinense*. ( $P <$  para incidencia).

FV	g.l.	C. annuum	gl	C. frutescens	gl	C. chinense*	Gl	C. chinense**
Poblaciones	9	0.040	9	<0.0001	4	<0.0001	9	<0.0001
Repeticiones	2	0.571	3	0.0871	1	0.002	2	0.977

\* parentales Habanero e introducción 631.

\*\* parentales Habanero e introducción 24.

se presentaron efectos maternos (Cuadro 4). Las diferencias entre las medias de las poblaciones mostraron en la variedad Cayenne plantas resistentes a PepDMV. La generación F1 mostró resistencia, esto indica que los genes de resistencia que poseen ambas variedades dominan sobre los de susceptibilidad. Las poblaciones formadas por los parentales Cayenne y Serrano incrementan la resistencia a PepDMV (Cuadro 5).

No fue posible determinar el número de genes involucrados en la resistencia a PepDMV en las variedades Cayenne y Serrano debido a que la variedad Cayenne no presentó completa susceptibilidad en las pruebas de invernadero. La variedad Cayenne es catalogada por los agricultores como susceptible a virus (Fotografía 2). El análisis de medias generacionales permitió determinar que en las variedades Serrano

**Cuadro 4** Comparación de medias del porcentaje de plantas resistentes a PepDMV entre poblaciones formados por las variedades Cayenne y Serrano.

Introducción	Mosaico	Desv. estándar	Incidencia	Desv. estándar
	Media		Media	
Serrano	1.07 b*	0.48	0.02 b	0.16
958	1.54 a	1.15	0.18 a	0.39
F1 (serranox958)	1.00 b	0.00	0.00 b	0.00
F1 (958xserrano)	1.05 b	0.33	0.02 b	0.16
F2 (serranox958)	1.23 b	0.73	0.10 ab	0.30
F2 (958xserrano)	1.29 ba	0.86	0.10 ab	0.31
RC1 (serranox958)	1.08 b	0.44	0.04 b	0.19
RC1 (958xserrano)	1.23 b	0.76	0.09 ab	0.29
RC2 (serranox958)	1.30 ba	0.86	0.12 ab	0.32
RC2 (958xserrano)	1.05 b	0.22	0.05 b	0.22
Media general	1.54	1.15	0.18	0.39

\* Medias con la misma letra dentro de una misma columna no son significativamente diferentes según la prueba de Duncan al nivel de 5%.

**Cuadro 5.** Incidencia de virus PepDMV en cruzamiento de Serrano x Cayenne.

Población	Frecuencia	Media	Varianza	Varianza	Peso
	(n)	x	D <sup>2</sup>	promedioD <sup>2</sup> /n	1/(D <sup>2</sup> /n)
Cayenne	53	0.188	0,156	0.0029	339.69
Serrano	39	0.025	0.025	0.0006	1521.00
F1	58	0.017	0.017	0.0002	3363.99
F2	487	0.108	0.097	0.0001	5011.04
RC958	205	0.112	0.100	-	2050.00
RCSerrano	145	0.048	0.046	0.0003	3134.15



**Fotografía 2** Planta enferma con PepDMV en la variedad Cayenne (izquierda) en contraste con una planta sana (derecha).



**Cuadro 6.** Importancia relativa de cada coeficiente para el cruce entre las variedades Cayenne y Serrano.

Coefficiente	SC secuencial	%total	R <sup>2</sup> acumulado
a	0.01600	72.48	72.48
d	0.00417	21.28	91.36
aa	0.00172	7.78	99.16

y Cayenne los efectos aditivos fueron más importantes con respecto a los de dominancia (Cuadro 6), la resistencia se logra por la suma de genes de resistencia que poseen ambos materiales.

La susceptibilidad de plantas producto de los cruzamientos con Serrano y Cayenne, muestra plantas débiles, los frutos se deforman, pierden tamaño y peso, la coloración del fruto rojo en estado maduro no es homogénea, se detectan betas donde la coloración es menos intensa (Fotografía 2).

La variedad Serrano liberada por la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira en 1997, muestra resistencia a ácaros. Esta variedad al mostrar resistencia a virus en este estudio incrementa su valor como genotipo para ser involucrado en programas de mejo-

ramiento además de continuar como variedad en el mercado de los pimentones.

### *Capsicum frutescens*

El análisis de varianza detectó diferencias significativas entre poblaciones y no detectó diferencias entre repeticiones (Cuadro 3), ni presencia de efecto materno (Cuadro 7).

La separación de medias por la prueba de Duncan (Cuadro 7) muestra que la introducción 70 aporta genes de resistencia que enmascaran el efecto de los genes de susceptibilidad, las poblaciones aumentan significativamente el número de plantas resistentes cuando se cruzan con la introducción 70 (Cuadro 8). Los efectos aditivos son determinantes para incrementar la resistencia hacia la variedad comercial Tabasco (Cuadro 9).

**Cuadro 7.** Comparación de medias del porcentaje de plantas resistentes a PepDMV entre poblaciones formadas por Tabasco e introducción 70.

introducción	Mosaico			Incidencia		
	media	Desv. estándar	varianza	Media	Desv. estándar	varianza
Tabasco	4.00 a*	0	0	1.00 a	0.00	0
F1 (Tabascox70)	1.71 b	1.14	1.24	0.33 bc	0.47	0.22
F1 (70xTabasco)	1.27 dc	0.84	0.71	0.10 de	0.30	0.09
F2 (Tabascox70)	1.81 b	1.20	1.44	0.34 b	0.47	0.22
F2 (70xTabasco)	1.78 b	1.29	1.67	0.27 bc	0.44	0.20
RC1 (Tabascox70)	1.18 d	0.64	0.41	0.08 de	0.27	0.07
RC1 (70xTabasco)	1.1 d	0.59	0.35	0.04 e	0.19	0.03
RC2 (Tabascox70)	1.54 cb	1.11	1.23	0.20 cd	0.40	0.16
RC2 (70xTabasco)	1.75 b	1.19	1.41	0.32 bc	0.46	0.22
70	1.00 d	0	0	0.00 e	0.00	0

\* Medias con la misma letra dentro de una misma columna no son significativamente diferentes según la prueba de Duncan al nivel de 5%.

**Cuadro 8.** Incidencia de virus PepDMV en cruzamiento de Tabasco e Introducción 70.

Población	Frecuencia (n)	Media	Varianza D <sup>2</sup>	Varianza promedio D <sup>2</sup> /n	Peso 1/(D <sup>2</sup> /n)
Introducción70	85	0	0	0	0
Tabasco	111	1	0	0	0
F1	105	0.2285	0.178	0.0016	589.81
F2	752	0.3138	0.215	0.0002	3487.49
RCTabasco	158	0.0632	0.059	0.0003	2648.20
RC70	169	0.2662	0.196	0.0016	859.90

**Cuadro 9.** Importancia relativa de cada coeficiente para el cruce entre las variedades Tabasco e introducción 70

Coeficiente	SC secuencial	% SC total	R2 acumulado
a	53.031	48.95	48.95
d	0.187	0.17	49.12
aa	55.12	50.88	100

La importancia de los efectos aditivos para incrementar la resistencia prevaleció sobre los de dominancia. El modelo que explica la expresión de resistencia es con base en los efectos de aditividad (Cuadro 9). Esto indica que la selección para incrementar los niveles de resistencia a PepDMV se puede predecir con base en el comportamiento de las líneas parentales que intervienen en el cruzamiento.

### Capsicum chinense

#### Cruce Habanero - Introducción 631

El cruce entre la variedad comercial aji habanero con la introducción 631 presentó dificultad en obtener semilla producto del cruce entre la F1 y el parental 631. Debido a esto las retrocruzas hacia el parental resistente no fueron incluidas en el estudio y por lo tanto la estimación de los efectos aditivos y de dominancia por el método de regresión no fue calculada.

El cruce entre habanero con la introducción 631 presentó diferencias entre poblaciones (Cuadro 3). Se sugiere efecto materno, cuando la introducción resistente 631 actúa como madre, la generación F1 de cruce directo es diferente a la F1 recíproca. Se incrementa la resistencia cuando la introducción 631 actúa como madre (Cuadro 10).

**Cuadro 10** Comparación de medias del porcentaje de plantas resistentes a PepDMV entre poblaciones formadas por Habanero e Introducción 631.

Introducción	Incidencia	
	(media)	Desv. standar
RC1 (Habanerox631)	0.82 a*	0.39
Habanero	0.60 b	0.49
F1 (Habanerox631)	0.60 b	0.49
F2 (Habanerox631)	0.53 bc	0.49
F2 (631xHabanero)	0.48 bc	0.50
F1 (631xHabanero)	0.39 c	0.49
631	0.00 d	0.00

\* Medias con la misma letra dentro de una misma columna no son significativamente diferentes según la prueba de Duncan al nivel de 5%

#### Cruce Habanero - Introducción 24

El cruce entre materiales de *C. chinense* mostró diferencias significativas entre las poblaciones y no entre repeticiones (Cuadro 3). Esto indica que en los cruces directos y recíprocos no hay efectos maternos (Cuadro 11). El análisis de varianza mostró que las poblaciones segregantes tienden a la susceptibilidad. El desplazamiento de la población F1 hacia el material susceptible muestra que los genes de resistencia no dominan sobre los de susceptibilidad (Cuadro 12). Los efectos aditivos son importantes pero los efectos de dominancia afectan la expresión de la resistencia (Cuadro 13).

Según lo anterior, podemos decir que la resistencia a PepDMV está dada solo en ciertos genotipos que expresan resistencia bajo cierto número de genes que tienen efecto aditivo, altamente heredable de generación en generación. Hay genotipos donde los efectos de dominancia actúan junto con los efectos aditivos. En las introducciones Cayenne y Serrano e introducción 70 la resistencia está dada por genes con efectos aditivos a diferencia de las introducción 24 y 631 donde los genes de resistencia dados por ambas introducciones se suman los efectos de dominancia posiblemente dados por la variedad Habanero. Los materiales comerciales Cayenne, Tabasco y Habanero no son completamente susceptibles a PepDMV. Las líneas deben ser depuradas para incrementar los niveles de resistencia observados.

Al encontrar que la variación observada entre las medias generacionales en los cruzamientos evaluados, fue explicada por el modelo aditivo- dominante, siendo de mayor importancia el efecto aditivo, estos resultados sugieren en un programa de mejoramiento para resistencia a PepDMV, utilizar métodos que acumulen estos genes; utilizando parentales resistentes para obtener poblaciones objeto de selección, ya que la selección para incrementar resistencia se puede predecir con base en el comportamiento de las líneas parentales al tener un efecto aditivo significativo.

**Cuadro 11.** Comparación de medias del porcentaje de plantas resistentes a PepDMV entre poblaciones formados por Habanero e Introducción 24.

introducción	Incidencia	
	(media)	Desv. estándar
RC959	0.9625 a *	0.19
F1	0.9062 a	0.23
959	0.9062 a	0.29
RC24	0.6419 b	0.48
F2	0.8314 b	0.37
24	0.0000 c	0.00

\* Medias con la misma letra dentro de una misma columna no son significativamente diferentes según la prueba de Duncan al nivel de 5%

**Cuadro 12.** Incidencia de virus PepDMV en cruzamiento de Habanero e introducción 24.

Población	Frecuencia (n)	Media	Varianza (D <sup>2</sup> )	Varianza prom.o (D <sup>2</sup> /n)	Peso (1/(D <sup>2</sup> /n))
24	33	0	0	0	0
Habanero	32	0.906	0.087	0.0027	370.37
F1	36	0.944	0.053	0.0014	714.28
F2	439	0.831	0.140	0.0003	3333.33
RC24	81	0.641	0.232	0.0028	357.14
RC Habanero	80	0.962	0.036	0.0004	2500.00

**Cuadro 13.** Importancia relativa de cada coeficiente para el cruce entre las variedades Habanero e Introducción 24.

Coficiente	SC secuencial	% SC total	R2 acumulado
a	26.59	58.8	58.87
d	16.56	36.6	95.53
aa	1.99	4.4	99.95

## Conclusiones

- La resistencia de *Capsicum* al virus PepDMV se presenta sólo en algunos genotipos que expresan resistencia en un número de genes con efecto aditivo, siendo altamente heredable a través de generaciones. Los efectos de dominancia actúan junto con los aditivos.
- En las variedades Cayenne, Serrano y la accesión 70 la resistencia está dada por genes con efectos aditivos a diferencia de las accesiones 24 y 631, donde la resistencia está dada por los efectos de dominancia entre la variedad Habanero.

- Los variedades comerciales de ají Cayenne, Tabasco y Habanero no son completamente susceptibles a PepDMV. Las líneas deben ser depuradas para incrementar los niveles de resistencia observados.
- Al explicar la resistencia a PepDMV por el modelo aditivo-dominante, siendo significativos los efectos aditivos, la predicción de la ganancia de resistencia viral se hará con base en el comportamiento de las líneas parentales involucradas en el método de mejoramiento

## Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Colombia por el apoyo académico en la formulación de la propuesta, al Ministerio de Agricultura de Colombia por su apoyo financiero, al Laboratorio de Virología del CIAT por la evaluación de resistencia de las poblaciones segregantes de los cruzamientos, al Programa estudiantes auxiliares que prestaron su colaboración en campo y laboratorio para la obtención de datos.

### Referencias

- Ceballos L.; H. , 2008. Guía de estudio. Genética Cuantitativa. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira 210 p.
- Morales, J. F.; Martínez, A. K.; Velasco, A. C.; Arroyabe, J. A. y Olaya, C. 2005. Identificación de un potyvirus que afecta ají y pimentón (*Capsicum* spp.) en el Valle del Cauca, Colombia. Fitopatología colombiana 24(2):77-80
- Pardey R. C. 2008. Caracterización y evaluación de introducciones de *Capsicum* del Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Determinación del modo de herencia a potyvirus. Tesis Ph.D. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 109 p.
- Vallejo , F.; Estrada, E.; Baena, D.; y García, M. 1999. Nuevo cultivar de pimentón , *Capsicum annuum*, adaptado al Valle del Cauca, Colombia: Unapal Serrano. Acta Agron. 49(3):112-117.

## Autores/Authors

**Alba Lucía Arcos.** Ing. Agrónoma, M.Sc. en Fitomejoramiento, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle del Cauca, Colombia. E-mail: Alarcos@cgiar.org

**Álvaro Caicedo Arana.** Ing. Agrónomo, M.Sc. en Citricultura, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Corpoica, Colombia. E-mail: acaicedo@corpoica.org.co

**Ana Cruz Morillo Coronado.** Ing. Agrónoma, Ph.D. en Fitomejoramiento y Producción de Semilla, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle del Cauca, Colombia. E-mail: anam19@latinmail.com

**Ana Paula Barbosa** Ing. Agrónoma, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Estado de São Paulo, Brasil. E-mail: apbarbosa@fca.unesp.br

**Carlos Enrique Cardona Ayala.** Ing. Agrónomo, M.Sc. en Ciencias Agrarias, Universidad de Córdoba, Colombia. E-mail: ccardonaayala@yahoo.com; ccardona@sinu.unicordoba.edu.co

**Carolina González Cardona.** Ing. Agrónoma, M.Sc. en Fitopatología, Departamento de Fitotecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. E-mail: najuju27@hotmail.com

**Catherine Pardey Rodriguez.** Ing. Agrónoma, M.Sc. en Mejoramiento Genético en Plantas, Ph.D. en Ciencias Agrarias con Énfasis en Fitomejoramiento, Universidad de Magdalena, Colombia. E-mail: catty68@hotmail.com

**Cindy Alexandra Córdoba Vargas.** Bióloga, M.Sc. en Ciencias Biológicas, línea Ecología, Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), Universidad Nacional de Colombia, Colombia. E-mail: cacordobav@unal.edu.co

**Clemencia Villegas García.** Ing. Agrónoma, M.Sc. en Fitopatología, Centro de Investigaciones en Café (Cenicafé), E-mail: clemencia.villegas@cafedecolombia.com

**Consuelo Montes Rojas.** Ing. Agrónoma, M.Sc. en Recursos Fitogenéticos Neotropicales, Universidad del Cauca, Cauca, Colombia. E-mail: consuelo7m2003@yahoo.com, cmontesr@unicauca.edu.co

**Cristian Andrés Vélez Mera.** Estudiante de Ingeniería Agronómica, Departamento de Ciencias Agrícolas, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle del Cauca, Colombia. E-mail: cristianvma@hotmail.com

**Christian Andrés Núñez Restrepo.** Ing. Ambiental, Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle del Cauca, Colombia. E-mail: sudaca1986@hotmail.com

**Daniel Gerardo Cayón Salina.** Ing. Agrónomo, M.Sc. en Fisiología Vegetal, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Colombia. E-mail: dg cayons@unal.edu.co

**Edgar Enrique Madero Morales.** Agrología, M.Sc. en Suelo, Ph.D. en Ciencias Agropecuarias, Manejo de Suelos y Aguas, Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle del Cauca, Colombia. E-mail: emadero@palmira.unal.edu.co

**Edmundo Barrios.** Biólogo. Ph.D. Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, Cali, Colombia. E-mail: e.barrios@cgiar.org

**Flávia Mazzer Rodrigues.** Ing. Agrónoma, Vinculada Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal, Estado de São Paulo, Brasil. E-mail: flamazzer@hotmail.com

**Francisco Martín Peinado.** Profesor titular, Ciencias Biológicas, Ph.D. Ciencias del Suelo, Experto en Contaminación de Suelos, Dpto. Edafología y Química Agrícola, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. E-mail: fjmatin@ugr.es

**Hermes Araméndiz Tatis.** Ing. Agrónomo, M.Sc. Ph.D. Universidad de Córdoba, Colombia. E-mail: haramendiz@hotmail.com

- Herney Darío Vásquez Amariles.** Ing. Agrónomo, Especialización en Fruticultura Cítrica, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle del Cauca, Colombia. E-mail: hdvasqueza@palmira.unal.edu.co
- Inés García Fernández.** Ph.D. Ciencias del Suelo, Experta en contaminación de suelos, Profesora titular, Universidad de Almería, España. E-mail. inesgar@ual.es
- Jaime Eduardo Muñoz Flores.** Ing. Agrónomo, M.Sc. Ph.D. en Ciencias Agrarias con énfasis en Mejoramiento Vegetal, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle del cauca, Colombia. E-mail: jemunozf@palmira.unal.edu.co
- Jaime Polanía Vorenberg.** Biólogo Marino, Ph.D. rerum naturalium, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Colombia. E-mail: jhpolaniav@unalmed.edu.co
- Joel Tupac Otero Ospina.** Biólogo, Ph.D. Biología y Filosofía, Univesidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle del Cauca, Colombia. E-mail: jtoteroo@unal.edu.co
- Juan Carlos Menjivar Flores.** Ing. Agrónomo, M.Sc. Ph.D. Suelos y Aguas, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle del Cauca, Colombia. E-mail: jcmenjivarf@unal.edu.co
- Juan Guillermo Jaramillo Vásquez.** Ing. Agrónomo, M.Sc. en Genética y Mejoramiento de Plantas, Ph.D. en Horticultura, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Colombia. E-mail: jjaramillov@telesat.com.co
- Juan Camilo Aristizábal Hincapié.** Ing. Agrónomo, Secretaría de Agricultura del Departamento de Caldas, Colombia. E-mail: jaco9984@gmail.com
- Juan José Aguilar Ruiz.** Ph.D. Ciencias del Suelo, Experto en Evaluación y Degradación de Suelos, Profesor titular, Universidad de Granada, España. E-mail: jaruiz@ugr.es
- Leirson Rodrigues Da Silva.** Ing. Agrônomo, M.Sc. Ph.D. em Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFRSA, Brasil. E-mail: leirsonrodrigues@yahoo.com.br
- Luz Danny Garzón Rojas.** Ing. Agropecuaria, Universidad del Cauca, Popayán, Cauca, Colombia.
- Lyda Minelly Zárate Quiroga.** Bióloga, M.Sc. Ph.D. en Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. E-mail: lmzarateq@unal.edu.co
- Manuel Aristizábal Loaiza.** Ing. Agrónomo, M.Sc. Profesor Titular, Departamento de Fitotecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. E-mail: manuel.aristizabal@ucaldas.edu.co
- María Díez Ortis.** Geóloga, Ph.D. en Geología, Universidad de Granada. España.
- María Del Rosario Manzano Martínez.** Bióloga, M.Sc. en Sanidad Vegetal, Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Colombia. E-mail: mrmanzano@palmira.unal.edu.co
- Maria Emma Lozano Muñoz.** Ing. Agropecuaria, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.
- Mariana Lisboa Pessoa.** Ing. Agrónoma, Discente do Curso de Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: seca@fca.uneps.br
- Marina Sánchez De Prager.** Ing. Agrónoma, Ph.D. M.Sc. Departamento de Ciencias Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Valle del Cauca, Colombia. E-mail: msanchezdp@unalpalmira.edu.co
- Mario Augusto García Dávila.** Ing. Agrónomo, M.Sc. en Producción Vegetal, Ph.D. en Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle del Cauca, Colombia. E-mail: magarciad@palmira.unal.edu.co; mgarcia@palmira.unal.edu.co
- Miguel Mariano Espitia Camacho.** Ing. Agrónomo, M.Sc. Ph.D. Universidad de Córdoba, Colombia. E-mail: mespitia37@hotmail.com; unicolor@unicordoba.edu.co
- Oscar Javier Parra Pachón.** Ing. Agrónomo, M.Sc. en Biología Vegetal, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá,

Colombia. E-mail: parra.oscar@gmail.com

**Oscar Julián Muñoz Rivera.** Biólogo, Especialización en Microbiología, Corporación Colombiana De Investigación Agropecuaria-Corpoica, Colombia. E-mail: omunoz@corpoica.org.co

**Paul Bayman.** Biólogo, Ph.D. en Botánica, Universidad de Puerto Rico - Río Piedras. E-mail: pbayman@uprrp.edu

**Ricardo Elesbão Alves.** Ing. Agrônomo, M. Sc. Especialização em Citricultura, Ph.D. em Ciências dos Alimentos, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFRSA, Brasil. E-mail: elesbão@cnpq.br

**Sérgio Campos.** Professor, Departamento de Engenharia Rural. Universidade Estadual Paulista - UNESP. Jaboticabal, Estado de São Paulo, Brasil. E-mail: sergio.campos@pq.cnpq.br

**Teresa Cristina Tarlé Pissarra.** Professora Assistente, Doutora Departamento de Engenharia Rural Universidade Estadual Paulista - UNESP. Jaboticabal, Estado de São Paulo, Brasil. E-mail: teresap@fcav.unesp.br

**Tomás Enrique León Sicard.** Agrólogo, M.Sc. en Ciencias Ambientales, Ph.D. Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), Universidad Nacional de Colombia, Colombia. E-mail: teleons@unal.edu.co

**Victor Benedictes Mora.** Ing. Agrônomo, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista - UNESP. Estado de São Paulo, Brasil.

**William Andres Mosos Martínez.** Estudiante de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle del Cauca, Colombia. E-mail: wamososm@unal.edu.co

**Yacenia Morillo Coronado.** Ing. Agrónoma, Ph.D. en Fitomejoramiento y Producción de Semilla, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle del Cauca, Colombia. E-mail: yaceniadc@yahoo.es

**Yamilet Del Rosario Chagüeza Villareal.** Ing. Agrónoma, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle del Cauca, Colombia. E-mail: ydchaguesav@palmira.unal.edu.co

## Guía abreviada para la redacción de manuscritos

Antes de redactar el manuscrito lea el documento “Instrucciones a los autores” ([http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica](http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica)). Use papel tamaño carta, tinta negra, doble espacio y letras de fuentes no inferiores a 11 puntos; margine a 3cm. Estructure el manuscrito en las siguientes secciones:

**Preliminar:** En la primera página escriba el título en la lengua de los autores y en otra lengua, la lista de autores, la afiliación institucional (departamento, Facultad, Universidad, dirección postal) y las abreviaturas de recibido (REC) y aceptado (ACCEPT). En la segunda página digite el RESUMEN y el ABSTRACT (220 palabras), las Palabras clave y Key-words (entre 3 y 5, según AGROVOC).

**Cuerpo del artículo:** Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión, Conclusiones, Agradecimientos, Bibliografía.

Escriba la lista de referencias bibliográficas en hoja aparte, numeradas. Sólo deberán aparecer las citadas en el texto (apellido de autor, año). Redáctelas según se ilustra a continuación:

### *Artículos de revistas*

RESTREPO S., E. F.; VALLEJO C., F. A.; LOBO A., M. 2008. Fenología de la floración en tomate cultivado y especies silvestres relacionadas. *Acta Agron* (Palmira) 57 (2): 89-93

### *Libros*

VALLEJO, F. A.; ESTRADA E. I. 2002. Mejoramiento genético de plantas. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. 401p.

**Complementarios:** Tablas (una por página), Títulos de tablas, Figuras (una por página), Leyendas de figuras.

## Guía de trámite de manuscritos

Envíe el artículo junto con la carta remisoría (Formato 1). El Comité Editorial asignará fecha de recibido (REC) cuando se ajuste a las normas básicas de la revista.

Dos árbitros afiliados a una institución diferente a la de los autores calificarán el manuscrito como publicable (con correcciones menores o mayores) o no. Al recibir la versión final corregida el Comité Editorial fijará la fecha de ACEPTACIÓN.

## Manual simplificado para a redação de manuscritos

Antes de redigir o manuscrito leia o documento “Instruções aos autores” ([http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica](http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica)). Use papel tamanho carta, tinta negra, espaço duplo e letras de fontes não inferiores a 11 pontos, margem a 3cm. Estructure o manuscrito nas seguintes seções:

**Preliminar:** Na primeira página escreva o título no idioma dos autores e em outro, a lista de autores, a filiação institucional (departamento, Faculdade, Universidade, endereço postal) e as abreviaturas de recebido (REC) e aceito (ACCEPT). Na segunda página digite o RESUMO e o ABSTRACT (220 palavras), as Palavras-chave e Key-words (3-5, segundo AGROVOC).

**Corpo do artigo:** Introdução, Materiais e Métodos, Resultados e Discussão, Conclusões, Agradecimentos, Bibliografia.

Escreva a lista de referências bibliográficas em folhas a parte, numeradas. Somente deverão aparecer as citadas no texto (sobrenome do autor, ano). Redigi-las segundo se ilustra a seguir:

### *Artigos de Revistas*

RESTREPO S., E. F.; VALLEJO C., F. A.; LOBO A., M. 2008. Fenologia de la floración en tomate cultivado y especies silvestres relacionadas. *Acta Agron* (Palmira) 57 (2): 89-93

### *Libros*

VALLEJO, F. A.; ESTRADA E. I. 2002. Mejoramiento genético de plantas. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. 401p.

**Complementares:** Tabelas (uma por página), títulos de tabelas, Figuras (una por página), Leyendas de figuras.

## Manual de tramitação dos manuscritos

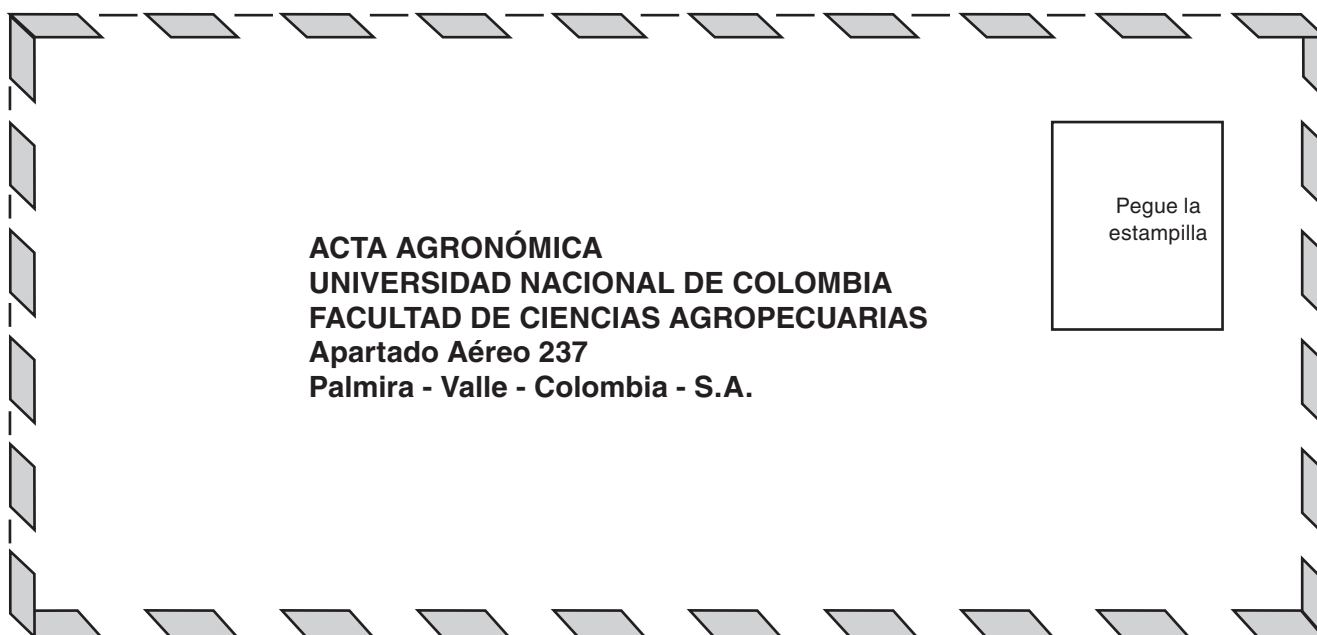
Envie o artigo junto com uma carta de remissão (Modelo 1). O Comitê Editorial registrará a data do recebido (REC) quando se ajuste às normas básicas da revista.

Dois revisores vinculados a uma instituição diferente da dos autores qualificarão o manuscrito como publicável (com poucas ou muitas correções) ou não. Ao receber a versão final corrigida o Comitê Editorial fixará a data de ACEITAÇÃO.



SI LE INTERESA SEGUIR RECIBIENDO NUESTRA PUBLICACIÓN  
O DESEA SUSCRIBIRSE POR PRIMERA VEZ,  
SÍRVASE DESPRENDER LA HOJA Y DEVOLVER  
DILIGENCIADO EL FORMULARIO QUE APARECE AL RESPALDO.

RECORTE POR ESTA LÍNEA, DOBLE POR LAS LÍNEAS PUNTEADAS, CIERRE CON COSEDORA Y ENVÍE POR CORREO



**ACTA AGRONÓMICA**  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**Apartado Aéreo 237**  
**Palmira - Valle - Colombia - S.A.**

Pegue la  
estampilla

(SOLAPA EXTERIOR)  
Cierre con grapa



## FORMATO DE SUSCRIPCIÓN O RENOVACIÓN

**Acta Agronómica**  
**Universidad Nacional de Colombia**  
**Facultad de Ciencias Agropecuarias**  
**actaagronomica@palmira.unal.edu.co**  
**Apartado Aéreo 237**  
**Palmira - Valle - Colombia - S.A.**

Fecha \_\_\_\_\_

Me encuentro interesado en recibir o continuar recibiendo la revista ACTA AGRONÓMICA, para lo cual envío mis datos de referencia:

NOMBRE: _____	
PROFESIÓN: _____	CARGO: _____
EMPRESA DONDE TRABAJA: _____	
DIRECCIÓN OFICINA: _____	TELÉFONO OF.: _____ CIUDAD: _____
DIRECCIÓN DE ENVÍO: _____ A.A. _____	
CIUDAD: _____ PAÍS: _____	
SUSCRIPTOR ACTUAL: SÍ <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> DESEO SUSCRIBIRME POR 1 AÑO <input type="checkbox"/> 2 AÑOS <input type="checkbox"/>	
ESTAMOS INTERESADOS EN PAUTAR EN LA REVISTA: 1 PÁGINA <input type="checkbox"/> 1/2 PÁGINA <input type="checkbox"/> No. DE EDICIONES A PAUTAR <input type="checkbox"/>	

FIRMA \_\_\_\_\_

### Tarifas:

\$80.000, suscripción anual para distribución en Colombia (4 revistas al año).

US\$50, suscripción anual más envío para despacho al exterior (4 revistas al año).

Forma de pago: Consignación a nombre de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira, Banco Popular  
Cuenta Corriente No. 590-00064-2

Con el propósito de mantener la difusión de los resultados de la investigación, la Revista requiere el apoyo de los diversos actores del mundo de la agricultura y de la vida rural.