



Avances de la investigación agronómica II

Luis Joel Martínez Martínez

Editor



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE BOGOTÁ

FACULTAD DE AGRONOMÍA
CENTRO EDITORIAL

AVANCES DE LA INVESTIGACIÓN AGRONÓMICA II

Colección: Ciencias Naturales
Área: Agronomía

Primera edición: Bogotá, D.C., abril de 2012

ISBN: 978-958-648-784-9

© Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Agronomía

Editor: Luis Joel Martínez
Coordinación editorial: Arley García Gómez
Diseño y diagramación: Emilse Londoño Díaz
Diseño de carátula: Edwin Penagos P.

Hecho en Colombia

Tabla de contenido

FISIOLOGÍA DE CULTIVOS

Avances en la inducción floral en feijoa (<i>Acca sellowiana</i> [Berg] Burret) y mango (<i>Mangifera indica</i> L.) Gerhard Fischer, Fernando Ramírez y Thomas L. Davenport	1
Efecto del cloruro de sodio (NaCl) sobre el crecimiento y la colonización micorrízica en uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.) Diego Miranda L., Christian Ulrichs y Gerhard Fischer	15
Agroforestería agroecológica Marco Heli Franco V.	27

PROTECCIÓN DE CULTIVOS

Lanza inyectora: prototipo para racionalizar la aplicación de insumos agrícolas al suelo Roberto Villalobos R.	39
<i>Trichoderma</i> : Identificación y prospectiva Lilliana Hoyos-Carvajal	53

SUELOS, FERTILIZACIÓN Y MANEJO DE AGUAS

Modelos digitales de elevación como fuente de datos para estudios de recursos naturales Luis Joel Martínez M.	69
--	----

Metodología para la evaluación del riesgo ambiental por metales pesados en el subsector hortofrutícola en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá Fabio R. Leiva, Amanda Lozano y Adela Correa	87
Metodología para la evaluación del riesgo ambiental causado por el uso de plaguicidas en sistemas hortofrutícolas en el departamento de Cundinamarca Fabio R. Leiva, Cilia L. Fuentes y Bladimir Guaitero	99
Investigación participativa en el manejo de estiércoles de aves y cerdos por medio de la técnica del bocashi y su posterior aplicación en el cultivo de habichuela (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) en Fómeque, Cundinamarca Heliodoro Argüello A. y Nubia Yolanda Rodríguez	111
ECONOMÍA Y DESARROLLO RURAL	
Políticas agropecuarias, aprendizajes Grupo Investigación en Gestión y Desarrollo Rural (GIGDR) Juan Patricio Molina	141

Avances en la inducción floral en feijoa (*Acca sellowiana* [Berg] Burret) y mango (*Mangifera indica* L.)

Gerhard Fischer ^{1,4}

Fernando Ramírez ²

Thomas L. Davenport ³

Resumen

Los estudios se llevaron a cabo en diferentes sitios de Cundinamarca con el fin de lograr floraciones y producciones de feijoa y mango más altas, fuera de la época normal, y entender mejor la fisiología de estos procesos. En el municipio de La Vega (2.350 msnm) la feijoa 'Quimba' con 0,5% de fosfato de potasio (Cosmofoliar 0-32-43®, KH_4PO_4) presentó resultados favorables en la inducción de botones florales y las flores formadas (comparado con las dosis 0,75 y 1%), mientras que etephon (Ethrel® 48 SL) a 150 mg L⁻¹ fomentó más la inducción floral y a 100 mg la formación de flores. El KNO_3 mostró resultados regulares y a 2% fitotoxicidad en las yemas y flores. En el municipio de Sylvania (1.919 msnm), 0,25% KH_4PO_4 formó más yemas florales que la dosis de 0,50%.

1. Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (Colombia).
2. Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá (Colombia).
3. Tropical Research and Education Center, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Homestead, FL (Estados Unidos).
4. Autor de correspondencia: gfischer@unal.edu.co

En cuatro fincas cerca del municipio La Mesa (1.300 msnm) en las variedades de mango Tommy Atkins y Keitt se realizaron experimentos para determinar el número de hojas requerido para la inducción floral y la translocación de la sustancia promotora floral. Las ramas con cuatro hojas en 'Tommy Atkins' y 'Keitt' produjeron 45 y 22% brotes reproductivos, respectivamente. En la variedad Tommy Atkins, el promotor floral indujo floración hasta una distancia de 52 cm de la rama donadora. En otros experimentos se sincronizaron árboles de las variedades Keitt y Tommy Atkins con poda y dos meses después se aplicó KNO_3 al 4% cada 2 semanas. 'Keitt', después de 5 y 6 meses, inició brotes reproductivos en un 75 y 100%, respectivamente, mientras 'Tommy Atkins' los inició en un 100% a los 6 meses.

Palabras clave: flores, frutales, fisiología de cultivos, trópico, producción.

Introducción

La inducción floral es un proceso fisiológico en el cual, tiene lugar un cambio cualitativo en el metabolismo de las hormonas, mientras que la previa iniciación floral según Ramírez y Davenport (2010) se define como la división y elongación celular que da origen al inicio del desarrollo de brotes que pueden ser reproductivos (solo flores), vegetativos (solo hojas) o mixtos (hojas y flores en la misma estructura floral). La inducción floral en los frutales es un proceso en el cual las yemas, originalmente vegetativas, experimentan cambios metabólicos para transformarse en yemas florales (Yuri *et al.*, 2002); y es controlada por factores ambientales, ontogénicas y fisiológicas (Bernier, 1988). Son conocidos factores que afectan la inducción y la apertura de flores, como el contenido de elementos minerales y carbohidratos en plantas, hormonas y condiciones ambientales, además el propio crecimiento vegetativo y reproductivo.

Conociendo la fisiología de la inducción floral, para el fruticultor es posible programar las cosechas mediante aplicación de productos químicos y otras técnicas de manejo de cultivo que prolongan, anticipan o retrasan la época de oferta de los frutos; incluso, producen determinados cultivos

fuera de su área natural de adaptación (producción forzada), aumentan la competitividad en los mercados nacionales e internacionales y promueven el uso eficiente de los insumos como los fertilizantes y pesticidas (Davenport y Nuñez-Elisea, 1991).

El objetivo de los estudios presentados era estudiar cómo aplicaciones químicas y otras técnicas estimulan la inducción floral en feijoa y mango en varios experimentos, llevados a cabo en el departamento de Cundinamarca de Colombia, con el fin de tener herramientas para una programación y un aumento en las cosechas de estas especies.

Estudios sobre la inducción floral en feijoa

Aplicación de nitrato de potasio, fosfato de potasio y etefón

El primer estudio de la inducción floral en feijoa fue llevado a cabo por García y Dueñez (2008) en la finca El Cortijo en Cundinamarca, cerca de La Vega (a 04°55' N, 74°18' W y 2.350 msnm, con 17°C temperatura promedio, 85% humedad relativa (HR), 1.377 h brillo solar y 1.423 mm precipitación anual). En árboles del Clon 41 (Quimba) de 6 años de edad, sembrados con 2,5 m entre plantas y 4,0 m entre surcos en un suelo franco-arcilloso, se aplicaron, un volumen de 1,6 L con una bomba de espalda nitrato de potasio 13-0-46® (KNO_3) al 1,0; 1,5 y 2,0%, Cosmofoliar 0-32-43® (fosfato de potasio, KH_2PO_4) al 0,5; 0,75 y 1,0% y Ethrel® 48 SL (etefon) a 100, 150 y 200 ppm, comparando con un testigo (sin aplicación), iniciando al momento de la poda (15-02-2006) y después cada 15 días durante dos meses. El Cosmofoliar 0-32-43®, además de los macronutrientes P_2O_5 32% y K_2O 43%, contiene nutrientes quelatados con EDTA, CaO 0,27%; MgO 0,28%; Fe 0,25%; Cu 0,1%; Zn 0,21%; Mn 0,05%; Co 0,0019%; B 0,22% y Mo 0,011%.

Se usó un diseño en bloques completamente al azar con diez tratamientos y tres repeticiones, la unidad experimental estuvo constituida por un árbol de donde se seleccionaron cuatro ramas en el tercio inferior.

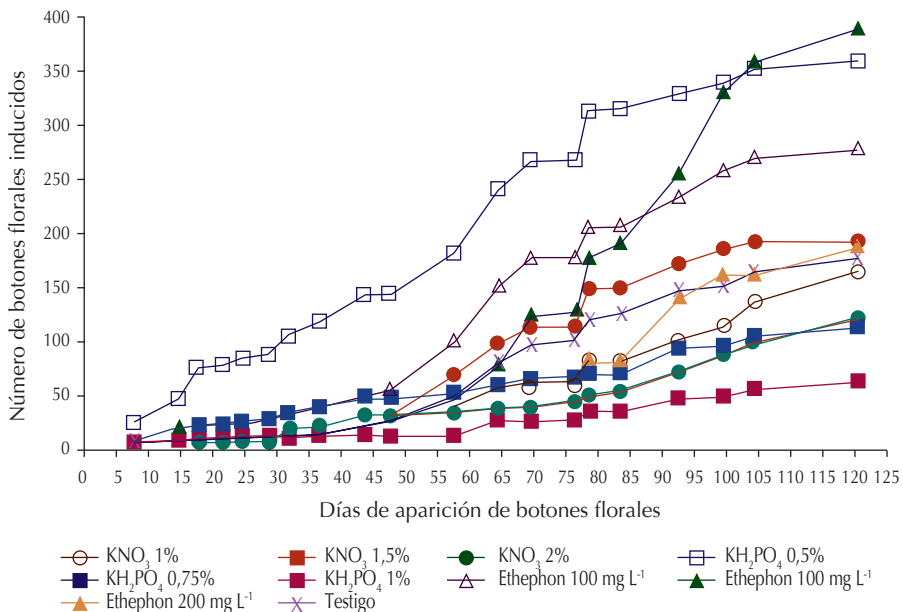


Figura 1. Número de botones florales inducidos, acumulados por los tratamientos a través del tiempo, en un total de cuatro ramas por árbol, a partir de terminar la aplicación (día 0) (García *et al.*, 2008a).

Se observa que el KH_2PO_4 al 0,5% presentó mejor respuesta, ya a partir de las 15 días después de la poda y aplicación del producto (García *et al.*, 2008a), a través de todo el ensayo, en comparación con el testigo (Figura 1). El valor real del número total de botones florales inducidos en el tratamiento del KH_2PO_4 al 0,5% fue de 348, mientras que el testigo indujo solamente 168. La respuesta favorable de la feijoa a la aplicación del KH_2PO_4 coincide con lo encontrado por Reddy y Majmudar (1985) en variedades de mango en las cuales, un mayor porcentaje de inducción floral se registró en las laterales de brotes que habían florecido o fructificado en la temporada anterior y contenían las concentraciones más altas del fósforo, en los brotes. Feucht (1982) explica el fomento floral a través del fósforo por un incremento del metabolismo de estas yemas, el P aumenta la absorción de magnesio, que también es fundamental en la formación floral y, asimismo, promueve la síntesis de los ácidos nucleicos. Supuestamente, concentraciones superiores de 0,5% KH_2PO_4 podrían haber inducido algunos efectos inhibitorios, como por ejemplo, antagonismo entre algunos nutrientes (Feucht, 1982).

El etephon entre 100 a 150 mg L⁻¹, presentó una respuesta significativa con respecto al testigo, donde los valores reales del número de botones florales inducidos fueron 269 y 379, respectivamente, mientras en el testigo fue de 168. Los botones florales inducidos para el etephon a 100 mg L⁻¹ se observaron a partir de los 50 días después de la poda y aplicación del producto, es decir, 10 días antes de terminarse la última aplicación. Resultados similares se evidenciaron con la aplicación del etephon a 150 ppm; este tratamiento aumentó el número de botones florales inducidos de forma exponencial, a partir de los 65 días de ejecutadas las labores de poda y aplicación del producto. Etephon a 150 ppm, presentó mejor respuesta entre los 105 y 121 días respecto a los demás tratamientos, de modo que en esta fase, superó el efecto del KH₂PO₄ al 0,5%. El etileno, liberado por el etephon, al parecer está involucrado en los procesos de floración, sin embargo existen inconsistencias en los resultados de las diferentes especies y variedades (Davenport y Nuñez-Elisea, 1991; Kulkarni, 2004), en mango, etephon en una concentración de 200 mg L⁻¹, indujo alta floración y fructificación en un año de baja producción natural (“*off year*”) en la variedad alternante ‘Langra’ (Chacko *et al.*, 1974); mientras Saidha *et al.* (1983), observaron una producción de etileno cinco veces mayor en brotes en floración, que en brotes vegetativos por lo que últimos autores indican que, un aumento interno en la producción de etileno foliar conlleva a una etapa cercana a la iniciación floral.

No solamente en la inducción floral sino también en las evaluaciones posteriores, el KH₂PO₄ al 0,5% presentó aumentos significativamente más altos ($P \leq 0,05$), comparado con el testigo, en un 447,6% en el número de las flores formadas (Figura 2) y de 465,4% en el número de frutos cuajados, destacando la importancia del P en el proceso reproductivo de la feijoa (García *et al.*, 2008b). El segundo mejor tratamiento fue el etephon a 100 mg L⁻¹, con 196,5% más frutos cuajados que el testigo debido, posiblemente, por el efecto positivo de este producto en la inducción floral. Con el 68,5% el KH₂PO₄ al 0,5% produjo un porcentaje alto de frutos cuajados, relacionado con la cantidad de flores formadas, similar al testigo (65,9%), mientras en los árboles tratados con 100 mg L⁻¹ de etephon, solamente se cuajaron el 41,3% de las flores en frutos.



Figura 2. Fomento de la inducción floral en la feijoa 'Quimba' por las aplicaciones del fosfato de potasio al 0,5% (Foto: G. Fischer).

Las aplicaciones de nitrato de potasio presentaron resultados muy regulares, formando significativamente ($P \leq 0,05$) menos flores, solamente 8,7 al 2% de KNO_3 , comparado con los 65,7 flores cuando se aplicó 0,5% del fosfato de potasio (García *et al.*, 2008a). Probablemente, estos árboles de feijoa no tuvieron demandas adicionales en nitrógeno en la inducción floral y formación de flores. Por otro lado, se supone que el nitrato de potasio no actúa tanto en el estímulo floral de esta especie como por ejemplo en mango (Ramírez *et al.*, 2010b), y concentraciones del 2% del KNO_3 causaron fitotoxicidad en la feijoa, como hiponastias de hojas, necrosamiento de botones florales y de flores formadas (García *et al.*, 2008a).

En general, el estado de nutrientes es un factor importante en la floración (Ramírez y Davenport, 2010). Así, el alto número de botones florales está ligado a un óptimo suministro con fosfato (Agustí, 2003), y el potasio fuerza la formación de estos fosfatos que por su función en la transmisión de energía son indispensables para la formación floral (Feucht, 1982).

Combariza y Neira (2007) estudiaron el desarrollo del fruto de estos mismos árboles del ensayo y determinaron que existe una respuesta favorable en diámetro (longitudinal y transversal) del fruto y en el número de frutos cosechados con respecto al tratamiento KH_2PO_4 al 0,5%. El ethephon, a 100 mg L^{-1} , indujo la producción de los frutos de feijoa de mayor peso fresco, sin embargo, los tratamientos aplicados no influyeron en la calidad interna del fruto (Combariza *et al.*, 2007).

Debido a los resultados positivos del fosfato de potasio, Castillo y Santamaría (2009) en Sylvania, Cundinamarca (1.919 msnm, 18°C temperatura promedio, 85%HR, 1.560 horas brillo solar y 1.389 mm precipitación anual) evaluaron el efecto de las concentraciones de 0,50 y 0,25% de Cosmofoliar 0-32-43® en árboles de feijoa (variedad no definida) de 15 años de edad. Los demás productos en este ensayo fueron Florone® a 0,07 y 0,04% (contiene principalmente fósforo y potasio y como fitohormona la citoquinina [sin especificación de la firma cual tipo de citoquinina]) y Frutoka® a 0,15 y 0,10% (potasio y azufre, ácido naftalénacético). Se encontró que 0,25% KH_2PO_4 indujo un número significativamente más alto ($P \leq 0,05$) de yemas florales comparado con la concentración de 0,50% y no se presentaron diferencias con los demás tratamientos (Castillo y Santamaría, 2009).

García *et al.* (2008a) explicaron esta respuesta positiva a la aplicación del fertilizante Cosmofoliar 0-32-43®, con su alto contenido de fósforo, debido a que en el período de inducción floral, las yemas vegetativas que van a transformarse en flores son más activas metabólicamente, por ello, el P se mueve hacia esos puntos mientras plantas con poca floración demuestran deficiencia de este elemento en yemas florales y hojas adyacentes.

Estudios sobre la inducción floral en mango

Ramírez (2008) trabajó en cuatro fincas en la vereda Alto de las Flores, cerca de La Mesa, Cundinamarca, (4°31'02" N, 74°33'37" W, y 1.300 msnm, temperaturas de 26,6°C máxima y 18,1°C mínima y 1.300 mm precipitación anual) en las variedades Tommy Atkins y Keittde 10 a 20 años de edad, usando cuatro ramas por árbol. Se despuntó todas las plantas para fomentar la brotación lateral y observó el desarrollo de brotes vegetativos, reproductivos o mixtos (Ramírez, 2008).

Número de hojas requerido para la inducción floral y la traslocación de la sustancia promotora floral

En un primer tratamiento se dejaron 0, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 3 y 4 hojas por brote, y efectuó un anillado (ancho 5 mm, por el floema, en una longitud

de la rama que garantizó la obtención de 20 a 40 brotes) para separar la rama tratada del resto del árbol. Se repitió el ensayo en la temporada 2006 y 2007. El segundo tratamiento se realizó en ramas bifurcadas. Una parte de cada rama bifurcada se asignó como donador y la otra como receptora (Figura 3). El tratamiento consistió en dejar una rama donante (con 0, 1, 3, ó 5 hojas) en posición apical con sus cinco ramas receptoras defoliadas, para encontrar la distancia (en cm) más lejana por la cual la sustancia promotora floral puede inducir flores en las ramas receptoras (Ramírez *et al.*, 2010a).



Figura 3. Donador (ramas con hojas) y ramas receptoras en tallo bifurcado de la variedad Tommy Atkins (Foto: F. Ramírez).

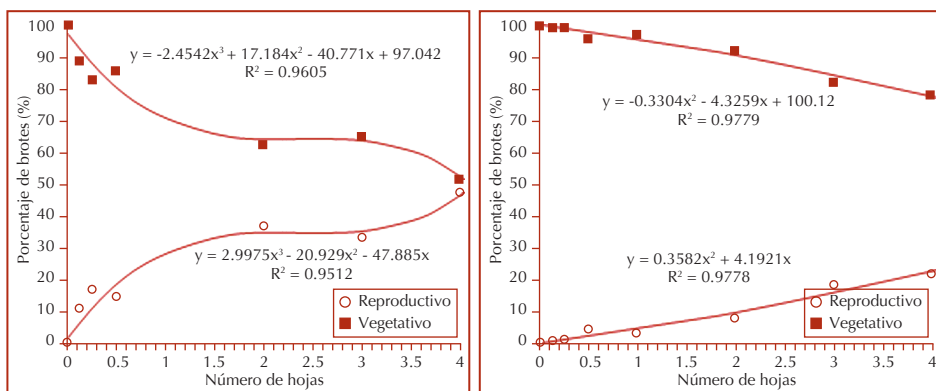


Figura 4. Proporción promedio de brotes reproductivos y vegetativos inducidos en los mangos 'Tommy Atkins' (izquierda) y 'Keitt' (derecha). Fuente: Ramírez *et al.* (2010a).

En los dos experimentos las ramas sin hojas produjeron solamente ramas vegetativas. El número mínimo de hojas por rama, 1/8 y 1/4 de hoja, fue

suficiente para inducir 6 y 1%, respectivamente, de brotes reproductivos en las dos variedades. Las ramas con cuatro hojas en 'Tommy Atkins' y 'Keitt' produjeron 45 y 22% brotes reproductivos, respectivamente (Figura 4).

Las proporciones de brotes reproductivos disminuyeron a medida que aumentó la distancia desde la rama donante, posiblemente el nivel de la sustancia promotora floral fue insuficiente para llegar a la cuarta y quinta rama receptora. El tratamiento en 'Tommy Atkins' con cinco hojas en la rama donante indujo brotes reproductivos hasta la tercera rama receptora defoliada, ubicada a 52 cm desde el donante (en 'Keitt' no se indujeron brotes reproductivos) (Ramírez *et al.*, 2010a).

Los resultados de estos experimentos apoyan la hipótesis que, una menor proporción de la molécula florígena es sintetizada en las hojas en condiciones "cálidas" tropicales, en comparación con las condiciones subtropicales "frías inductivas" del sur de la Florida, Estados Unidos (Ramírez y Davenport, 2010).

Edad de la rama requerida para la inducción floral en árboles sincronizados de mango

En 12 árboles de las dos variedades, las aplicaciones con 4% KNO_3 (40 g L^{-1}) se dividieron en cuatro grupos de tres árboles. Se realizó una poda de ápices sobre todo el dosel. Después de la poda (tratamiento 1), cada dos semanas se aplicó 3-4 L de KNO_3 al envés de las hojas (mediante una bomba de espalda de motor); si hubo brotación lateral en este tratamiento ya no se aplicó más y después, se empezó aplicar cada dos semanas en el tratamiento 2, y así sucesivamente hasta el tratamiento 4. En los cuatro puntos cardinales (N, S, E, O) del árbol se registró la respuesta de brotación del árbol usando un cuadrante de 1 m (hecho de tubos de plástico-PVC) (Ramírez *et al.*, 2010b).

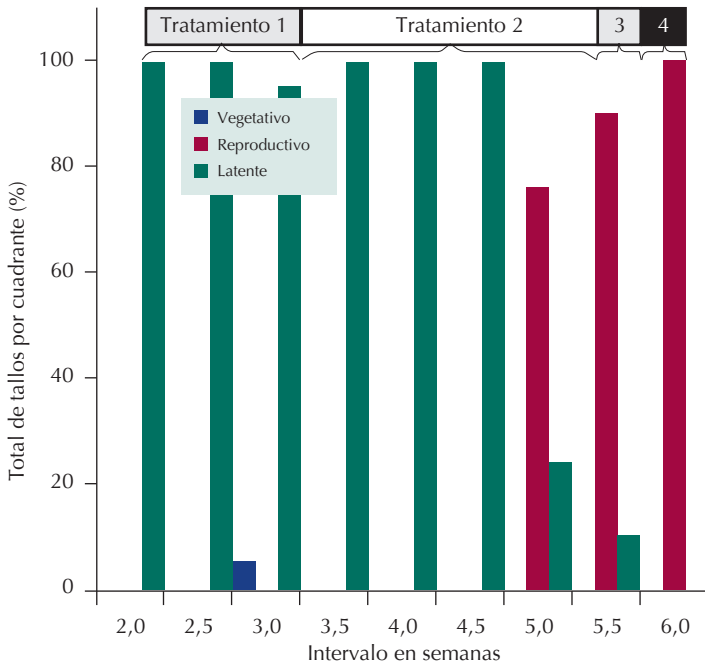


Figura 5. Proporción porcentual de brotes reproductivos, vegetativos y latentes observados en ‘Keitt’ en los 4 tratamientos, aplicados con KNO_3 , empezando a los 2 meses después del despunte de los árboles en la finca Monterrey. Fuente: Ramírez *et al.* (2010b).

Las aplicaciones de 4% KNO_3 a los 3 meses después de la poda estimularán solamente la inducción de brotes vegetativos en las dos variedades. En ‘Keitt’, después de 5 y 6 meses iniciaron brotes reproductivos en un 75 y 100%, respectivamente (aplicando KNO_3 a partir de los 3,5 meses) (Figura 5), debido a que en el quinto y sexto mes las yemas se diferenciaron como



Figura 6. Floración sincrónica debido al despunte y aplicación de KNO_3 después de 4,5 meses en árboles de la variedad Keitt (izq.), observando solamente brotes reproductivos (flores) y mixtos (flores y hojas en el mismo racimo) (der.). Fotos: F. Ramírez.

reproductivas y comenzó el proceso de inducción floral. La variedad Tommy Atkins inició 100% de brotes reproductivos a los 6 meses (Ramírez *et al.*, 2010b).

Con la sincronización por el despunte y la aplicación de KNO_3 se pueden programar las cosechas (Figura 6). El despunte retira sustancias inhibitoras en el ápice (Davenport, 2009) teniendo en cuenta que la floración es el resultado de la tasa promotora/inhibidora y de la actividad de la yema, por lo cual es obvio que la poda va a tener un efecto significativo sobre la floración (Kulkarni, 2004). Se supone que, solamente a partir de 3 meses después de la poda se produce una relación citoquininas/auxinas suficientemente alta en los tallos para inducir la formación de brotes, en la cual también influye la sensibilidad del tejido frente a las giberelinas (Davenport *et al.*, 2001). Se sugiere que el GA_3 puede interactuar con las auxinas para preservar la dormancia de las yemas en brotes demasiado jóvenes (Ramírez *et al.*, 2010b; Davenport *et al.*, 2001).

Recientemente en mango, la sincronización de árboles de la variedad Carabao se realizó masivamente en las Filipinas con resultados muy favorables en la floración y fructificación (Davenport, 2010, comunicación personal). Por tanto, la sincronización con poda y aplicación de sustancias nitrogenadas en mango son efectivas para producir cosechas en la época del año que se desee, si se tiene en cuenta las condiciones ecofisiológicas de la planta.

Literatura citada

- Agustí, M. 2003. Citricultura. 2da ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Bernier, G. 1988. The control of floral evocation y morphogenesis. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 39, 175-219.
- Castillo, A.P. y P.A. Santamaría. 2009. Efecto de tres fertilizantes foliares en la induccion floral de feijoa (*Acca sellowiana* [O. Berg] Burret). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Chacko, E.K., R.R. Kohl y G.S. Randhwa. 1974. Investigations on the use of 2-chloroethyl phosphonic acid (Ethephon, CEPA) for the control of biennial bearing in mango. Sci. Hortic. 2, 389-398.

- Combariza, L.F. y C.A. Neira. 2007. Efecto de diferentes inductores florales en el crecimiento y desarrollo del fruto de la feijoa (*Acca sellowiana* Berg), clon 41 (Quimba). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Davenport, T.L. 1990. Citrus flowering. Hort. Rev. 12, 349-408.
- Combariza, L.F., C.A. Neira, G. Fischer, G. Corredor y O.C. Quintero. 2007. Crecimiento, producción y calidad de fruta en feijoa [*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret] en respuesta al nitrato de potasio, fosfato de potasio y ethephon. Rev. Colomb. Cienc. Hortíc. 1(2), 170-181.
- Davenport, T.L., D.W. Pearce y B.R. Stewart. 2001. Correlation of endogenous gibberellic acid with initiation of mango shoot growth. J. Plant Growth Regul. 20, 308-315.
- Davenport, T. y R. Nuñez-Elisea. 1991. Is endogenous ethylene involved in flowering of mango? Acta Hort. 291, 85-94.
- Feucht, W. 1982. Das Obstgehölz. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart (Alemania).
- García, O.J. y E.Y. Dueñez. 2007. Efecto del nitrato de potasio, fosfato de potasio y ethephon en la inducción floral y el cuajado del fruto de Feijoa (*Acca sellowiana* [O. Berg] Burret). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- García, O.J., E.Y. Dueñez, G. Fischer, B. Chaves y O.C. Quintero. 2008a. Efecto del nitrato de potasio, fosfato de potasio y ethephon en la inducción floral de la feijoa o goiabeira serrana (*Acca sellowiana* [O. Berg] Burret). Rev. Bras. Frutic. 30(3), 577-584.
- García, O.J., E.Y. Dueñez, G. Fischer, B. Chaves y O.C. Quintero. 2008b. El cuajamiento frutos de feijoa (*Acca sellowiana* [O. Berg] Burret) en respuesta al nitrato de potasio, fosfato de potasio y ethephon. Agron. Colomb. 26(2), 217-225.
- Kulkarni, V.J. 2004. The tri-factor hypothesis of flowering in mango. Acta Hort. 645, 61-70.
- Ramírez, F. 2008. Minimum number of leaves required for floral induction, distance traslocation of the florigenic promoter and tree sincronization of mango (*Mangifera indica* L.) in La Mesa, Colombia. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Ramírez, F. y T.L. Davenport. 2010. Mango (*Mangifera indica* L.) flowering physiology. Scientia Hort. 126, 65-72.
- Ramírez, F., T.L. Davenport y G. Fischer. 2010a. The number of leaves required for floral induction and translocation of the florigenic

- promoter in mango (*Mangifera indica* L.) in a tropical climate. *Sic. Hortic.* 123, 443-453.
- Ramírez, F., T.L. Davenport, G. Fischer y J.C.A. Pinzón. 2010b. The stem age required for floral induction of synchronized mango trees in the tropics. *HortScience* 45(10), 1453-1458.
- Reddy, S.E. y A.M. Majmudar. 1985. Tracking phosphorus patterns in mango (*Mangifera indica* L.) and possible relations to floral induction. *Fertilizer Res.* 6, 225-234.
- Saidha, T., V.N. Madhava Rao y P. Santhanakrishnan. 1983. Internal leaf ethylene levels in relation to flowering in mango. *Indian J. Hort.* 40, 139-146.
- Yuri, J.A., G. Lobos y V. Lepe. 2002. Inducción floral. Universidad de Talca, Chile. *Pomáceas Boletín Técnico* 2(5), 1-3.

Efecto del cloruro de sodio (NaCl) sobre el crecimiento y la colonización micorrízica en uchuva (*Physalis peruviana* L.)

Diego Miranda L.^{1,3}

Christian Ulrichs²

Gerhard Fischer³

Resumen

Plantas de uchuva sometidas a estrés salino por dosis crecientes de NaCl (30 a 120 mM NaCl) fueron evaluadas en su respuesta al crecimiento durante la fase vegetativa del cultivo en condiciones de invernadero de vidrio durante 75 días del periodo vegetativo. También se evaluó esta respuesta en suelos salinos inoculados y no inoculados con micorrizas arbusculares (MA), durante 131 días. Se concluyó que en invernadero las concentraciones bajas de NaCl (30 mM NaCl) estimularon algunas tasas de crecimiento y el índice de área foliar. Respuesta contraria se obtuvo en concentraciones superiores a 60 mM NaCl. Este resultado permite colocar a la uchuva como una solanácea con mediana tolerancia a la salinidad por NaCl. El uso de MA facilitó el crecimiento de las plantas en condiciones de un suelo medianamente salino. Se determinó que los porcentajes de infección micorrízica dependieron fundamentalmente del

1. Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (Colombia).
2. Facultad Agrícola-hortícola, Humboldt-Universität zu Berlin. Berlín (Alemania).
3. Autor de correspondencia. gfischer@unal.edu.co

estado de desarrollo de las plantas, y que los porcentajes de infección por MA están condicionados por factores como la alta fertilidad del suelo y las frecuencias en el uso de fertilizantes.

Palabras clave: sanidad, micorrizas arbusculares, solanáceas, frutos tropicales.

Introducción

Para la uchuva, el segundo fruto de exportación de Colombia (Fischer *et al.*, 2007), estudios sobre el crecimiento y condiciones de estrés y mecanismos para su adaptación son muy importantes para el mejoramiento y la sostenibilidad del cultivo. La acumulación de sales en la zona radical y en los tejidos de la planta origina el desarrollo de un estrés osmótico e interrumpe la homeostasis iónica celular a través de inducir la inhibición de la toma de nutrientes esenciales y la acumulación de Na^+ y Cl^- hasta niveles potencialmente tóxicos dentro de las células (Marschner, 2002). Munns (1993) afirma que la salinidad afecta el crecimiento de las plantas debido al potencial de agua externo bajo y a la toxicidad y el desbalance iónico en la planta. En Colombia, el 10% del área terrestre está sujeto a niveles moderados a altos de salinidad (Miranda, 2011) y unas 600.000 ha. del área agrícola cultivada está afectada por este factor (Casierra- Posada *et al.*, 2000).

Muchos estudios han demostrado que la inoculación con hongos formadores de micorrizas arbusculares (MA) mejoran el crecimiento de la plantas bajo condiciones de estrés salino (Al-Karaki, 2006). El mejor crecimiento en plantas inoculadas con MA atribuyó Al-Karaki (2000) al aumento de la adquisición de nutrientes minerales con una baja movilidad como el P, Zn, Cu y Fe, y a la toma reducida del Na (Al-Karaki, 2006).

Estudios bajo condiciones de invernadero en Berlín (Alemania) debían aclarar, cómo afecta la salinidad los parámetros de crecimiento y desarrollo, y otros a campo abierto en la Sabana de Bogotá, cómo actúan las micorrizas arbusculares en un suelo salino sobre la planta de uchuva.

Cuatro concentraciones de NaCl sobre parámetros de crecimiento de la uchuva

En condiciones invernadero de vidrio de la Facultad de Agricultura y Horticultura de la Universidad Humboldt de Berlín, plantas de uchuva (ecotipo Colombia) fueron mantenidas durante 75 días en macetas negras de plástico de 2 L y en perlita como sustrato, a una temperatura media de 23°C y 60% humedad relativa (HR), 5,7 plantas/m². La solución nutritiva usada fue Kristalon TM (19-6-20-3 N-P-K-Mg) + micronutrientes con una conductividad eléctrica de 1,4 dS m⁻¹. Las concentraciones de NaCl 30, 60, 90 y 120 mM fueron aplicadas cada 2 días usando 500 mL. Para el análisis de crecimiento los órganos de la planta fueron secados a 70°C durante 48 horas. Las fórmulas de Hunt (1990) fueron usadas para el análisis del crecimiento.

A medida que aumentaba la concentración de NaCl de 60 a 120 mM, los parámetros de crecimiento como el índice de área foliar (Figura 1), la tasa de asimilación neta (TAN, g cm⁻² día⁻¹) (Figura 2), la relación de peso foliar (RPF) y el área foliar específica (AFE, cm² g⁻¹) se redujeron. Se destacó, que la concentración de 30 mM NaCl estimuló parámetros de crecimiento como la tasa de crecimiento de cultivo (TCC, g cm⁻² día⁻¹), tasa relativa de crecimiento (TRC, g g⁻¹ día⁻¹) (Figura 3), tasa de asimilación neta (TAN) (Figura 2) y el índice de área foliar (Figura 1); lo que sugiere que, esta respuesta está asociada con un mecanismo adaptativo morfológico y fisiológico a estrés salino, como es el ajuste osmótico. La reducción del crecimiento foliar a partir de 60 mM NaCl indica que la expansión del área foliar es un parámetro muy sensible al estrés salino (Walker y Bernal, 2008) y el grado de la reducción de la TAN podría ser un marcador fisiológico bueno para la tolerancia de la especie a las condiciones salinas (Azevedo y Tabosa, 2000). El descenso fuerte de la TAN a las dos concentraciones más altas de NaCl (Figura 2), podría indicar que esta tasa fue afectada por una eficiencia fotosintética decreciente, probablemente, asociada con una tasa de respiración alta (Karlberg *et al.*, 2006). Esta afirmación confirma el comportamiento de la tasa relativa de crecimiento (TRC) la cual presentó su punto de reflexión entre los 45 y 55 días (Figura 3) y de la cual, es un indicador de la capacidad fotosintético-asimilatoria de la planta por unidad de área foliar (Hunt, 1990).

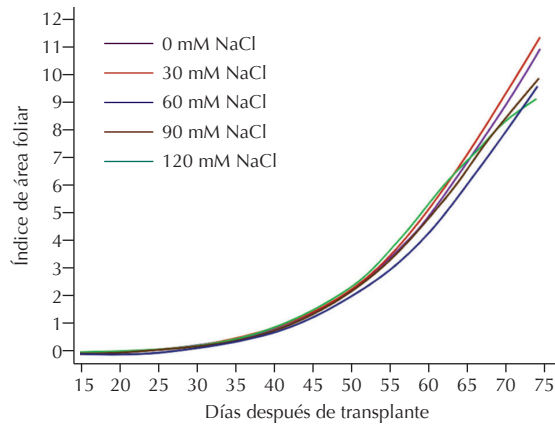


Figura 1. Índice de área foliar (IAF) de plantas de uchuva, sometidas a diferentes concentraciones de NaCl, según Miranda *et al.* (2010a).

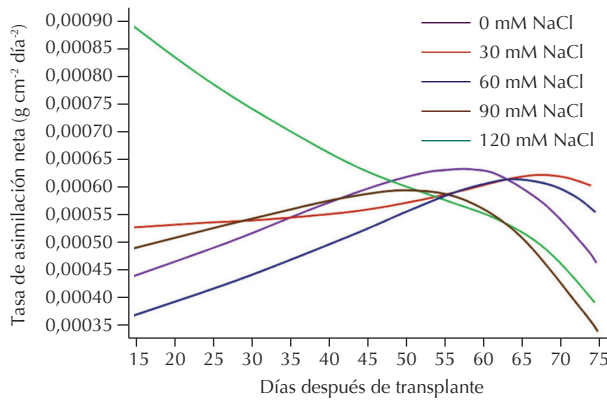


Figura 2. Tasa de asimilación neta (TAN) de plantas de uchuva, sometidas a diferentes concentraciones de NaCl, según Miranda *et al.* (2010a).

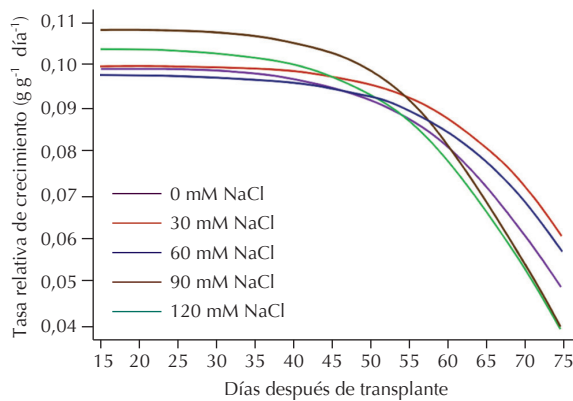


Figura 3. Tasa de crecimiento relativo (TCR) de plantas de uchuva, sometidas a diferentes concentraciones de NaCl, según Miranda *et al.* (2010a).

Según estos resultados la uchuva puede ser clasificada moderadamente tolerante a la salinidad como lo hacen también otras solanáceas como el tomate (Cuartero y Fernández-Muños, 1999), lulo (Flórez *et al.*, 2008) y pimentón (Lycoskoufis *et al.*, 2005), y también se confirmó en el comportamiento de la uchuva en la germinación de semillas (Miranda *et al.*, 2010b).

Colonización con Micorrizas Arbusculares (MA) y crecimiento de plantas de uchuva en un suelo salino

En el Centro Agropecuario de Marengo, cerca de Bogotá (temperatura media de 13,1°C, 82,5% HR, anual 582 mm precipitación y 1.134 horas brillo solar), se establecieron plantas de uchuva campo abierto durante 131 días, en un suelo calificado como medianamente salino con las siguientes propiedades químicas: pH 5,59; conductividad eléctrica (CE) 5,65 dS m⁻¹; C orgánico 4,08%; N 0,35%; P disponible 48,1 mg kg⁻¹; K 0,46; Ca 10,5; Mg 3,51 y Na 4,94 meq 100 g⁻¹; B 0,94; Zn 21,8; Cu 1,04; Fe 426 y Mn 1,49 mg kg⁻¹ las cuales fueron regadas con aspersores con agua procedente del río Bogotá (CE de 1,65 dS m⁻¹).

A partir de 262 plantas de uchuva sembradas a 3 m (entre hileras) x 2,50 m (entre plantas) la mitad del lote fue inoculado con 200 g micorriza (Mycoral®) especies *Glomus sp.*, *Acaulospora sp.* y *Entrophospora sp.* Los dos tratamientos recibieron una fertilización común de 200 g/planta de 15-15-15 (N-P-K) fraccionado a los 30, 60, 90 y 120 días después de trasplante, complementado con Agriminis® 4 g/planta con el mismo fraccionamiento. Para la evaluación de la colonización se tomaron tres plantas por tratamiento a los 33, 61, 75 y 89 días y utilizando el procedimiento de Phillips y Hayman (1970). El porcentaje de la colonización con MA de los segmentos radicales que contuvieron hifas, arbusculos y vesículas fue estimado de acuerdo a Bierman y Linderman (1981) usando el método modificado de líneas intersecadas (McGonigle *et al.*, 1990). Para el cálculo del porcentaje de la infección con MA se aplicó la fórmula:

$$\text{Porcentaje de la infección con MA} = (\text{Longitud de raíces infectadas} / \text{longitud de raíces observadas}) \times 100$$

En las plantas que formaron micorrizas el índice de dependencia relativa de la micorriza en campo (RFMD¹⁰⁰ [*Relative Field Mycorrhizal Dependency*]) se calculó usando el peso seco (PS) de cinco muestras de acuerdo a la fórmula de Plenchette *et al.* (1983):

$$\text{RFMD}^{100} = (\text{PS de plantas +MA} - \text{PS de plantas -MA}) \times 100 / \text{PS de plantas +MA}$$

Para determinar el crecimiento de las plantas el PS de los órganos fue evaluado en tres plantas de cada tratamiento a los 33, 47, 61, 75, 89, 103, 117 y 131 días. Los órganos de las plantas fueron secados en un horno durante 80 horas a 70°C.

Para el análisis estadístico se aplicó Anova usando el *software* SAS 9.1 y para determinar las diferencias entre los tratamientos se aplicó la prueba de Tuckey.

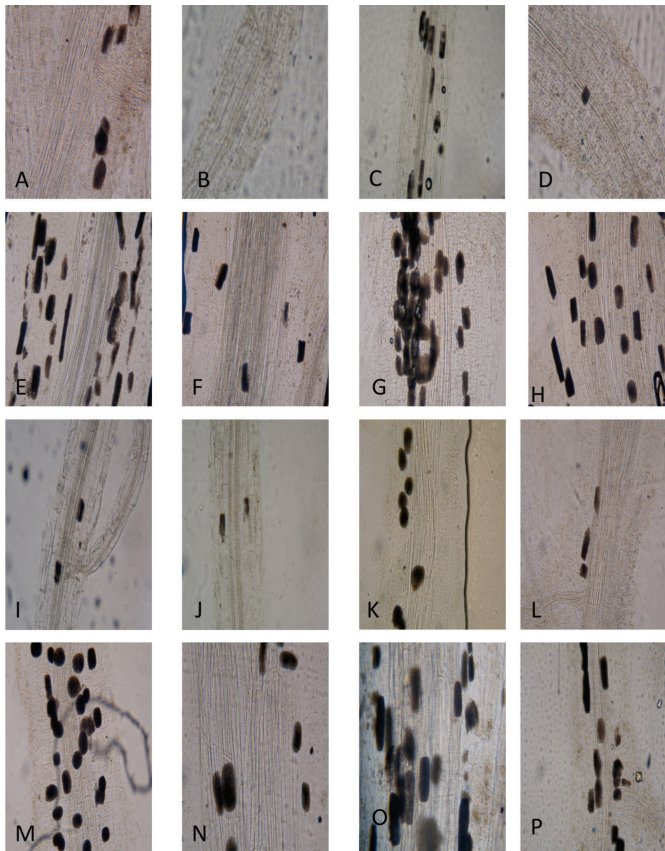


Figura 4. Infección de raíces con micorrizas arbusculares, vesículas e hifas. ABCD: Infección de raíces en suelo sin inoculo (-MA); EFGH: en suelo con inoculo (+MA) (en el estado de cuatro pares de hoja). IJKL: Infección de raíces en suelo -MA; MNOP: en suelo +MA (en el estado de cinco pares de hoja) (magnificación de 40x en microscopio de luz Zeiss® modelo Axioplan).

En contraste con el estado de cuatro pares de hoja por planta, en el estado de cinco pares se encontró alta presencia de hifas y en menor grado vesículas de hongos formadores de micorrizas arbusculares (Figura

4). Mayor cantidad de colonización radical. Inoculando MA (Tabla 1) y coincidió con resultados de Giri y Mukerji (2004) en dos especies de *Sesbania*, lo cual confirmó que la colonización con MA depende del estado de desarrollo de la planta (Hartwig *et al.*, 2002).

Tabla 1. Porcentaje de infección e índice de dependencia relativa de la micorriza en campo (RFMD100) en uchuva, establecidos en un suelo inoculado (+MA) y no-inoculado (-MA) a diferentes días después del trasplante, según Miranda *et al.* (2011).

Día	Porcentaje de infección		Índice RFMD ¹⁰⁰
	+AM	-AM	
33	20,3 a	8,5 b	0
47	34,0 a	12,0 b	18,0
61	41,0 a	19,3 b	42,5
75	37,6 a	16,4 b	25,3
89	15,2 a	6,3 b	7,8

Promedios con letras distintas, en la misma fila, indican diferencias significativas según la prueba de Tuckey ($P \leq 0,05$).

Como muestra la Tabla 1, la colonización con MA ocurrió naturalmente en este suelo salino (Johnson-Green *et al.*, 1995). Aunque una mayor infección con MA se inhibe por un alto porcentaje de materia orgánica y la fertilización mineral (Joner, 2000). El índice de RFMD¹⁰⁰ aumentó durante los primeros tres muestreos indicando que a los 61 días las plantas obtuvieron el máximo grado de crecimiento a la colonización con micorrizas, es decir, la actividad de las AM fue la más alta en esta fecha. En el caso de la colonización con MA, el bajo índice podría haber sido influenciado por la alta fertilidad del suelo (48,1 mg kg⁻¹ P; 0,35% N; 4,1% materia orgánica).

Las Tablas 2 y 3 muestran que la infección con MA aumenta el crecimiento de las plantas como indica la mayor acumulación de materia seca en estas al terminar el estudio (131 días). Durante el transcurso de las mediciones (resultados no mostrados), a partir de 61 días en el caso de las partes vegetativas de las plantas y a partir de 89 días en los órganos reproductivos, se presentaron biomásas significativamente más altas en las plantas +MA.

Tabla 2. Peso seco (PS) de los órganos vegetativos acumulado y distribuido a los 131 días de plantas de uchuva, creciendo en un suelo inoculado con hongos formadores de micorriza arbusculares (+MA) y en uno sin el inoculo (-MA) (Miranda *et al.*, 2011).

Ítem	+MA				-MA			
	Órganos	Raíces	Tallo	Hojas	Total	Raíces	Tallo	Hojas
PS acumulado (g)	120,0 a	356,0 a	397,5 a	873,5 a	107,3 b	331,8 b	360,2 b	799,3 b
PS distribuido (%)	10,6	40,8	36,6	88,0	11,0	38,6	38,9	88,5

Promedios con letras distintas, en la misma fila, indican diferencias significativas según la prueba de Tuckey ($P \leq 0,05$).

Existen varios mecanismos de las plantas inoculadas con MA que pueden incrementar su producción de biomasa bajo condiciones de estrés salino (Marschner, 2002). Estos son la mayor adquisición de nutrientes, predominantemente micronutrientes (Bresinski *et al.*, 2008), también nitrógeno y potasio (Porrás-Sorriano *et al.*, 2009); además, por la inhibición de la toma de Na y Cl y su transferencia al tallo (Al-Karaki, 2006; Giri y Mukerji, 2004). La producción de fotoasimilados y los hongos MA aumentan la capacidad vertedero del sistema radical, lo que puede incrementar el comportamiento fotosintético que finalmente puede conllevar a un mayor crecimiento de la planta (Bresinski *et al.*, 2008). Debido a esta mayor demanda fotosintética, las plantas infectadas con micorrizas arbusculares pueden incrementar la toma de agua, lo que aumentará sus tasas transpiratorias (Marschner, 2002).

Tabla 3. Peso seco (PS) de los órganos reproductivos y total de la planta, acumulado y distribuido a los 131 días en uchuva, creciendo en un suelo inoculado con hongos formadores de micorriza arbusculares (+MA) y en uno sin el inoculo (Miranda *et al.*, 2011).

Ítem	+MA				-MA			
	Órganos	Flores	Frutos	Total reproductivo	Total planta	Flores	Frutos	Total reproductivo
PS acumulado (g)	13,4 a	71,8 a	85,2 a	938,9 a	11,8 b	63,1 b	74,9 b	874,3 b
PS distribuido (%)	1,4	10,6	12,0	100	1,3	10,2	11,5	100

Promedios con letras distintas, en la misma fila, indican diferencias significativas según la prueba de Tuckey ($P \leq 0,05$).

Conclusiones

La concentración de 30 mM NaCl estimuló parámetros de crecimiento como son la tasa de crecimiento del cultivo, la tasa relativa de crecimiento, la tasa de asimilación neta y el índice de área foliar; lo que sugiere, que

esta respuesta esté asociada con un mecanismo adaptativo morfológico y fisiológico al estrés salino, como es el ajuste osmótico. Concentraciones salinas de 30 mM NaCl mostraron que la uchuva se comporta como una especie con una tolerancia moderada a la salinidad por NaCl.

Se determinó que los porcentajes de infección micorrízica dependieron fundamentalmente del estado de desarrollo de las plantas y que los porcentajes de infección por MA están condicionados por factores como, la alta fertilidad del suelo y que pueden estar inhibiendo la toma y transporte de Na y Cl hacia los órganos de interés de las plantas, facilitando el comportamiento fotosintético de la planta.

Literatura citada

- Al-Karaki, G.N. 2000. Growth and mineral acquisition by mycorrhizal tomato grown under salt stress. *Mycorrhiza* 10, 51-54.
- Al-Karaki, G.N. 2006. Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water. *Sci. Hortic.* 109, 1-7.
- Azevedo N., A.D. y J.N. Tabosa. 2000. Salt stress in maize seedlings: I. Growth analysis. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.* 4, 159-164.
- Bierman, B. y R. Linderman. 1981. Quantifying vesicular–arbuscular mycorrhizae: proposed method towards standardization. *New Phytol.* 87, 63-67.
- Bresinsky, A., C. Körner, J.W. Kadereit, G. Neuhaus y U. Sonnewald. 2008. *Lehrbuch der Botanik*. Spektrum Verlag, Heidelberg, Alemania.
- Casierra-Posada, F., G. Ebert y P. Lüdders. 2000. Efecto de la salinidad por cloruro de sodio sobre el balance de nutrientes en plantas de lulo (*Solanum quitoense* L.). *Agron. Colomb.* 17, 85-90.
- Cuartero, J. y R. Fernández-Muñoz. 1999. Tomato and salinity. *Sci. Hortic.* 78, 83-125.
- Fischer, G., G. Ebert y P. Lüdders 2007. Production, seeds and carbohydrate contents of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits grown at two contrasting Colombian altitudes. *J. Appl. Bot. Food Qual.* 81, 29-35.
- Flórez, S.L., D. Miranda L., B. Chaves, G. Fischer y S. Magnitskiy. 2008: Growth of lulo (*Solanum quitoense* Lam.) plants affected by salinity and substrate. *Rev. Bras. Frutic.* 30(2), 402-408.

- Giri, B. y K.G. Mukerji 2004. Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Sesbania aegyptica* and *Sesbania grandiflora* under field condition: evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. *Mycorrhiza* 14, 307-312.
- Hartwig, U.A., P. Wittmann, R. Braun, B. Hartwig-Rätz, J. Jansa, A. Mozafar, A. Lüscher, A. Leuchtman, E. Frossard y J. Nösberger. 2002. Arbuscular mycorrhiza infection enhances the growth response of *Lolium perenne* to elevated atmospheric pCO_2 . *J. Exp. Bot.* 53(371), 1207-1213.
- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. Unwin Hyman, Londres.
- Johnson-Green, P.C., N.C. Kenkel y T. Booth. 1995. Distribution and phenology of arbuscular-mycorrhizae along a salinity gradient at an inland salt pan. *Can. J. Bot.* 73, 1318-1327.
- Joner, E.J. 2000. The effect of long-term fertilization with organic and inorganic fertilizers on mycorrhiza-mediated phosphorus uptake in subterranean clover. *Biol. Fertil. Soils* 32, 435-440.
- Karlberg, L., A. Ben-Gal, P. Jansson y U. Shani. 2006. Modelling transpiration and growth in salinity-stressed tomato under different climatic conditions. *Ecol. Modelling* 190, 15-40.
- Lycoskoufis, I.H., D. Savvas y G. Mavrogianopoulos. 2005. Growth, gas exchange and nutrient status in pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in recirculating nutrient solution as affected by salinity imposed to half of the root system. *Sci. Hortic.* 106(2), 147-161.
- McGonigle, T.P., M.H. Miller, D.G. Evans, D.L. Fairchild y G.A. Swan. 1990. A new method which gives an objective measure of colonisation of roots by vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 115, 495-501.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, Amsterdam, The Netherlands.
- McGonigle, T.P., M.H. Miller, D.G. Evans, D.L. Fairchild y G.A. Swan. 1990. A new method which gives an objective measure of colonisation of roots by vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 115, 495-501.
- Munns, R. 1993. Physiological processes limiting saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Environ.* 16, 15-24.
- Miranda, D. 2011. Effect of salt stress on physiological parameters of cape gooseberry, *Physalis peruviana* L. Tesis de doctorado. Facultad de

- Agronomía y Horticultura, Humboldt-Universität zu Berlin, Alemania.
- Miranda, D., G. Fischer y Ch. Ulrichs. 2011. The influence of arbuscular mycorrhizal colonization on the growth parameters of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) plants grown in a saline soil. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 11(2), 18-30.
- Miranda, D., G. Fischer y Ch. Ulrichs. 2010a. Growth of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) plants affected by salinity. *J. Appl. Bot. Food Qual.* 83(2), 175-181.
- Miranda, D., Ch. Ulrichs y G. Fischer. 2010b. Imbibition and percentage of germination of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) seeds under NaCl stress. *Agron. Colomb.* 28(1), 29-35.
- Phillips, J.M. y D.S. Hayman. 1970. Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55, 158-161.
- Plenchette, C., J.A. Fortin y V. Furlan. 1983. Growth response of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. I. Mycorrhizal dependency under field conditions. *Plant Soil* 70, 199-209.
- Walker, D.J. y M.P. Bernal. 2008. The effects of olive waste mill compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a highly saline soil. *Bioresour. Technol.* 99(2), 396-403.

Agroforestería agroecológica

Marco Helí Franco V.¹

Resumen

La agroforestería debe ser considerada como la interacción deliberada de especies leñosas perennes (árboles, arbustos y palmas); cultivos anuales o perennes; plantas medicinales; industriales; pastizales y/o animales para dirigir la producción agropecuaria con una perspectiva de mayor preocupación por obtener mejores niveles productivos en equilibrio con la naturaleza; es decir, no solo es deseable sino también posible producir conservando y conservar produciendo. Hoy resulta ya casi común, afirmar la idoneidad del enfoque agroecológico para el diseño de agroecosistemas sustentables (entre los cuales tenemos los Sistemas Agroforestales y los Sistemas Silvipastoriles) y su pertinencia para el desarrollo rural; debido a que los sistemas de uso de la tierra en los trópicos han hecho más énfasis en la reducción de los riesgos de las cosechas que en el logro de una producción óptima, lo cual ha contribuido a la degradación de los recursos -pilares fundamentales de la producción- y de los ecosistemas tropicales. Por lo tanto, no podemos seguir indiferentes ante la destrucción del planeta y su biodiversidad. En palabras de Sevilla Guzmán (2009): “La búsqueda de soluciones a las formas de degradación, causadas por el manejo

1. Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (Colombia). mhfrancov@unal.edu.co

agroindustrial de los recursos naturales, nos llevó a desvelar la dualidad de la ciencia (como epistemología y como estructura de poder); y a trabajar con la gente introduciendo el conocimiento local campesino e/o indígena. Así llegamos a la agroecología como pensamiento pluriepistemológico que articula los contenidos históricos de las luchas liberadoras y los saberes locales sobre el manejo de los recursos naturales con los de la ciencia”.

Palabras clave: *agroecología, agroecosistema, saber local, sistema agroforestal, sistema silvipastoril, sustentable.*

Introducción

Los orígenes de la agricultura se remontan a la época neolítica, cuando el hombre inició el proceso de selección de especies vegetales y de domesticación de animales. Ello provocaría una alteración sustancial de los modos de vida y una notable modificación de las estructuras sociales, pero también, desencadenaría una transformación deliberada del espacio natural para hacer frente a las nuevas realidades sociales actuando sobre el medio natural, adaptándose al mismo en determinadas ocasiones, pero igualmente, alterándolo y transformándolo para satisfacer estos intereses y necesidades de los grupos humanos. Por ello, por lo importante que sea la influencia de los factores naturales (clima, relieve, suelo e hidrografía) sobre la configuración de un sistema agropecuario, no son los únicos, ni siquiera sus principales condicionantes sino que deben ser considerados en correlación con otros factores humanos de muy diversa índole (sociales, económicos, históricos, políticos, culturales, técnicos y jurídicos, entre otros).

Así las cosas, un sistema de producción agrario es el resultado de la ocurrencia de diversos factores entrelazados en forma muy íntima y que además, deben ser analizados en sus interrelaciones recíprocas. Hoy tenemos muchos problemas biológicos, ecológicos y socioeconómicos en nuestra agricultura de subsistencia, es necesario aumentar la productividad agropecuaria en forma paralela al incremento de la población (que en los países en vías de desarrollo es del 3 y 4% anual). La solución a la problemática antedicha constituye un reto muy importante para mejorar las condiciones de vida en el sector agropecuario. Esto solo es factible con sistemas de

producción agropecuarios más sustentables. Por consiguiente, también es factible la conservación de los recursos y ecosistemas naturales.

Por otro lado, los especialistas desde sus disciplinas presentan diversas posiciones, mientras los ambientalistas quieren reformar el capital económico con el propósito de conservar la naturaleza, los economistas ahora quieren reformar la naturaleza con el propósito de conservar el capital; es decir, la tensión entre la conservación de la naturaleza y la conservación del crecimiento, debe llegar a un punto de equilibrio concertado si queremos avanzar. En consecuencia, los conflictos de poder y las discusiones conceptuales no se han hecho esperar entre los países industrializados y los países del tercer mundo. Es reconocido que los mayores aportantes de contaminación al nivel de emisiones y extracciones a la naturaleza han sido los países desarrollados; de aquí se interpreta que el tipo de uso que dichos países hacen sobre el espacio ambiental disponible está fuera de toda proporción y que este estilo de influencia, no puede generalizarse alrededor del globo; es claro que debe trabajarse sobre la reducción de esta “huella ecológica” que dejan estas sociedades sobre las otras.

Los sistemas convencionales de uso de la tierra en los trópicos han hecho más énfasis en la reducción de los riesgos de las cosechas que en el logro de una producción óptima, lo cual ha contribuido a la degradación de los recursos –pilares fundamentales de la producción– y de los ecosistemas tropicales. Estas son causas inmediatas o puntuales, que requieren que las prácticas agrícolas convencionales sean sustituidas por alternativas más acordes con la rehabilitación y la conservación de los recursos de la producción agropecuaria, para así contribuir con la preservación del ambiente y de la especie humana.

En consecuencia, los sistemas de cultivo y la cría de animales, especialmente en áreas poco fértiles o propensas a la erosión, incluyen asociaciones de varias especies, cultivos intercalados y esquemas de rotación complejos. Muchos de los sistemas no son suficientemente productivos como para satisfacer las necesidades crecientes de la población; por ello se hace cada vez más necesario desarrollarlos y mejorarlos, incorporando el uso de tecnologías apropiadas para hacerlos más productivos. Y es precisamente

aquí, donde la agroforestería agroecológica se convierte en una herramienta fundamental.

Manejo Integrado de Sistemas de Producción (MISP)

Las prácticas agrícolas tradicionales que más destrucción causa a la reserva forestal del planeta son la tumba y quema, conocidas como agricultura migratoria. Este sistema se utiliza desde tiempos remotos, pero en la actualidad ocasiona pérdidas de aproximadamente 10 millones hectáreas de bosque tropical por año; solo en la selva tropical amazónica se pierden alrededor de 5 millones hectáreas al año. En la secuencia del sistema de producción tradicional, el espacio tumbado es aprovechado con la siembra de algún grano básico anual. Con estos cultivos y sus tecnologías de producción, que no son las más apropiadas, el suelo sufre daños importantes como, la rápida pérdida de nutrientes que trae como consecuencia el abandono de las tierras para dar paso a pastizales o barbecho para su recuperación natural.

La presión demográfica hace que se determinen los cambios tecnológicos agrícolas, se cree que las nuevas formas tecnológicas han sido cada vez más intensivas y, a la larga han desembocado históricamente en crisis antiproductivas. Es precisamente la agricultura tecnificada de “Revolución Verde”, forma típica de sociedades industrializadas, la que finalmente entra en crisis de sostenibilidad, después de casi sesenta años de destrucción de los recursos naturales de las regiones en donde aquella se asienta. En consecuencia del poder (capital, ciencia y tecnología), los sistemas de producción dependientes de insumos químicos están alcanzando su máxima aceleración.

La agricultura de monocultivo (unicultivo), convencional, industrializada, intensiva, mercantilizada, de “Revolución Verde” (hasta hace pocos años y de la década de los noventa en adelante, de revolución genética, habida cuenta de la era de las semillas transgénicas), se basa en la maximización de la producción y de las ganancias; para lo cual ha hecho uso de prácticas antiecológicas, cortoplacistas y degradantes de los recursos naturales, y contaminantes del medio ambiente. Además, en las últimas décadas el

desarrollo rural en el trópico se ha caracterizado por, el menoscabo de los recursos naturales y la degradación de los ecosistemas naturales; las pérdidas por deforestación y quemas que son del orden de 2-3 billones de toneladas al año de CO₂; la tasa de incremento de la población 34% anual; es decir, la población se duplica cada 20 y 30 años. Además, dos de los problemas que requieren una solución inmediata son:

1. Asegurar las necesidades básicas de la población creciente y,
2. frenar la reducción de la capa arable, debido a los procesos de erosión, solarización y degradación del suelo.

Se reconoce en forma amplia que, uno de los retos más grandes que enfrenta la investigación agrícola en los trópicos húmedos es la necesidad de desarrollar una agricultura viable y sistemas de producción de cultivos que sean capaces de asegurar una producción incrementada y más sustentable, con bajos insumos de síntesis química y a su vez, con un mínimo de degradación de los recursos, en especial del recurso no renovable del suelo. La naturaleza de muchos de los suelos usados para la agricultura en los trópicos es tal que, una sobreexposición y un sobre cultivo pueden fácilmente conducir a su degradación.

Las características propias del trópico húmedo y el manejo dado durante años a los suelos cultivados han aumentado la velocidad de degradación de estos. Primavesi (1984) plantea de manera muy acertada que, para recuperar los suelos hay que corregir las causas y no los síntomas; por lo que primero es determinar cuáles son las causas y los factores que generaron la degradación sobre los suelos, con el fin de restablecer la biodiversidad del suelo, en este momento es posible hablar de manejo ecológico de los suelos.

Por todo lo anterior, se propone como una alternativa de solución a dicha problemática el MISP, que es: “la utilización armónica, responsable, racional y económica de diferentes prácticas tendientes, todas para evitar que se cause un daño al agroecosistema o se deterioren los recursos, base fundamental, para así obtener una óptima productividad y seguir en la búsqueda del desarrollo agropecuario sustentable” (Franco, 2009).

Resulta común afirmar la idoneidad del enfoque agroecológico para el diseño de sistemas agrícolas sustentables y su pertinencia para el desarrollo rural. Sin embargo, la mayoría de las experiencias en este campo difícilmente superan el ámbito local y apenas mantienen conexión entre sí. Algunas de las prácticas agroecológicas más utilizadas desde tiempos muy remotos por las comunidades ancestrales indígenas y afrodescendientes en nuestro país y hoy, todavía por muchas de las comunidades campesinas y de agricultores son:

1. Rotación de cultivos
2. Asociación de cultivos/policultivos
3. Siembras escalonadas/escalonamiento de cultivos
4. Los Sistemas Agroforestales (SAF)
5. Agroforestería para la producción pecuaria o Sistemas Silvipastoriles (SSP)
6. Método de cultivo biointensivo
7. Cobertura del suelo
8. Abonos verdes
9. Siembra en curvas a nivel/siembra al contorno
10. Labranza conservacionista/labranza mínima
11. Las terrazas o andenes
12. Uso de estiércol y elaboración de abonos orgánicos
13. Preparación y uso de biofertilizantes
14. Uso de alelopatía
15. Control biológico natural
16. Elaboración de preparados a base de plantas
17. Elaboración de preparados minerales
18. Influencia de la luna en la agricultura

Todas estas prácticas están encaminadas a proteger la diversidad e integridad del ambiente; regular el control de la calidad de los bienes y servicios de la comunidad, y garantizar el desarrollo sustentable y la conservación, restauración y aprovechamiento de los recursos naturales. Estas propuestas, además, comparten las siguientes características:

- Entienden y respetan las leyes de la ecología, trabajando con la naturaleza y no contra ella.

- Consideran el suelo como un organismo vivo.
- Reducen la lixiviación de los elementos minerales, en virtud del papel decisivo asignado a la materia orgánica en el suelo.
- Dan importancia preponderante al conocimiento y al manejo de los equilibrios naturales encaminados a mantener las plantas sanas, trabajando con las causas (y no con los síntomas) por medio de la prevención.
- Trabajan con tecnologías apropiadas aprovechando los recursos locales de manera racional.
- Protegen el uso de los recursos renovables y disminuyen el uso de los no renovables.
- Reducen y eliminan el uso y consumo de los aportes energéticos ligados a los insumos externos y, en consecuencia, la dependencia exterior de los mismos, eliminando el uso de plaguicidas y fertilizantes sintéticos.
- Son socialmente justas y humanas porque trabajan con unidades culturales, estimulan la autogestión y permiten el dominio tecnológico social.
- Fomentan y retienen la mano de obra rural ofreciendo fuentes de empleo permanente.
- Favorecen la salud de los trabajadores, los consumidores y el ambiente al eliminar los riesgos asociados al uso de agroquímicos.

La sustentabilidad en la agricultura, entre otras cosas, deberá propender por mantener la fertilidad del suelo; aumentar la actividad biológica; promover la rotación de cultivos, policultivos y asociaciones; rescatar el conocimiento tradicional; incorporar innovaciones tecnológicas y mejorar la calidad y cantidad de las producciones y cosechas. Algunas pautas para lograrla son:

- Crear una fertilidad adecuada y equilibrada.
- Incluir un cultivo de leguminosas.
- Incluir cultivos con diferentes sistemas de rotación.
- Separar cultivos con insectos plagas similares y susceptibilidad a las enfermedades.
- Rotar cultivos susceptibles a las malezas con cultivos que las detengan.

- Usar cultivos de abonos verdes y cobertura del suelo.
- Aumentar el contenido de materia orgánica del suelo.
- Sistemas Agroforestales (SAF) y Sistemas Silvopastoriles (SSP).

Agroforestería tropical

A pesar de que el uso de Sistemas Agroforestales (SAF) es una práctica de larga tradición, el interés académico por ellos es relativamente reciente y su estudio constituye una disciplina nueva; debido a su carácter interdisciplinario, la información referente a las diferentes áreas relacionadas con el tema tiende a estar dispersa y en muchos casos, dicha información es de difícil acceso. Incluso así, ha crecido enormemente el interés en los sistemas agroforestales, tanto como alternativa para proyectos de desarrollo, como para proveer productos arbóreos, mantener la productividad a largo plazo y diversificar la producción en áreas tropicales.

En tal sentido, en los últimos años se han comenzado a desarrollar tecnologías con el propósito de mejorar los sistemas de producción; entre estas tenemos las prácticas agroforestales. El interés que los SAF y los SSP han despertado desde el punto de vista científico se debe a la necesidad de encontrar opciones más atinadas para resolver los problemas de baja producción y degradación de la tierra del trópico. Los sistemas agroforestales pueden brindar una alternativa para el uso de los recursos naturales, que aumente o al menos mantenga la productividad de la tierra sin causar su degradación. Así las cosas, no es sorprendente el entusiasmo por estos sistemas de producción ante el avance constante de la deforestación y el deterioro ambiental, debido a que se reconoce que con frecuencia la incorporación de componentes arbóreos en los sistemas de producción contribuyen a la recuperación y conservación de ecosistemas tropicales y de áreas degradadas.

Somarriba (1992) define la agroforestería como “una forma de cultivo múltiple que satisface tres condiciones básicas: 1) existen, al menos dos especies de plantas que *interactúan* biológicamente, 2) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne y, 3) al menos uno de los componentes es una planta manejada con fines agrícolas (incluyendo pastos)”. Así

diferentes autores (Nair, 1989; Combe y Budoswski, 1989; Sánchez, 1995 y Leakey, 1996) mantienen a las *interacciones* como característica principal de la definición de la agroforestería. Debe considerarse que las *interacciones* se desarrollan en el tiempo y espacio, lo cual afecta la magnitud de las mismas.

La agroforestería debe ser considerada como la interacción deliberada de árboles y cultivos anuales o perennes, plantas medicinales, industriales o pastizales y/o animales. Toda su área de influencia y de operación técnico científica, proporciona la tecnología necesaria para dirigir la producción agrícola con una perspectiva de mayor preocupación por obtener mejores niveles productivos en equilibrio con la naturaleza, sin descuidar en el proceso, el quehacer y el devenir del hombre.

Desde la perspectiva ecológica, un cambio de esta clase en las costumbres de cultivar está relacionado con las vías por las cuales una planta individual (especie arbórea) puede afectar a sus vecinos (las especies del cultivo asociado) por modificación del ambiente. Las modificaciones pueden tener una consecuencia positiva para las plantas vecinas debido al mejoramiento del ambiente, o una consecuencia negativa debida a efectos que deterioran el ambiente. Claramente, el interés de moverse hacia una práctica agroforestal es el de maximizar las consecuencias positivas y minimizar las negativas, de tal manera que se incremente la productividad y a la vez se logre la conservación de los recursos.

Los SAF han sido clasificados en innumerables diferentes maneras, pero según ICRAF (1994) hay solamente dos tipos funcionales, el simultáneo y el secuencial. El SAF simultáneo es donde el componente arbóreo y el cultivo crecen al mismo tiempo, y dentro de una cerrada proximidad para que las interacciones ocurran. En los SAF secuenciales, el máximo crecimiento ocurre en diferentes tiempos, a menudo ambos son sembrados en el mismo tiempo y están en una proximidad muy estrecha. La interacción entre el componente cultivo y árbol son minimizadas con el tiempo en el SAF secuencial (Sánchez, 1995).

A pesar que el uso de SAF es una práctica de larga tradición, el interés académico por ellos es relativamente reciente y su estudio constituye una

disciplina nueva; debido a su carácter interdisciplinario, la información referente a las diferentes áreas relacionadas con el tema tiende a estar dispersa y en muchos casos dicha información es de difícil acceso. Aun así, ha crecido enormemente el interés en los sistemas agroforestales, tanto como alternativas para proyectos de desarrollo, como para proveer productos arbóreos, mantener la productividad a largo plazo y diversificar la producción en áreas tropicales.

Aun cuando los SAF son modificadores o disturbadores del ambiente y no pueden describirse como naturales, representan un avance de los marcadamente artificiales sistemas de producción mono cultural y hasta una imitación de los ecosistemas naturales, con un énfasis en la diversidad de especies y la conservación de los recursos. Para conservar adecuadamente, es necesario maniobrar dentro de los límites, las reglas, los cambios, patrones y ambigüedades naturales; maniobrar bien es conservar, es mantener la dinámica de los sistemas vivos; es decir, no solo es deseable sino también posible producir conservando y conservar produciendo.

La agricultura ha tenido un papel fundamental en el desarrollo de las distintas culturas en todo el mundo, sociedades como la europea desplazaron la flora y fauna nativa de su continente para darle cabida al desarrollo industrial, generando un gran impacto en los recursos naturales y en la desaparición de los recursos genéticos importantes en los programas de mejoramiento. Con la destrucción de algunos sistemas ecológicos naturales, utilizando prácticas de tala y quema, labranza inadecuada, siembras intensivas en monocultivos, alto uso de fertilizantes y plaguicidas hasta llegar a la desertificación. Todo lo anterior, produce cambios climáticos que están afectando tanto a las comunidades rurales como urbanas. “La búsqueda de soluciones a las formas de degradación, causadas por este tipo de manejo agroindustrial de los recursos naturales, nos llevó a desvelar la dualidad de la ciencia (como epistemología y como estructura de poder); y a trabajar con la gente introduciendo el conocimiento local campesino e/o indígena. Así llegamos a la agroecología como pensamiento pluriepistemológico que articula los contenidos históricos de las luchas liberadoras y los saberes locales sobre el manejo de los recursos naturales con los de la ciencia” (Sevilla, 2009).

La agroecología debe apostar por la defensa de los sistemas productivos locales, y como se soporta en la cultura de los productores lugareños que es abundante en riqueza, debe orientar a la reconstrucción de los sistemas productivos tradicionales. Es así como la agroecología hace un aporte para que muchos profesionales formados en ciencias clásicas convencionales, en todas las áreas, para que fundamenten su conocimiento en ciencias más socialmente justas, económicamente rentables y naturalmente viables, sustentables en el tiempo y en el espacio, y que soporten una coevolución de la naturaleza, la sociedad y el desarrollo económico.

Dentro del MISP, acorde tanto con los anteriores postulados (retos de la agricultura de hoy) como también con los objetivos y principios tecnológicos que persigue un sistema de agricultura tropical sustentable, se circunscribe la alternativa de la agroforestería agroecológica; es decir: "Policultivo con al menos un componente leñoso perenne que interactúa biológicamente con las otras especies de plantas cultivadas y animales, bajo un esquema de MISP, en íntima coevolución entre la sociedad y la naturaleza; en donde se han implementado procesos agroecológicos en la búsqueda de agroecosistemas más sustentables" (Franco, 2010).

Para terminar, espero haber dado elementos para estudiar este interesante tema desde otro punto de vista, reflexivo desde su mismo origen, apoyado en las ciencias sociales, pero sobre todo, apenas planteado de forma muy esquemática.

Literatura citada

- Combe, J. y G. Budowski. 1989. Budowski. Clasificación de técnicas agroforestales tradicionales. pp. 17-47. En: De Salas, G. (ed.). Workshop on traditional agroforestry systems in Latin America. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.
- Franco, M.H. 2009. Ensayos para el curso académico 2009/2010. Agroecología: Un enfoque sustentable de la agricultura ecológica. Instituto de Sociología y Estudios Campesinos (ISEC), Universidad de Córdoba, Andalucía, España.

- Franco, M.H. 2010. Agroforestería Agroecológica (propuesta en construcción). En: II Seminario Internacional en Agroecología. VI Simposio Nacional de Agroecología. III Feria de Intercambio de Experiencias y Productos de la Agricultura Ecológica. Popayan, Colombia.
- ICRAF, International Center Research in Agroforestry. 1994. Annual report for 1993. ICRAF, Nairobi, Kenya. pp. 50-57.
- Leakey, R. 1996. Definition of agroforestry revisited. *Agroforestry Today* 8(1), 5-7.
- Nair, P.K.R. 1989. Agroforestry definid. pp. 13-18. En: Nair, P.K.R. (ed.). *Agroforestry systems in the tropics*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holanda.
- Primavesi, A. 1984. Manejo ecológico del suelo. 5a ed. Silvia Lerendegui, Buenos Aires.
- Sánchez, P.A. 1995. Soil productivity and sustainability in agroforestry systems. pp. 205-226. En: Steppler, H.A. y P.K. Nair (eds.). *Agroforestry: A decade of development*. ICRAF, Nairobi, Kenia.
- Sevilla G., E. 2009. Perspectivas agroecológicas desde el Pensamiento Social Agrario. En: *Agroecología: Un enfoque sustentable de la agricultura ecológica*. Instituto de Sociología y Estudios Campesinos (ISEC), Universidad de Córdoba, Andalucía, España.
- Somarriba, E. 1992. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. *Agroforestry Systems* 19, 223-240.

Lanza inyectora: prototipo para racionalizar la aplicación de insumos agrícolas al suelo

Roberto Villalobos R.¹

Resumen

El 90% de los productores de papa en Colombia son agricultores minifundistas con hasta tres hectáreas, y aportan el 45% de la producción total. La polilla guatemalteca (*Tecia solanivora* Povolny) y gusano blanco (*Premnotypes vorax* Hustache) son plagas que afectan el ingreso económico de los agricultores. Para procurar controlarlas se realiza una labor que en el lenguaje coloquial del gremio se denomina *chuntaqueo*. Usualmente se emplea una fumigadora convencional, con la lanza sin boquilla, para aplicar soluciones insecticidas al suelo en proximidad al cuello de la planta. Este método ha mostrado limitada eficacia. El objetivo del presente trabajo consistió en diseñar y construir el prototipo de un equipo que proporcione solución a los problemas y defectos del *chuntaqueo* tradicional. Se desarrolló el prototipo denominado “lanza inyectora” que permite aplicar soluciones insecticidas debajo de la superficie del suelo, de forma controlada y con notoria mejora en el desempeño, en comparación con *chuntaqueo*.

Palabras clave: *inyector del suelo, equipo de desinfección del suelo, equipo para control de plagas, tratamiento del suelo.*

1. Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (Colombia). rvillalobosr@unal.edu.co

Introducción

Según estadísticas de la FAO, citadas por Bradshaw *et al.* (2007), el cultivo de la papa es el cuarto más importante a nivel mundial después del trigo, maíz y arroz. El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR, 2005) informó que en Colombia estaban vinculadas a la actividad 90 mil familias con aproximadamente 165.000 ha cultivadas. El 90% de los productores son minifundistas que cultivan hasta 3 ha y obtienen un 45% del total de la producción. El 10% del cultivo se desarrolla en áreas mecanizables y 90% en suelos de ladera. Bradshaw *et al.* (2007), subrayan la importancia de un mejor control de plagas y enfermedades. El mismo autor enfatiza en la necesidad de incrementar la producción en países en vía de desarrollo para contribuir a erradicar hambre y pobreza en un marco de sostenibilidad social, económica y ambiental.

Plagas

En Colombia existen plagas del cultivo de papa que están presentes en el suelo y que atacan el tubérculo. La polilla guatemalteca (*Tecia solanivora* Povolny) y el gusano blanco (*Premnotrypes vorax* Hustache), son clasificadas por Piñeros (2009) dentro de las principales plagas que afectan el cultivo en el escenario suelo/tubérculo.

Español (2002) señaló que la época crítica en que los adultos de la polilla guatemalteca presentan mayor actividad en el cultivo de la papa es el periodo de tuberización y madurez fisiológica. Calvache (2002), citado por Bradshaw *et al.* (2007), reportó que en los cultivos sin protección de insecticidas las pérdidas, en términos de producción mercadeable, pueden llegar a ser totales.

Según Español (2002) para el gusano blanco las etapas críticas de mayor actividad en el cultivo son emergencia de las plantas, antes del aporque y floración. Niño *et al.* (2004), citado por Mellizo y Pinzón (2009), argumentan que el gusano blanco en su estado adulto se alimenta principalmente de las hojas, pero en términos económicos el daño importante es causado por las larvas, que al alimentarse del tubérculo construyen galerías que deterioran la calidad. Las pérdidas por gusano blanco le pueden representar al agricultor entre 5 y 50% del rendimiento.

Aplicación para control de plagas en el escenario suelo/tubérculo

En el cultivo de la papa en Colombia se efectúa una labor denominada coloquialmente *chuntaqueo*, que consiste en aplicar al suelo planta por planta y muy cerca del cuello de cada una, la solución agroquímica insecticida con el fin de controlar las plagas que se ubican bajo la superficie. El término *chuntaqueo* no ha sido reportado por la bibliografía técnica, pero podría tener relación con la palabra “*chunta*”. Este vocablo significa papa, en lenguas indígenas ancestrales de la zona andina, según Ballón y Cerron-Palomino (2002). Mediante el *chuntaqueo* el agricultor pretende controlar, entre otras plagas, polilla guatemalteca y gusano blanco.

Equipo convencional de fumigación

El equipo que emplean los agricultores de minifundio para realizar el *chuntaqueo* generalmente, es la misma bomba pulverizadora de espalda con la cual hacen aplicaciones al follaje de las plantas (Figura 1).



Figura 1. Bomba pulverizadora Lhaura Vet® de pistón sumergido, usado en el *chuntaqueo* del cultivo de papa en Colombia. (Foto: R. Villalobos R.).

Mediante un mecanismo de palanca y leva se pone en acción una cámara de compresión para presurizar la solución, que a su vez sale por una boquilla ubicada en la punta de la lanza, previo movimiento de la empuñadura de la pistola dosificadora. Observaciones de campo del autor han identificado que para hacer el *chuntaqueo* algunos agricultores prefieren, entre otras opciones, retirar la boquilla de la punta de la lanza con la expectativa de

obtener mayor caudal de descarga, pretendiendo mejorar el resultado del control con una cantidad más grande de producto insecticida infiltrado desde la superficie del suelo (Figura 2).



Figura 2. Lanza de la pulverizadora, sin boquilla, exhibiendo el racor roscado. Comúnmente usado en *chuntaqueo* del cultivo de papa en Colombia. (Foto: R. Villalobos R.).

Sin embargo este método posiciona inadecuadamente el producto puesto que la punta de la lanza sin boquilla no está diseñada para penetrar en el suelo. Tiene el defecto que la aplicación es desuniforme dado que la presión varía constantemente y además, se producen desperdicios por continuo derrame del producto desde la lanza en los espacios entre plantas.

El objetivo del trabajo de investigación consistió en diseñar y construir el prototipo de una lanza inyectora para racionalizar la aplicación de insumos agrícolas al suelo, en el marco del contexto descrito.

Materiales y métodos

El trabajo de investigación se desarrolló en el Laboratorio de Riego y Drenaje de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, en Bogotá.

Pulverizadora

Se empleó como equipo base una bomba pulverizadora marca Lhaura Vet® con tanque de 20 L. Incluye palanca y leva de acción más cámara de

compresión. Dispone de una pistola dosificadora con empuñadura móvil para activar o detener la salida del producto. En la Figura 1 se presenta la pulverizadora de espalda marca Lhaura Vet®, de operación manual (Lhaura-Vet, 2004).

Lanza, boquilla, válvula cheque y regulador de presión

Se empleó la misma lanza de la fumigadora descrita en el párrafo anterior, adaptándola con el fin que pueda soportar la fuerza aplicada por el operario para penetración en el suelo, dado que el diseño original para fumigación presenta una curva en el extremo. Se diseñó la boquilla, fabricada en bronce, para la punta de la lanza incluyendo una válvula de flujo unidireccional o cheque en su interior. Además, se incorporó en el diseño de la lanza inyectora un regulador de presión con el fin de uniformizar los caudales de descarga del equipo y en consecuencia, optimizar la uniformidad de aplicación en campo.

Aforos

Para los aforos realizados fueron empleadas probetas plásticas de diferente capacidad y resolución, y se utilizó un cronómetro con resolución en centésimas de segundo.

Resultados y discusión

Pulverizadora

El sistema consiste de una lanza inyectora para aplicación de soluciones de insumos agrícolas por debajo de la superficie del suelo, que se integra a una bomba pulverizadora convencional manual, del modelo que el operario carga a la espalda. El prototipo completo de lanza inyectora se presenta en la Figura 3, incluyendo el tanque de la pulverizadora con la cámara de compresión, pistola y la lanza inyectora. La pistola, mediante la activación manual de la empuñadura móvil, permite el paso de la solución agroquímica desde el tanque de la fumigadora.



Figura 3. Lanza inyectora. Prototipo diseñado para el *chuntaqueo* en el cultivo de papa en Colombia.

En la Figura 3 se observa que la lanza inyectora se diferencia de una convencional en que es rectilínea, porque no presenta la curvatura típica de la lanza pulverizadora, normalmente de 140° , que facilita direccionar el líquido fumigado hacia el follaje de la planta.

Punta inyectora

En la Figura 4 se muestra en detalle el diseño de la punta de la lanza inyectora. Está construida con una punta cónica sólida que, al penetrar en el suelo, reduce la posibilidad de daños sobre el sistema radical o sobre tejido vegetal subterráneo gracias a la terminación aguda y suficientemente redondeada.



Figura 4. Punta de la lanza inyectora para el uso potencial en el *chuntaqueo* del cultivo de papa.
(Foto: R. Villalobos R.).

La punta cónica se integra al tronco cilíndrico diseñado en bajo relieve sobre el cual están perforados los orificios por los cuales salen los microchorros del líquido que se dosifica (Figura 5).



Figura 5. Punta de la lanza inyectora con tres microchorros. (Foto: R. Villalobos R.).

El tronco cilíndrico dispuesto en bajo relieve tiene como función evitar la obstrucción de los orificios con partículas de suelo y reduce la resistencia que ejerce el suelo agrícola al flujo del fluido inyectado, permitiendo que salga libremente desde la cámara lateral.

Válvula de flujo unidireccional o cheque

La válvula unidireccional está dispuesta en el interior de la punta inyectora (Figuras 4 y 5). Consta de un tapón cónico de caucho y un resorte de acero inoxidable, alojados estratégicamente dentro de cámaras interconectadas. El diseño del resorte se analizó y construyó bajo la metodología de elementos finitos, según los conceptos expuestos por Hamano *et al.* (2010). Caín (1988), expone que la operación satisfactoria depende de la resistencia y grado de movimiento del resorte. El cheque cumple la función de interrumpir la descarga del líquido, una vez que el operario ha liberado la empuñadura móvil de la pistola.

La solución líquida a presión que ingresa por la lanza empuja al tapón de caucho, el cual a su vez está acoplado con el resorte de acero inoxidable. El resorte se contrae por la acción de la fuerza originada en la presión y

permite que el tapón se desplace hasta detenerse sobre un escalón, que separa la cámara principal de la cámara lateral. El concepto de volumen de control presentado por Shames (1995), permitió definir el diseño de las cámaras. La cámara principal está comunicada con la lateral a través de un doble paso excéntrico que hace parte del escalón. El líquido que ha ingresado a la cámara principal procede a pasar a la cámara lateral a través del doble paso excéntrico para luego salir en forma de microchorros por los orificios.

El resorte del cheque está alojado en la cámara inferior y se apoya sobre una esfera de acero inoxidable. La función de la esfera es proporcionar soporte para mantener al resorte accionando siempre sobre su eje longitudinal en los ciclos de compresión y descompresión, para lograr efectivo cierre con el tapón de caucho sobre el extremo inferior tubular del racor roscado.

Cuando el operario libera la empuñadura móvil de la pistola, el resorte retorna a su posición original comprimiendo el tapón contra el extremo inferior tubular del racor roscado de la lanza. De esta manera queda suspendido el suministro de líquido presurizado, con sellado hermético. Se cumplen entonces, ciclos sucesivos de apertura y cierre del sistema. Bajo esta disposición funcional la respuesta de salida de líquido a través de los orificios será inmediata ante un nuevo accionamiento de la empuñadura móvil de la pistola dosificadora porque la totalidad del espacio hueco de la lanza queda lleno de la solución líquida. Se evitan a la vez derrames y desperdicios, con evidentes beneficios económicos y ambientales.

Regulador de presión

El regulador de presión, mostrado en la Figura 6, es un dispositivo mecánico del tipo de diafragma y resorte de compresión, seleccionado por la característica de bajo caudal de flujo a baja presión constante de salida y alta presión variable de entrada. Aguas arriba recibe una presión que cambia con el tiempo y, de forma automática, entrega presión constante aguas abajo. Se seleccionó el regulador de presión referencia PMR-6-LF (Senninger®, FL) con rango de caudal nominal de operación entre $31,5$ y $315 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$, presión constante de salida de 41 kPa (6 psi), y máxima presión de entrada de 680 kPa (100 psi). La curva de desempeño,

proporcionada por el fabricante y adaptada por el autor, se presenta en la Figura 7 (Senninger Irrigation, s.f).



Figura 6. Regulador de presión Senninger® de bajo caudal, usado en la lanza inyectora para el *chuntaqueo* del cultivo de papa. (Foto: R. Villalobos R.).

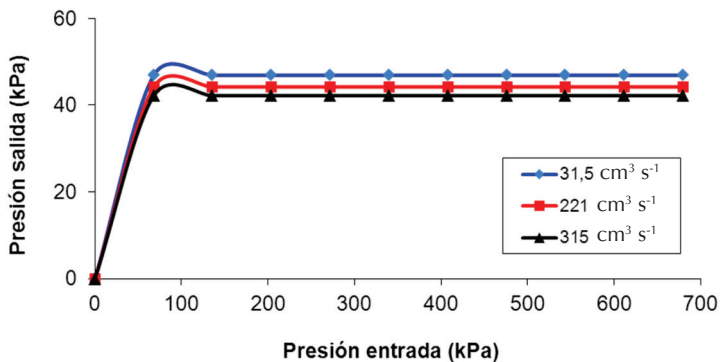


Figura 7. Desempeño del regulador de presión Senninger® PMR-6-LF para diferentes escenarios de caudal de flujo.

En la Figura 8 se presenta la comparación del desempeño de la lanza inyectora con y sin el regulador de presión, mostrando que cuando se emplea regulador el volumen descargado por unidad de tiempo es constante. De esta manera queda superada la desuniformidad característica del *chuntaqueo* tradicional.

Además, el equipo lanza inyectora tiene la característica de efectuar hasta siete disparos sucesivos de igual volumen, antes de que el operario

tenga que volver a presurizarlo (Figura 8). Dicho número se reduce para escenarios con disparos mayores a un segundo de duración.

Con el regulador de presión el equipo lanza inyectora proporciona un volumen de $3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ($30 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$). La dosis o disparo recomendado corresponde a un segundo de duración porque se ajusta a los volúmenes típicos aplicados en campo (Figura 9). Si el operario requiere aplicar un mayor volumen por disparo, simplemente debe aumentar el tiempo de duración de dicho disparo.

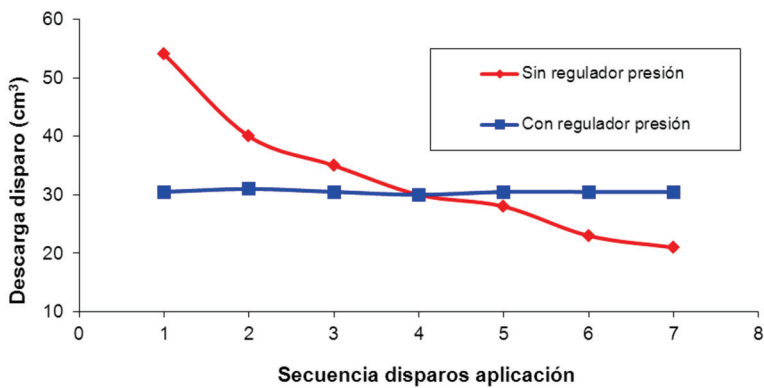


Figura 8. Desempeño de la lanza inyectora con y sin regulador de presión.

Formas de operación del equipo lanza inyectora

Una primera forma de operar el equipo consiste en accionar manualmente la palanca hasta que el sistema quede presurizado. Normalmente son suficientes cinco accionamientos para lograr presurización completa. Al operar el equipo se maneja ingreso de presión al regulador oscilando en un rango entre 680 kPa (100 psi) y 60 kPa (9 psi) con posterior entrega de presión constante a la lanza de 41 kPa (6 psi), aguas abajo del regulador, con logro de hasta siete disparos iguales de inyección, de un segundo de duración cada uno, antes que el operario deba volver a presurizar la pulverizadora. Las descargas idénticas se logran para idénticos tiempos de accionamiento del gatillo de la pistola.

Una segunda manera de funcionamiento del equipo lanza inyectora consiste en que el operario acciona de manera continua la palanca y

simultáneamente, realiza sucesivos disparos de inyección al suelo de cultivo, cada uno de igual tiempo de duración. Con esta forma de trabajo el operario mantiene en movimiento simultáneo ambas manos, porque con la derecha maneja la lanza con el gatillo y con la izquierda acciona cíclicamente la palanca de presurización (Figura 9).



Figura 9. Prototipo del equipo lanza inyectora en un cultivo de papa. (Foto: R. Villalobos R.).

La tercera forma de operar el equipo lanza inyectora, consiste en mantener abierta, permanentemente, la empuñadura móvil de la pistola y de manera simultánea accionar, constantemente, la palanca de presurización. El caudal de descarga por unidad de tiempo es constante. Esta modalidad se denomina de régimen continuo y puede ser requerida en escenarios específicos de aplicación.

Inyección de biológicos

Mellizo y Pinzón (2009) aplicaron el agente de control microbiológico *Beauveria bassiana* (Bálsamo) como alternativa de control del gusano blanco (*Premnotrypes vorax* Hustache) en papa criolla (*Solanum phureja* Juz. et Buk.), en el municipio de Granada, Cundinamarca. Los tratamientos implementados se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos en el trabajo de investigación de Mellizo y Pinzón (2009).

Tratamiento	Descripción
T1	<i>Beauveria bassiana</i> con equipo Lanza inyectora
T2	<i>Beauveria bassiana</i> con bomba de espalda convencional
T3	Aplicación comercial (clorpirifos y thiametoxam + lambdacihalotrina)
T4	Testigo absoluto (solo agua)

El estudio mostró que el tratamiento con *B. bassiana* y la lanza inyectora logró diferencias significativas en el control del blanco biológico, en comparación con todos los demás tratamientos. Mellizo y Pinzón (2009) estiman que T2 puede asimilarse al *chuntaqueo* tradicional. Entre los tratamientos de aplicación de *Beauveria* con la bomba de espalda y el insecticida no se encontraron diferencias significativas. El resultado permite argumentar que el equipo lanza inyectora ofrece ventajas porque ubica mejor el biológico donde realmente se requiere, es decir bajo la superficie del suelo.

Ejemplo de aplicación práctica de la invención

En el cultivo de la papa en Colombia se siembran, en promedio, 25.000 plantas/ha. Esta densidad corresponde a un marco de plantación de 0,4 m entre plantas por 1 m entre surcos. Tomando como referencia la información de Lorsban® 4 EC de Dow AgroSciences® (2006), se prepara una solución agregando de 0,003 a 0,004 m³ (3 a 4 L) de insecticida comercial en 0,5 a 1 m³ (500 a 1.000 L) de agua, por ha de cultivo, para el control de plagas como gusano blanco y polilla guatemalteca. Las cifras anteriores muestran que, en promedio, se aplica un volumen de solución insecticida de $3 \cdot 10^{-5}$ m³ (30 cm³) por planta. El equipo lanza inyectora está en capacidad de aplicar dicho volumen (Figura 8). De otra parte es pertinente señalar que la lanza inyectora se encuentra en trámite de patente ante la Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia.

Conclusiones

La lanza inyectora localiza la solución insecticida en forma controlada cerca del cuello de la planta, por debajo de la superficie del suelo, para

mejorar las posibilidades de control de las plagas, cumpliendo con las especificaciones técnicas del volumen requerido de aplicación.

El prototipo del equipo lanza inyectora muestra que se logra una forma de aplicación que supera las desventajas del *chuntaqueo* tradicional, tanto para insumos químicos como para biológicos.

Recomendaciones

Continuar el desarrollo del equipo lanza inyectora ampliando la consulta de las necesidades del agricultor a otras regiones productoras de papa, diferentes a la Sabana de Bogotá. Realizar investigaciones complementarias de campo para poder estimar la conveniencia de pasar de la fase de prototipo a la fase de modelo comercial.

Literatura citada

- Ballón, E. y R. Cerrón-Palomino. 2002. Terminología agraria andina. Nombres quechumaras de la papa. Centro Internacional de la Papa (CIP), Cuzco, Perú.
- Bradshaw, J.C., F. Gebhardt, D. Govers, M. Mackerron, H. Taylor y H. Ross. 2007. Potato biology and biotechnology. Vreugdenhil, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Cain, T. 1988. Spring design and manufacture. Workshop Practice Series 19. Trans-Atlantic Publications, Philadelphia, PA.
- Dow AgroSciences. 2006. Lorsban 4 EC. Insecticida de uso agrícola. Concentrado emulsionable. Etiqueta de producto. Bogotá.
- Español, J. 2002. Desarrollo de técnicas para la captura, muestreo y seguimiento de la polilla guatemalteca *Tecia solanivora* Povolny y el gusano blanco *Premnotrypes vorax* Hustache en condiciones de campo. Trabajo de maestría. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Hamano, T., M. Imaizumi y M. Shimoseki. 2010. FEM for springs. Japan Society for Spring Research; Springer-Verlag, Berlin.
- Lhaura-Vet. 2004. Pulverizadora Agro Lhaura. Manual del usuario. Bogotá.
- Mellizo, A. y E. Pinzón. 2009. Uso del agente de control microbiológico *Beauveria bassiana* (Balsamo) como alternativa de control del Gusano

- Blanco (*Premnotrypes vorax* Hustache) en papa criolla (*Solanum phureja* Juz. et Buk) en el municipio de Granada (Cund). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- MADR, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2005. La cadena de la papa en Colombia, una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Documento de Trabajo No. 54. Bogotá.
- Piñeros, C. 2009. Recopilación de la investigación del sistema productivo papa criolla. Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa); Secretaría de Agricultura y Desarrollo Económico; Gobernación de Cundinamarca, Bogotá.
- Senninger Irrigation, s.f. Family of pressure regulators. Technical catalog. Clermont, FL.
- Shames, I.H. 1995. Mecánica de fluidos. McGraw-Hill Interamericana, Bogotá.

Trichoderma: Identificación y prospectiva

Lilliana Hoyos-Carvajal¹

Resumen

Los hongos del género *Trichoderma* (teleomorfo *Hypocrea*-Ascomycetes: *Hypocreales*) incluye especies de importancia económica para la producción de antibióticos y enzimas y la degradación de compuestos xenobióticos, en la agricultura es ampliamente conocido y utilizado como agente de control biológico contra hongos y nematodos, también puede inducir resistencia sistémica en las plantas por endofitismo y *Trichoderma* puede mejorar el crecimiento y el desarrollo en vegetales.

Palabras clave: *agentes de control biológico, enfermedades de plantas, hongos, agroindustria.*

Introducción

El género *Trichoderma*, agrupa más de 100 especies en su mayoría asociadas a estados telomórficos en el género *Hypocrea* (Druzhinina *et al.*, 2006). Las especies del género *Trichoderma* se encuentran ampliamente distribuidas

1. Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (Colombia). limhoyosca@unal.edu.co

en un amplio rango de regiones geográficas que incluyen casi todas las zonas climáticas existentes y se caracterizan por incluir individuos de crecimiento rápido y capacidad para asimilar una diversa gama de sustratos, preferencialmente en material en descomposición en el suelo, en donde se halla una porción significativa de la biomasa total de hongos. Algunos aislamientos tienen usos en la industria como productores de enzimas y antibióticos, agentes bioremediadores de sustancias xenobióticas y como agentes de control de hongos y nematodos fitopatógenos. En el presente capítulo se expondrá la perspectiva de uso de este género de hongos en áreas industriales y agrícolas.

Prospectivas de uso industrial de *Trichoderma*

Fuente de enzimas

Para el año 2000 se estimó que las ventas mundiales de enzimas habían alcanzado la cifra de USD\$1,6 billones (Demain, 2000, citado por Karmakar y Ray, 2011), con un crecimiento anual de aproximadamente 6,5 a 10,0% (enzimas farmacéuticas no incluidas) (Tramoy, 2008). De estas, las celulasas son el 20% de las enzimas comercializadas en el mundo (Begum *et al.*, 2009). Concretamente, las celulasas de origen microbiano son usadas en industrias de alimentación humana y animal, panadería, producción de textiles, detergentes, pulpa de papel, agricultura y también en áreas de investigación a todo nivel (Karmakar y Ray, 2011), pero hay un área en franco crecimiento, y es para propósitos de producción de biocombustibles de tercera generación, los cuales son aquellos resultantes de la hidrólisis de un sustrato de celulosa y su posterior fermentación, llevados a cabo por microorganismos celulolíticos y hemicelulolíticos (Carere *et al.*, 2008). El mercado de enzimas para este propósito se estima que tendrá un crecimiento de 20 a 25% anual hasta el 2012 (Tramoy, 2008). La mayoría de las celulasas usadas en el mundo provienen de *Trichoderma* (principalmente sección *longibrachiatum*) y *Aspergillus* (Begum *et al.*, 2009), bien sea por obtención directa, pero más por expresión de genes del celulosoma en sistemas recombinantes para producción a gran escala de estas enzimas.

Agente microbiano para biorremediación

Lynch y Moffat (2005) definen la biorremediación como “la eliminación, atenuación o transformación de contaminantes o sustancias contaminantes por el uso de los procesos biológicos”. Las técnicas para el tratamiento de los materiales del suelo dependen de la degradación microbiológica y cada vez más, también, incluyen el uso de la vegetación para degradar contaminantes (fitorremediación) o restringir el movimiento de contaminantes (fitoestabilización). La fitorremediación puede ser fomentada por la manipulación de la rizosfera utilizando hongos, que como en el caso de *Trichoderma*, es bien conocido que tiene habilidad natural para tolerar sustancias de origen sintético y natural a altas concentraciones. Según Ruocco *et al.* (2009), debido a un sistema eficiente de detoxificación celular basado en un complejo de bombas de membrana conocidos como transportadores ABC (*ATP-Binding Cassette Transporters*, siglas en inglés), miembros de una superfamilia de proteínas que pueden ser responsables de flujo de salida de drogas a partir de células de los organismos objetivo. De esta manera, los transportadores ABC pueden proporcionar un mecanismo de protección frente a los fármacos citotóxicos y los agentes xenobióticos.

Los ejemplos y usos de *Trichoderma* en biorremediación son innumerables y se dirigen en tres vías principales: detoxificación de metales, detoxificación de desechos industriales incluyendo petróleo y sus derivados y remediación de suelos con alta carga de moléculas de agentes xenobióticos (pesticidas) en estado puro o en procesos de degradación (Cao *et al.*, 2008; Chakroun *et al.*, 2010; Fijalkowski *et al.*, 2008; Ruocco *et al.*, 2009; Tang *et al.*, 2009; Zhou *et al.*, 2007).

Fuente de metabolitos

Aparte de las enzimas que pueden ser de uso industrial como celulasas y hemicelulasas y aquellas involucradas en degradación o fijación de agentes xenobióticos o metales pesados, en *Trichoderma* se reporta con frecuencia la producción de sustancias con actividad antifungal; las más comúnmente conocida es la 6-Pentil- α -pirona (6 PAP), la cual es una d-lactona insaturada con un fuerte aroma a coco también usada en la industria alimenticia y cosmética (Oda *et al.*, 2009), también como

antifungales producidos por *Trichoderma* se incluyen el ácido fenílico, viridofunginas y harzianopiridona, antisépticos como la antraquinona, harzianodiona y gliotoxina, reguladores de crecimiento en plantas como el cicloneodiol y harzianopiridona, péptidos antimicrobianos e incluso compuestos fitotóxicos como el iridio. Para farmacopea se han aislado antitumorales e inmunomoduladores como harzianodiona y gliotoxina y metabolitos inhibidores de la síntesis de virus y melanina, que amplían las perspectivas de usos industriales o comerciales de este organismo (Sivasithanparam y Ghissalberti, 1998; Supothina *et al.*, 2007; Vinale *et al.*, 2008; Xiao-Yan *et al.*, 2006).

Usos de *Trichoderma* en la agricultura

Promoción de crecimiento de plantas

Trichoderma se encuentra entre los hongos antagonistas más utilizados en agricultura por su alta capacidad de producción de enzimas hidrolíticas y mecanismos de antibiosis que puede inhibir o controlar hongos y nematodos fitopatógenos (Esposito y Da Silva, 1998) y su desarrollo es favorecido por la presencia de alta densidad de raíces (Harman, 2000). Algunas especies de *Trichoderma* han sido reportadas como estimuladoras de crecimiento en cultivos como clavel, crisantemo, tagetes, petunia, pepino, berenjena, arveja, pimienta, rábano, tabaco, tomate, lechuga, zanahoria, papa, millo, cacao, algodón, fríjol y pastos (Mckenzie *et al.*, 1995; Ousley *et al.*, 1994; Resende *et al.*, 2004; Windham *et al.*, 1986; Yedidia *et al.*, 2001). Los posibles mecanismos por los cuales algunos aislamientos del género *Trichoderma* puede estimular crecimiento en plantas involucran interacciones con las raíces de plantas similares de micorrizas, en las cuales *Trichoderma* penetra y coloniza tejidos de las raíces sin provocar respuestas específicas de defensa contra el hongo colonizador (Yedidia *et al.*, 2000), sugiriendo una interacción como simbiontes avirulentos (Howell *et al.*, 2000; Harman *et al.*, 2004; Hoyos-Carvajal *et al.*, 2009). Trabajos como los de Yedidia *et al.* (2000) han demostrado la activación de glucanasas, quitinasas, celulasas y peroxidasas en la planta ante la presencia del hongo, indicando que se han movilizado los mecanismos de defensa de la planta. *Trichoderma* también puede producir metabolitos

con actividades análogas a hormonas vegetales, todos los anteriores mecanismos pueden estimular el crecimiento en plantas (Butler *et al.*, 1989, 1991; Quintana *et al.*, 2009).

Estudios de Altomare *et al.* (1999), demostraron que *T. harzianum* T-22 puede producir las formas solubles de manganeso, zinc metálico y fosfato de calcio en sistemas *in vitro*, y también que el hongo produce metabolitos que reducen el hierro férrico (III) a la forma ferrosa fácilmente asimilada por las plantas. Yedidia *et al.* (2001), reportan que *T. harzianum* (T-203) incrementó la concentración mineral de fósforo, cobre, zinc y manganeso en tallos de melón en un sistema hidropónico y la de fósforo, cobre y hierro en condiciones de invernadero utilizando un suelo natural como sustrato. Hoyos-Carvajal (2006), demostró que esta actividad depende de la naturaleza misma del suelo y su dinámica, encontrando contrastes en solubilización de nutrientes en andisoles y oxisoles en Colombia, demostrando que el ión fosfato, por ejemplo, es bien solubilizado en estos últimos tipos de suelos, pero no así en andisoles, donde la fijación de fósforo es considerable y dependiente de fenómenos físicos en las arcillas T-O-T. Jalal *et al.* (1986, 1987) y posteriores estudios de Hoyos-Carvajal *et al.* (2009) demostraron fenómenos de quelación de Fe III; la conversión de los óxidos de metal a formas solubles por *Trichoderma* sp. pueden estar implicados, tanto en el control de patógenos de plantas y como en la estimulación del crecimiento y de control biológico (Harman, 2006; Woo *et al.*, 2006).

Control de fitopatógenos

Además de su facilidad para colonizar las raíces de las plantas, *Trichoderma* ha desarrollado mecanismos para atacar y parasitar sustratos en los cuales pueda desarrollarse, esto incluye paredes celulares de hongos y huevos de nematodos, y así, aprovechar estos como fuente nutricional (Sahebani y Hadavi, 2008). La lista de patógenos a los cuales puede parasitar *Trichoderma* es innumerable y variada, lo mismo que la forma en la que puede actuar como regulador biológico, demostrando que esta actividad depende, en primera instancia, de las interacciones directas del organismo regulador, y conlleva a cierto grado de especificidad entre cepas, tanto del biocontrolador como del patógeno, pero también de la acción sobre

la fisiología de la planta, siendo esta última moduladora esencial entre el fitopatógeno y el bioregulador (Vinale *et al.*, 2008).

Según Hoyos-Carvajal (2012), los efectos de *Trichoderma* sobre su sustrato (hongos o nematodos) tienen un modo de acción (el cual explica qué sucede) y un mecanismo determinado (el cual explica cómo sucede), que con frecuencia son confundidos. A continuación se describen los modos de acción y mecanismos por los cuales *Trichoderma* puede regular poblaciones de fitoparásitos:

Mecanismo: parasitismo/modo: enzimas líticas

El parasitismo de un hongo sobre un sustrato, entendido como el aprovechamiento de este último como fuente nutricional cubre eventos previos y la degradación o parasitismo final, el cual puede ser dividido en cuatro pasos principales:

1. **Crecimiento quimiotrófico.** Donde exudados del patógeno atraen a *Trichoderma* sp.
2. **Reconocimiento.** Algunos aislamientos de *Trichoderma* sp. Son específicos a algunos fitopatógenos, y es en esta etapa donde el fenómeno de especificidad de ataque se define. Esta etapa es mediada por lectinas.
3. **Adhesión.** Una vez *Trichoderma* sp. ha reconocido al patógeno lo envuelve y se adhiere a las hifas cubriéndolo totalmente.
4. **Degradación.** El paso final es la degradación de la pared celular del hongo fitopatógeno por medio de la producción de enzimas como proteasas y endohidrolasas. Diversos estudios se han realizado con enzimas tales como quitinasas, glucanasas, quitobiosidasas, hidrolasas, proteasas, etc., su actividad sobre la germinación de esporas y todos los estados de vida de los patógenos y se ha encontrado una correlación clara entre la producción de enzimas y la actividad antifungal, que incluyen β -glucanasas (exo/endo, 1,2-1,3-, 1,4-, 1,6-), α 1,3 glucanasas (exo/endo), amilasas (α , β -amilasas y glucoamilasas), proteasas, ácido nucléico, hidrolasas (ADN y ARN), trehalasas, pectinasas, lipasas, fosfatasas, lactonasas, ureasas, laccasas, peroxidasas, pectinliasas,

entre otras (Benítez *et al.*, 1998; Lorito, 1998; Sakakibara *et al.*, 2004; Viterbo *et al.*, 2002).

Modo: inhibición/mecanismo: antibiosis, lisis, toxicidad

En orden, la antibiosis ocurre cuando hay producción de antibióticos (p. ej. 6PAP, viridiol), la lisis por enzimas hidrolíticas (p. ej. Endohidrolasas) y la toxicidad por producción de desechos no regulados (Amonio, dióxido de carbono, cianuro de hidrógeno) (Hoyos-Carvajal, 2012). Para el primer tipo de compuestos, muchos microorganismos tienen la capacidad de producir antibióticos en cultivos puros (*in vitro*) cuantificada esta como el radio de inhibición de crecimiento, lo cual es la evidencia más frecuentemente usada de la posible acción de este tipo de compuestos como mecanismo de ataque de *Trichoderma* sp. bajo condiciones de campo. Sivasithamparam y Ghissalberti (1998), categorizan la producción de antibióticos de *Trichoderma* en tres grupos: (i) antibióticos volátiles como 6-Pentil- α -pirona (6PAP) y derivados de isocianidas, (ii) componentes solubles en agua como el ácido heptelídico y koníngico (iii) peptaiboles, los cuales tienen oligopéptidos lineales de 12-22 aminoácidos ricos en ácido α -aminoisobutírico. Vinale *et al.* (2008), aseveran que su producción es propia de aislamientos específicos y su rango de acción también es restringido a especies de patógenos, y por tanto no es posible ligar o generalizar su ocurrencia a especies, como sucede con las especies del agregado *T. harzianum*.

Modo: inhibición/mecanismo: competencia ecológica

Esta ocurre cuando dos o más organismos exigen un mismo recurso vital. La competencia entre agentes de control biológico y el fitopatógeno puede resultar en control biológico, por aniquilación de la población perjudicial, y puede darse en favor de *Trichoderma* sp. debido a su alta frecuencia de crecimiento y desarrollo. La competencia por carbono, nitrógeno y otros factores para crecimiento, junto con la competencia por espacios o sitios específicos es uno de las formas empleadas por los agentes de regulación biológicas para suprimir poblaciones de microorganismos (Vinale *et al.*, 2008).

Reflexiones sobre el uso de *Trichoderma* en la agricultura

Trichoderma es un género de hongos con variados atributos biológicos que lo hacen apto como agente de control biológico y por ello es ampliamente usado para control de fitopatógenos a escala industrial o artesanal, no obstante las generalizaciones sobre el potencial y modo de acción de *Trichoderma* sobre patógenos han desvirtuado su uso exitoso en agricultura, sencillamente porque los caracteres deseables para controlar patógenos se restringen a aislamientos de especies, no a especies de *Trichoderma* o más aún, todas las especies de este género (Hoyos-Carvajal y Bissett, 2012). Por tanto es un error concluir actividad biológica de este hongo partiendo de estudios no adaptados al medio ni realizados con los aislamientos debidamente formulados o escalados, lo cual puede cambiar su comportamiento y actividad enzimática por silenciamiento o represión de genes en sustratos usados para su producción masiva.

Además existe una falta de hilaridad de los resultados obtenidos mediante pruebas en laboratorio y pruebas de invernadero y campo, han conducido a éxitos “relativos”; también estas variaciones de comportamiento entre estos ensayos y las aplicaciones bajo condiciones comerciales se atribuyen con frecuencia a variabilidad ambiental, tipo de suelo, nutrientes, etc., estos problemas con las inconsistencias de resultados en las metodologías de evaluación resulta en la posterior frustración sobre su uso, ya que los agentes de biocontrol están sujetos a un considerable esfuerzo de investigación en laboratorio o bajo condiciones controladas sin tener en cuenta su comportamiento en campo para uso en agricultura intensiva (Fravel, 1989; Hoyos-Carvajal y Bissett, 2012). Por lo anterior es importante considerar los siguientes puntos para la aplicación masiva de *Trichoderma* en agricultura:

Especificidad

Trichoderma sp. agrupa a más de 100 especies (Druzhinina *et al.*, 2006), algunas con capacidad notoria de producción de enzimas de uso industrial (sección Longibrachiatum) y otras con capacidad micoparasítica (secciones Pachybasium y *Trichoderma*), dentro de estas, ejemplares

notorios de algunas especies son los citados como efectivos, no obstante no es posible generalizar mecanismos de acción y capacidad de potencial de producción de metabolitos (Hoyos-Carvajal *et al.*, 2008). De igual forma, los aislamientos tienen rangos de temperatura para su crecimiento y capacidad de adaptación a condiciones de suelo diversas. Cuando el hongo antagonico se encuentra en un medio favorable puede actuar de forma rápida y eficaz, en casos donde las condiciones no son las óptimas, *Trichoderma* sp. requiere un periodo de adaptación para mostrar su potencial como controlador, todo esto sin contar las interacciones inhibitorias o sinérgicas que puedan presentarse con las comunidades microbianas propias de cada suelo o nicho.

Establecimiento de poblaciones de *Trichoderma* sp. en el suelo o sustrato

Al momento de la aplicación inicial, la cantidad de esporas y estructuras de propagación del hongo es baja en comparación con las existentes en el suelo de hongos fitopatógenos. Los pesticidas, actúan de forma rápida, en contraste el antagonista está creciendo y propagándose en el suelo en forma lenta, por tanto es importante considerar el tiempo de establecimiento para generar expectativas reales de uso (Watanabe, 2006). Existen algunas metodologías para aplicar el hongo de forma tal que se establezca en el suelo:

Aplicación inoculativa

Es la aplicación inicial, en la cual se llevan las estructuras de propagación de *Trichoderma* sp. al suelo del cultivo.

Aplicaciones inundativas

Son las aplicaciones subsecuentes donde se “satura” el suelo o sustrato con el inóculo del regulador, para el caso *Trichoderma* sp.; esto se hace en cantidades y frecuencias considerables (1×10^5 conidias/g de suelo por 20 días). Este método es recomendable porque permite que el hongo se establezca en el suelo y alcance un gran número de propágulos.

Susceptibilidad a los pesticidas

Según Harman (2006), *Trichoderma* posee resistencia innata a la mayoría de los agroquímicos, incluyendo a los fungicidas. Sin embargo, el nivel de resistencia difiere entre cepas. Algunas líneas han sido seleccionadas o modificadas para ser resistentes a agroquímicos específicos y como se mencionó al inicio, esto se debe a la existencia de transportadores ABC en algunas cepas. Es necesario que los insumos a base de *Trichoderma* destinados al control biológico posean información relacionada con la susceptibilidad o tolerancia a agroquímicos, pero con la finalidad de garantizar la sobrevivencia del biocontrolador en suelos o ambientes con trazas de agentes xenobióticos y no así para aplicaciones simultáneas de fungicidas y *Trichoderma*.

Conclusiones

La aplicación de *Trichoderma* en agricultura tiene varias ventajas:

- *Trichoderma* sp. ofrece un control eficaz de agentes causantes de enfermedades de plantas.
- Este hongo está propagándose en el suelo, aumentando sus poblaciones y ejerciendo control duradero en el tiempo sobre hongos fitopatógenos.
- Ayuda a descomponer materia orgánica, haciendo que los nutrientes se conviertan en formas disponibles en suelos, por lo tanto tiene un efecto indirecto en la nutrición del cultivo.
- Varios estudios demuestran que *Trichoderma* sp. estimula el crecimiento de los cultivos porque posee metabolitos que promueven los procesos de desarrollo en las plantas.
- Puede ser aplicado en compostaje o materia orgánica en descomposición para acelerar el proceso de maduración de estos materiales, los cuales a su vez contendrán el hongo cumpliendo también función de biofungicida.
- Favorece la proliferación de organismos benéficos en el suelo, como otros hongos antagonistas.

Hay que tener en cuenta que un solo método de control no basta para erradicar una enfermedad en forma eficaz y duradera, es necesario integrar

varias prácticas. Ninguna de estas por si sola abarca todos los aspectos que deben considerarse para obtener un cultivo sano y económicamente rentable.

Literatura citada

- Altomare, C., W.A. Norwell, T. Björkman y G. Harman. 1999. Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growth-promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. *Appl. Environ. Microbiol.* 65, 2926-2933.
- Begum, F., N. Absar y M.S. Shah Alam. 2009. Purification and characterization of extracellular cellulose from *A. oryzae* ITCC-4857.01. *J. Appl. Sci. Res.* 5(10), 1645-1651.
- Benítez, T., C. Limón, J. Delgado-Jaran y M. Rey. 1998. Glucanolytic and other enzymes and their genes pp. 101-128. En: Kubicek, C.P. y G.E. Harman (eds.). *Trichoderma and Gliocladium*. Basic biology, taxonomy and genetics. Taylor & Francis. Londres.
- Cao, L., M. Jiang, Z. Zeng, A. Du, H. Tan e Y. Liu 2008. *Trichoderma atroviride* F6 improves phytoextraction efficiency of mustard (*Brassica juncea* (L.) Coss. var. *foliosa* Bailey) in Cd, Ni contaminated soils. *Chemosphere* 71(9), 1769-1773.
- Carere, C.R., R. Sparling, N. Ciceky D.B. Levin. 2008. Third generation biofuels via direct cellulose fermentation. *Int. J. Mol. Sci.* 9, 1342-1360.
- Chakroun, H., T. Mechichi, M.J. Martínez, A. Dhouib y S. Sayad. 2010. Purification and characterization of a novel laccase from the ascomycete *Trichoderma atroviride*: Application on bioremediation of phenolic compounds. *Process Biochem.* 45(4), 507-513.
- Cuttler, G.H., D.S. Himselbach, F. Arrendale, P.D. Cole y R. Cox. 1989. Koninginin A: a novel plant growth regulator from *Trichoderma koningii*. *Agric. Biol. Biochem.* 39, 2605-2611.
- Cuttler, G.H., D.S. Himselsbach, B. Yagen, F. Arrendale, J. Jacyno, P.D. Cole, R. Cox 1991. Koninginin B: A biologically active congener of Koninginin A from *Trichoderma koningii*. *J. Agric. Food. Chem.* 39, 977-980.
- Druzhinina, I., A. Kopchinskiy y C. Kubicek. 2006. The first 100 *Trichoderma* species characterized by molecular data. *Mycoscience* 47, 55-64.

- Espósito, E. y M. Da Silva. 1998. Systematics and environmental application of the genus *Trichoderma*. *Crit. Rev. Microbiol.* 24, 89-98.
- Fijalkowski, K., M. Kacprzak, J. Bien y B. Janecka. 2008. The enhanced bioremediation of soils contaminated with high concentration of diesel oil. En: The 7th International Conference. Faculty of Environmental Engineering Vilnius, Gediminas Technical University. Vilna, Lituania.
- Fravel, D.R. 1989. Role of antibiosis in the biocontrol of plant diseases. *Annu. Rev. Phytopathol.* 26, 75-91.
- Harman, G. 2000. Myth and dogmas of biocontrol changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T22. *Plant Dis.* 84, 377-393.
- Harman, G., C.R. Howell, A. Viterbo, I. Chet y M. Lorito. 2004. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Rev. Microbiol.* 2, 43-56.
- Harman, G.E. 2006. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathol.* 96, 190-194.
- Howell, C.R., L.E. Hanson, R.D. Stipanovic y L.S. Puckhaber. 2000. Induction of terpenoid synthesis in cotton roots and control of *Rhizoctonia solanii* by seed treatment with *Trichoderma virens*. *Phytopathol.* 90, 248-252.
- Hoyos-Carvajal, L. 2006. Diversidad de aislamientos neotropicales de *Trichoderma* spp. y su potencial en estimulación de crecimiento de frijol *Phaseolus vulgaris* L. Tesis de doctorado. Posgrado en Biología, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Hoyos-Carvajal, L., P. Chaparro, M. Abramsky, I. Chet y S. Orduz. 2008. Evaluación de aislamientos de *Trichoderma* spp. contra *Rhizoctonia solani* y *Sclerotium rolfsii* bajo condiciones *in vitro* y de invernadero. *Agron. Colomb.* 26(3), 451-458.
- Hoyos-Carvajal, L.M., S. Orduz y J. Bissett. 2009. Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Trichoderma*. *Biol. Control* 51,409-416.
- Hoyos-Carvajal, L. 2012. Regulación biológica de enfermedades de plantas en agricultura tropical. pp. 1-10. En: Hoyos-Carvajal, L. (ed.). Enfermedades de plantas: manejo biológico. Universidad Nacional de Colombia; ECOE, Bogotá.
- Hoyos-Carvajal, L. y Bissett, J. 2012. *Trichoderma*: Especificidad, variabilidad y usos. pp. 11-34. En: Hoyos-Carvajal, L. (ed.).

- Enfermedades de plantas: manejo biológico. Universidad Nacional de Colombia; ECOE, Bogotá.
- Jalal, M.A., F. Steve, K. Love y D. Van Der Helm. 1986. Siderophore mediated iron (III) uptake in *Gliocladium virens* (*Trichoderma virens*). Properties of cis-fusarinine, trans-fusarinine, dimerum acid, and their ferric complexes. *J. Inorg. Biochem.* 28, 417-430.
- Jalal, M.A., F. Steve, K. Love, y D. Van Der Helm. 1987. Siderophore mediated iron (III) Uptake in *Gliocladium virens* (*Trichoderma virens*). 2. Role of ferric mono- and dihydroxamates as iron transport agents. *J. Inorg. Biochem.* 29, 259-267.
- Karmakar, M. y R.R. Ray. 2011. Current trends in research and application of microbial cellulases. *Res. J. Microbiol.* 6, 41-53.
- Lorito, M. 1998. Chitinolytic enzymes and their genes. pp. 73-99. En: Kubicek, C.P. y G.E. Harman (eds.). *Trichoderma and Gliocladium. Basic biology, taxonomy and genetics.* Taylor & Francis. Londres.
- Lynch, J.M. y A.J. Moffat. 2005 Bioremediation – prospects for the future application of innovative applied biological research. *Ann. Appl. Biol.* 146(2), 217-221.
- McKenzie, A.J., T.W. Starman, M.T. Windham. 1995. Enhanced root and shoot growth of chrysanthemum cutting propagated with the fungus *Trichoderma harzianum*. *HortScience* 30, 496-498.
- Ousley, M., J. Lynch y J. Whipps. 1994. Potential of *Trichoderma* as consistent plant growth stimulators. *Biol. Fertil. Soils* 17, 85-90.
- Quintana, L., A. Castro, S. Orduz y L. Hoyos-Carvajal. 2009. Determinación cualitativa de auxinas y/o análogos en aislamientos de *Trichoderma* spp. aislados de suelos tropicales. *Fitopatol. Colomb.* 33(2), 57-60.
- Resende, M., J. de Oliveira, R. Mendez, R. Garcia y A. Rodrigues. 2004. Inoculação de sementes de milho utilizando o *Trichoderma harzianum* como promotor de crescimento. *Ciênc. Agrotec.* 28, 793-798.
- Ruocco, M., S. Lanzuise, F. Vinale, R. Marra, D. Turrá, S.L. Woo y M. Lorito. 2009. Identification of a new biocontrol gene in *Trichoderma atroviride*: The role of an ABC transporter membrane pump in the interaction with different plant-pathogenic fungi. *Mol. Plant Microbe Interact.* 22, 291-301.
- Sahebani, N. y N. Hadavi. 2008. Biological control of the root knot nematode *Meloidogyneja vanica* by *Trichoderma harzianum*. *Soil Biol. Biochem.* 40, 2016-2020.

- Sakakibara, N.R., Y. Ogawa y M. Suiko. 2004. Cloning and expression of a novel *Trichoderma viride* laminarinase AI gene (lamAI). Biosc. Biotech. Biochem. 68, 211-219.
- Sivasithamparam, K. y E.L. Ghissalverti. 1998. Secondary metabolism in *Trichoderma* and *Gliocladium*. pp. 139-192. En: Kubicek, C.P. y G.E. Harman (eds.). *Trichoderma* and *Gliocladium*. Basic biology, taxonomy and genetics. Taylor & Francis, Londres.
- Supothina S., M. Isaka, P. Wongs. 2007. Optimization of culture conditions for production of the anti-tubercular alkaloid hirsutellone A by *Trichoderma gelatinosum* BCC 7579. Lett. Appl. Microbiol. 44,531-537
- Tang, J., L. Liu, S.Hua, Y. Chen y J. Chen. 2009. Improved degradation of organophosphate dichlorvos by *Trichoderma atroviridis* transformants generated by restriction enzyme-mediated integration (REMI). Biores. Tech. 100, 480-483.
- Tramoy, P. 2008. Review on the enzyme market. En: <http://www.lifescience-online.com/articles.html>; consulta: noviembre de 2011.
- Vinale, F., S. Sivasithamparam, E.L. Ghisalberti, R. Marra y S.L. Woo. 2008. *Trichoderma*-plant-pathogen interactions. Soil Biol. Biochem. 40, 1-10.
- Vinale, F., R. Marra, F. Scala, E.L. Ghisalberti, M. Lorito y K. Sivasithamparam. 2006. Major secondary metabolites produced by two commercial *Trichoderma* strains active against different phytopathogens. Lett. Appl. Microbiol. 43, 143-148.
- Viterbo, A., O. Ramot, L. Chernin e I. Chet. 2002. Significance of lytic enzymes from *Trichoderma* spp. in the biocontrol of fungal plant pathogens Ant. van Leeuw. 81, 549-556.
- Watanabe, N., T. Akiba, R. Kanai y K. Harata. 2006. Structure of an orthorhombic form of xylanase II from *Trichoderma reesei* and analysis of thermal displacement. Acta Crystallogr. 62, 784-792.
- Windham, M.T., Y. Elad y R. Baker. 1986. A mechanism for increased plant growth induced by *Trichoderma* spp. Phytopathol. 76, 518-521.
- Woo, S.L., F. Scala, M. Ruocco y M. Lorito. 2006. The molecular biology of the interactions between *Trichoderma* spp., phytopathogenic fungi, and plants. Phytopathol. 96:181-185.
- Xiao-Yan, S., S. Qing-Tao, X. Shu-Tao, C. Xiu-Lan, S. Cai-Yun y Z. Yu-Zhong. 2006. Broad-spectrum antimicrobial activity and high stability

- of Trichokonins from *Trichoderma koningii* SMF2 against plant pathogens. FEMS Microbiol. Lett. 260, 119-125.
- Yedidia, I., A. Srivastva, Y. Kapulnik e I. Chet. 2001. Effect of *Trichoderma harzianum* on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants. Plant Soil. 235, 235-242.
- Yedidia, I., N. Benhamou, Y. Kapulnik y I. Chet. 2000. Induction and accumulation of PR proteins activity during early stages of root colonization by the mycoparasite *Trichoderma harzianum* strain T-203. Plant Physiol. Biochem. 38, 863-873.
- Zhou, X., S. Xu y L. Liu. 2007. Degradation of cyanide by *Trichoderma* mutants constructed by restriction enzyme mediated integration (REMI). Biores. Tech. 98, 2958-2962.

Modelos digitales de elevación como fuente de datos para estudios de recursos naturales

Luis Joel Martínez M.¹

Resumen

La información del relieve es fundamental para la toma de decisiones en aspectos ambientales, de planificación, uso, conservación y manejo de los recursos naturales. En este sentido su caracterización es fundamental y tradicionalmente se ha realizado en forma cualitativa mediante interpretaciones de fotografías aéreas con verificación en campo. Actualmente la disponibilidad de modelos digitales de elevación integrados con los sistemas de información geográfica tiene un potencial importante para definir y caracterizar el relieve en forma cuantitativa. El objetivo de este trabajo es ilustrar el uso de los modelos digitales de elevación del sistema *ASTER* (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) para calcular parámetros como la curvatura, pendiente, aspecto, el índice de humedad topográfico, la radiación solar y la importancia de estos parámetros dentro del modelamiento de uso y manejo de los recursos naturales.

Palabras claves: DEM, SIG, relieve.

1. Departamento de Agronomía, Coordinación de la Maestría en Geomática, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (Colombia). ljmartinezm@unal.edu.co

Introducción

Los modelos espaciales se han convertido en un componente importante de la labor científica y un apoyo fundamental a la toma de decisiones, con una gran gama de aplicaciones que incluye las ciencias ambientales, sociales, económicas, físicas, biológicas (Wegener, 2001). Un modelo digital de elevación (DEM) representa un arreglo regular de puntos de elevación (Chang, 2004). Esta representación es un avance importante debido a que ha permitido avanzar de la forma tradicional de modelar la superficie terrestre en dos dimensiones a una más cercana a la realidad que es en tres dimensiones. Los DEM son una fuente de datos que permiten calcular parámetros de la superficie del terreno que son útiles en diferentes campos como hidrología, la geomorfología, los estudios de suelos, los riesgos y amenazas, el mapeo de la erosión, modelamiento de glaciares, climatología y en forma indirecta estudios de ecología, vegetación, agricultura y uso de la tierra, entre otros.

Los DEM permiten caracterizar en forma cuantitativa el relieve que es un factor formador del suelo y en consecuencia, incide en sus propiedades las cuales determinan la aptitud de uso, el manejo, la conservación y los procesos de degradación como la erosión, las remociones en masa y los deslizamientos, entre otros. Tradicionalmente, la identificación de formas del terreno y su caracterización se hace en forma cualitativa mediante interpretaciones de fotografías aéreas con verificación en campo. La disponibilidad de modelos digitales de elevación (DEM) integrados con los sistemas de información geográfica tiene un potencial importante para definir y caracterizar el relieve de forma cuantitativa. A partir de la relación entre el suelo y el relieve es posible utilizar los DEM para generar estimaciones de algunas características edáficas en forma indirecta. De acuerdo con Lagacherie y McBratney (2007), el mapeo digital de suelos busca generar sistemas de información de suelos que puedan ser utilizados por los usuarios para tomar decisiones referidas a problemas agrícolas o ambientales. El uso de la altura, la pendiente, el aspecto y la curvatura como criterios diferenciadores, pueden generar resultados satisfactorios para la caracterización del terreno, particularmente en estudios a escala general. Sin embargo, en áreas con fisiografía muy compleja, se requiere complementar los DEM con otras fuentes de datos (Dobos *et al.*, 2000).

Los DEM y las imágenes de sensores remotos fueron utilizados para estudiar el drenaje del suelo, encontrando una alta correlación entre las clases de drenaje establecidas con base en imágenes de alta resolución (Liu *et al.*, 2008). Smith *et al.* (2006) consideran que las características del terreno como la pendiente, el aspecto y la curvatura, calculadas a partir de los DEM, son parámetros claves para el mapeo digital de los suelos, sin embargo la exactitud de los resultados depende de la resolución espacial de los DEM y del tamaño del área de vecindad que se considere. Para predecir las características hidromórficas del suelo, se han desarrollado modelos utilizando DEM para estimar algunos parámetros requeridos, encontrando que a mayor resolución del DEM la predicción es mejor (Chaplot *et al.*, 2000). En una investigación en Kansas para diferenciar clases de suelos se encontró que el uso combinado de imágenes SPOT y DEM, utilizando una transformación canónica de los datos, permitía realizar mapeo de suelos de segundo orden (Su *et al.*, 1990). En Colombia, se tienen avances sobre el uso de los DEM e imágenes de satélite para el análisis de problemas referidos al uso, manejo y conservación de las tierras (Buitrago, 2010; Martínez y Munar, 2010; García y Martínez, 2010; Martínez, 2006; Martínez, 2008; Martínez *et al.*, 2009).

En el caso del mapeo predictivo de la vegetación, que se basa en la teoría ecológica de los nichos y en el análisis de gradientes de vegetación, se considera que se pueden efectuar estimaciones de la distribución de la vegetación a partir del análisis de la distribución espacial de las variables ambientales que correlacionan con la distribución de las plantas (Franklin, 1995). En algunos enfoques metodológicos para determinar la distribución de la vegetación y la abundancia se incluyen variables que no tienen influencia fisiológica directa sobre el crecimiento de las especies pero que correlacionan con parámetros como la temperatura, humedad del suelo, la precipitación entre las cuales se tienen la altitud, el aspecto de la pendiente, posición relativa dentro del paisaje, latitud y longitud, entre otros (McVicar *et al.*, 2010). Los DEM se consideran con gran potencial para el análisis de los factores de hábitat que influyen en la distribución de la vegetación basados en el análisis de las características del terreno (Hoersch *et al.*, 2002).

Los DEM se pueden obtener de diferentes fuentes. Algunos se realizan a partir de curvas a nivel o puntos que tengan la altura como atributo y

mediante métodos de interpolación se genera el DEM. También existen los sistemas remotos de cubrimiento casi global como el InSAR que es un radar interferométrico de apertura sintética que estuvo abordo de la bordo del *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* en febrero de 2000 y cubrió cerca del 80% de la superficie terrestre generando DEM con resoluciones de 90 a 30 m. Por otra parte se tiene que el sistema ASTER que está en el satélite Terra de la NASA y que genera los DEM con resolución de 30m con una cobertura mayor que el *SRTM*.

Considerando la creciente demanda de información geográfica para el cumplimiento de los objetivos ambientales, de sostenibilidad y de competitividad, que son la base del desarrollo de nuestro país, en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia se realizan investigaciones dentro del programa de Maestría en Geomática con el objetivo de desarrollar métodos que integren las bases científicas de la sostenibilidad de los recursos naturales con avances tecnológicos de la geomática. En este trabajo se presentan algunos resultados que indican la utilidad de los DEM para la caracterización cuantitativa del relieve de manera que los parámetros obtenidos puedan entrar a alimentar los diversos modelos espaciales que se requieren para la toma de decisiones.

Materiales y métodos

Con base en un modelo digital de elevación del sistema *ASTER* con resolución de 30 m, correspondiente a parte del departamento de Cundinamarca comprendido entre las coordenadas $74^{\circ} 37' 2'' W$, $4^{\circ} 29' 10'' N$ y $74^{\circ} 23' 18'' W$, $4^{\circ} 43' 30'' N$ (Figura 1), se calcularon los parámetros geomorfométricos: pendiente, curvas de nivel, índice topográfico de humedad (TWI), curvatura y radiación (Olaya, 2009; Böhner y Antoníc, 2009). El uso de los parámetros se integra con edáficos y climáticos en una aplicación a la zonificación de aptitud de uso de las tierras para el cultivo granadilla. Para estos análisis se utilizaron los *software* libres SAGAV. 2.0.5 (SAGA *User Group Association*. 2011) y el *software* comercial ArcGis® V. 10 (ESRI, 2011).

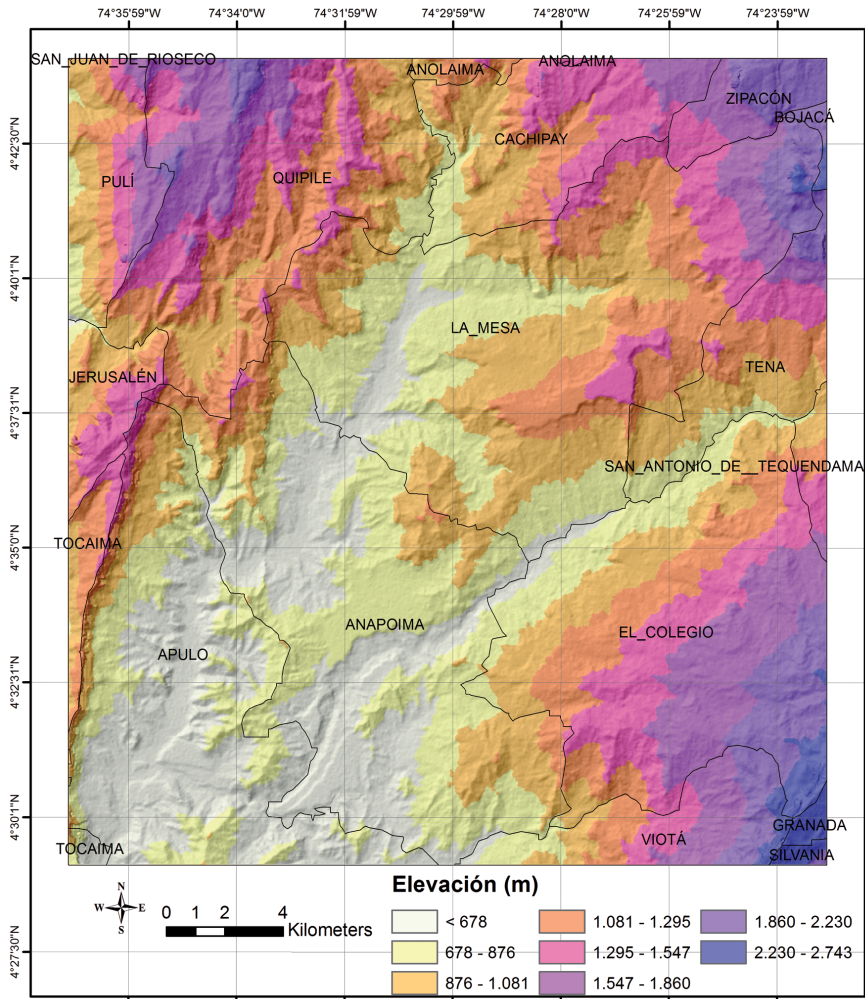


Figura 1. Elevación del área de estudio.

Resultados

Elevación del terreno

En las zonas tropicales la altura es un factor clave en los estudios de zonificación de aptitud de las tierras debido a que presenta una relación inversa con la temperatura, influyendo de esta manera en el comportamiento y producción de los cultivos y en la distribución de la vegetación. En el área de estudio la altura varía entre 383 y 2.743 msnm, con predominio de las áreas con altura inferior a 1.295 msnm. La información acerca de

la posición, los atributos del terreno y de las características del paisaje en los campos agrícolas es muy útil para la interpretación de mapas de rendimiento (Sudduth *et al.*, 1997) y para estudios de zonificación de áreas por su aptitud de uso (Martínez y Munar, 2010). Estudios realizados en diferentes cultivos muestran que existe correlación entre el rendimiento, las características del suelo y las características topográficas extraídas de los DEM (Kravchenko y Bullock, 2002; Kaspar *et al.*, 2003), también se ha encontrado que la información topográfica extraída de un DEM, sola o acompañada de algunas propiedades edafológicas, puede explicar la variabilidad del rendimiento en cultivos de maíz (*Zea mays*) y soya (*Glycine max*) Kravchenko y Bullock (2000). En la zona de estudio se encontró que aunque la producción de mango es mayor en áreas bajas, la calidad es superior en alturas cercanas a 1.000 msnm, y áreas con alturas mayores, se consideran no aptas para el establecimiento de este cultivo. En estudios realizados por Valbuena *et al.* (2008) se encontró una relación inversa entre la altura y la producción del mango, explicada también por la variabilidad espacial de las propiedades del suelo.

La determinación de la altura del terreno tradicionalmente se representa en los mapas topográficos mediante curvas a nivel que son líneas conformadas por puntos de igual altura. Los DEM permiten representar de forma más fácil la elevación del terreno mediante píxeles que tienen coordenadas X, Y y en Z se representa la altura. Para obtener las curvas el método tradicional implica nivelación del terreno o métodos fotogramétricos. Actualmente, los DEM permiten generar las curvas de nivel a diferentes intervalos de distancia (Figura 2), lo cual es útil en diversas aplicaciones.

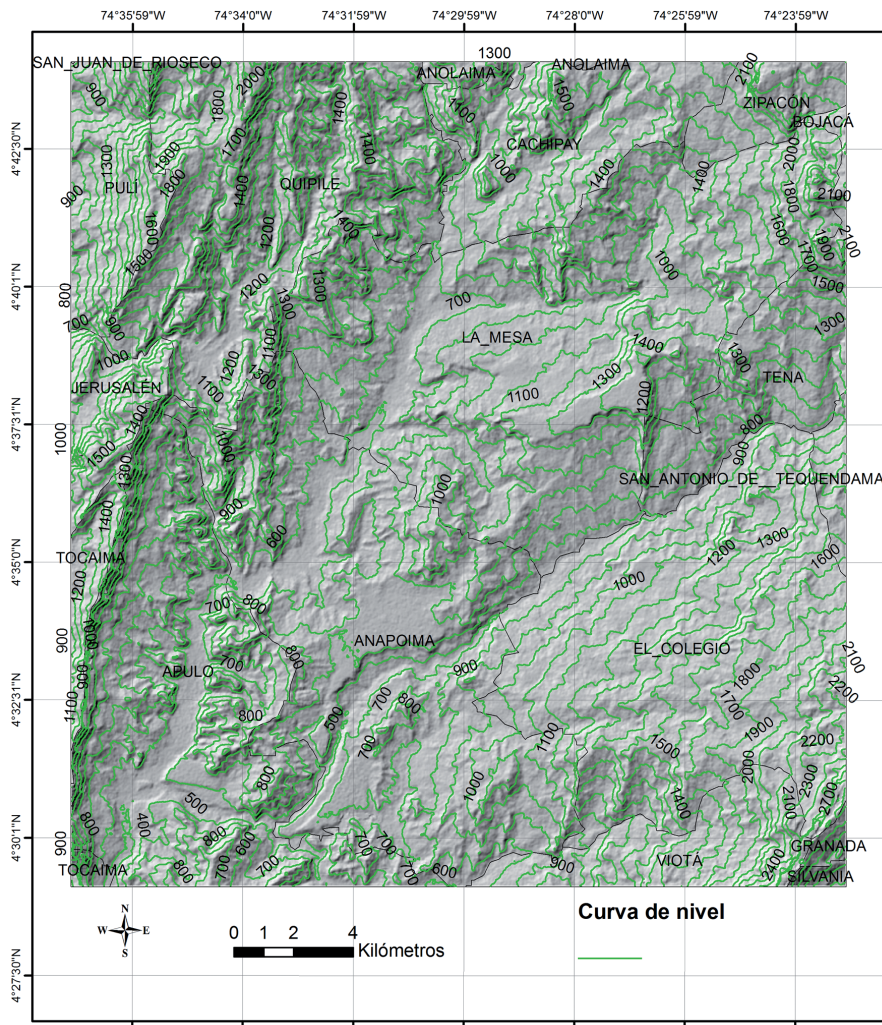


Figura 2. Curvas de nivel calculadas a partir del DEM a intervalos de 100 m.

Pendiente

La pendiente es definida como la tangente de un plano con relación a la superficie topográfica (Burrough, 1986). Si se define la elevación (Z) de un punto en la superficie de la tierra como una función de la ubicación (X, Y), entonces la pendiente (S) se define como una función derivada de primer orden de la superficie en las direcciones X y Y (Chang, 2004).

$$S = \sqrt{(\partial_z/\partial_x)^2 + (\partial_z/\partial_y)^2} \quad (1)$$

La pendiente es un factor de alta incidencia en los análisis de aptitud agrícola de las tierras por su influencia en las facilidades de mecanización y accesibilidad. Igualmente, es determinante en procesos erosivos, remoción en masa, hidrología y en general, es un parámetro requerido en muchos de los modelos ambientales. El método más eficiente para calcular la pendiente en un ambiente de sistemas de información geográfica es mediante el uso de los DEM (Warren *et al.*, 2004), teniendo como base la diferencia de altura se realizan los cálculos utilizando alguno de los algoritmos existentes. Tradicionalmente, la pendiente se presenta en los mapas de suelo como una clase, sin embargo, solo indica una estimación general de lo que se considera es la pendiente dominante de la unidad de mapeo. En la realidad, la pendiente presenta gran variación dentro de las unidades de mapeo, en consecuencia el cálculo a partir de los DEM permite una estimación más cercana a la realidad.

Como se muestra en la Figura 3, en el mapa de suelos a escala 1:100.000, la unidad de mapeo de suelos MWVe es considerada homogénea con una pendiente clase e (25-50%), sin embargo, cuando la pendiente se calculó a partir del DEM se encontró que hay una gran variabilidad dentro de la unidad de mapeo y que la clase de pendiente dominante es la d (12-25%), solo áreas pequeñas tienen pendiente e (25-50%). Una tendencia similar se encontró en otras unidades de mapeo.

El cálculo de la pendiente con base en los DEM se basa en la medida de la tasa de cambio de la inclinación de un píxel con relación a los vecinos, para lo cual, existen diferentes algoritmos como el de Fleming y Hoffer, como también Ritter que consideran los cuatro píxeles vecinos para el cálculo y el de Horn que considera los 8 vecinos (Chang, 2004). Lo anterior, implica que se pueden obtener resultados diferentes dependiendo del algoritmo que cada *software* utiliza y también, según el tamaño del píxel utilizado (Warren *et al.*, 2004).

Índice topográfico de humedad (TWI)

En el caso hidrológico el relieve influye en forma directa en la escorrentía, acumulación, infiltración y en general, en el flujo hídrico. El movimiento del agua es principalmente gobernado por la gravedad y modificado en algún grado por las propiedades del material por donde fluye el agua. El

efecto de la gravedad puede ser modelado con una buena aproximación mediante los DEM.

El TWI es un parámetro que describe la tendencia de una parte del terreno, representado por un píxel, a acumular agua. Se calcula como una derivada

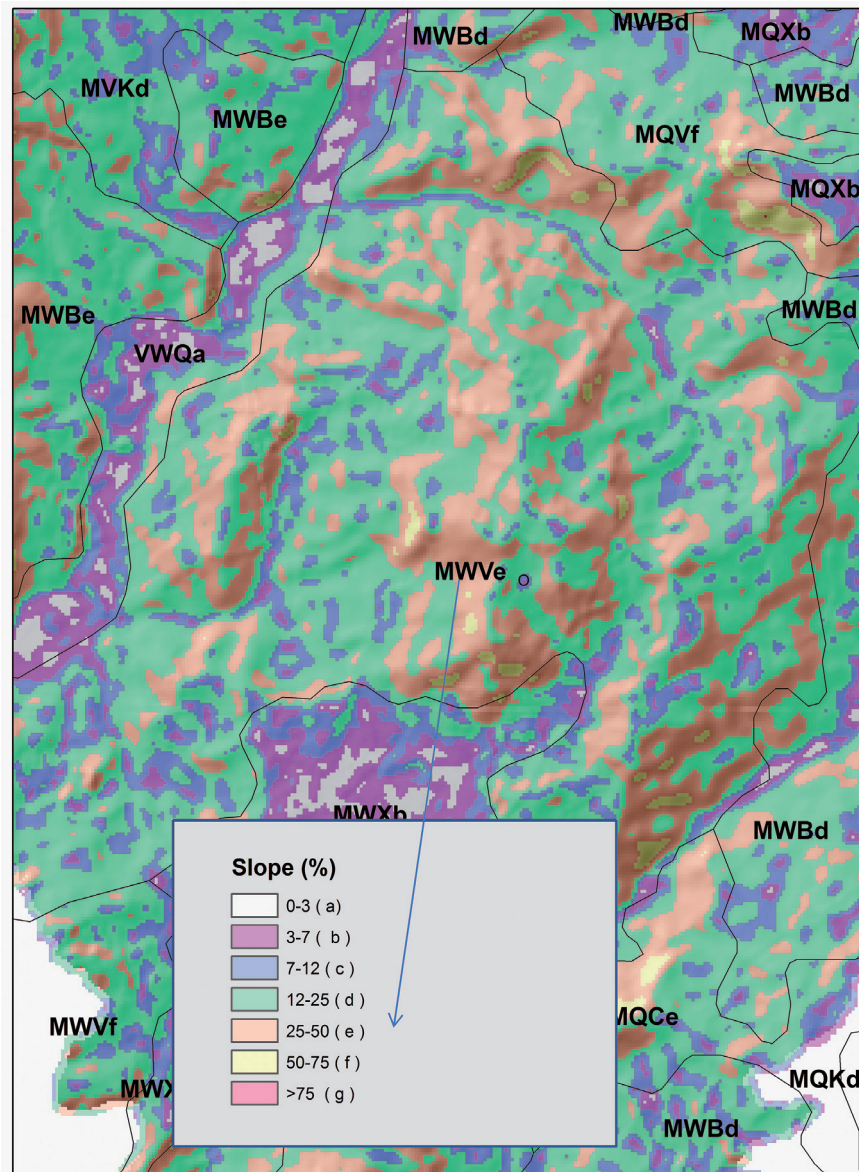


Figura 3. Comparación entre las clases de pendiente obtenidas a partir del DEM (colores) y las del mapa de suelos 1:100.000 (líneas).

de segundo orden de los DEM. También conocido como índice topográfico compuesto (Quinn *et al.*, 1991), y se define como (Olaya, 2009).

$$TWI = \ln \left[\frac{A}{\tan(\beta)} \right] \quad (2)$$

donde A es el área (m²) específica de contribución de la cuenca, y β es el ángulo de la pendiente local del terreno (Olaya, 2009). Se basa en una consideración del balance de masa, donde el área total de la cuenca es un parámetro de tendencia a recibir agua y la pendiente local y la longitud de los drenajes son parámetros de tendencia a evacuar el agua. El TWI no considera las condiciones de infiltración y transmisividad. Es un índice muy poderoso para diversas aplicaciones referidas a la vegetación, las propiedades de los suelos, remociones en masa y la hidrología en áreas que no son planas (Gruber y Peckham, 2008).

En la Figura 4, se presentan los resultados del TWI. Se observan las zonas que presentan valores altos de este índice que corresponden a las formas cóncavas y a las partes bajas y planas del terreno con mayor capacidad de acumulación de agua; igualmente, se observan las áreas con valores bajos del TWI que corresponden a las formas convexas con menor capacidad de acumulación de agua. Se utiliza para cuantificar la incidencia de la topografía

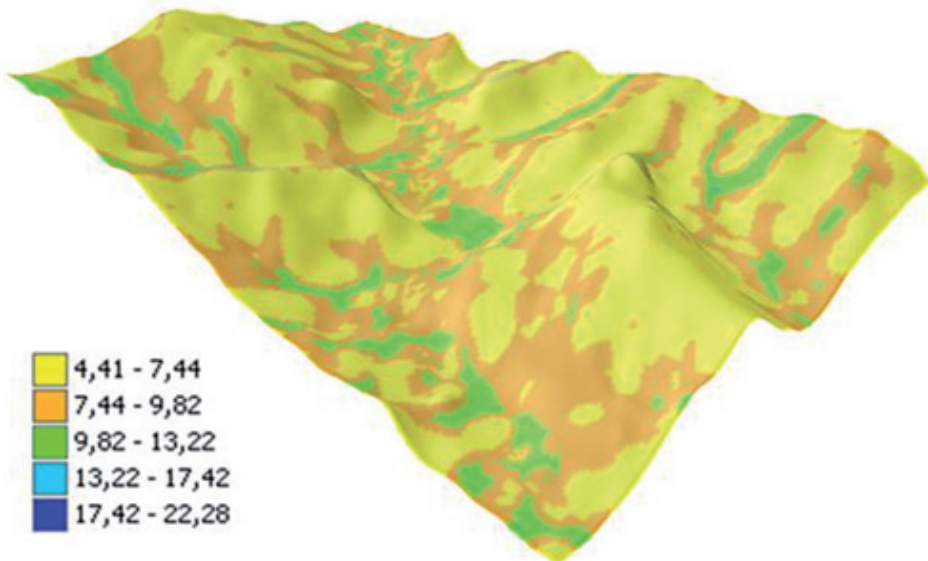


Figura 4. Cálculo del índice topográfico de humedad (TWI) a partir del DEM.

en los procesos hidrológicos, combinándolo con la pendiente. Generalmente, las partes planas y las partes bajas de los valles presentan valores altos de TWI, mientras que las áreas empinadas muestran valores menores.

Curvatura

La curvatura es la segunda derivada de la superficie. En la Figura 5 se presenta la curvatura del área de estudio. Los valores positivos de curvatura

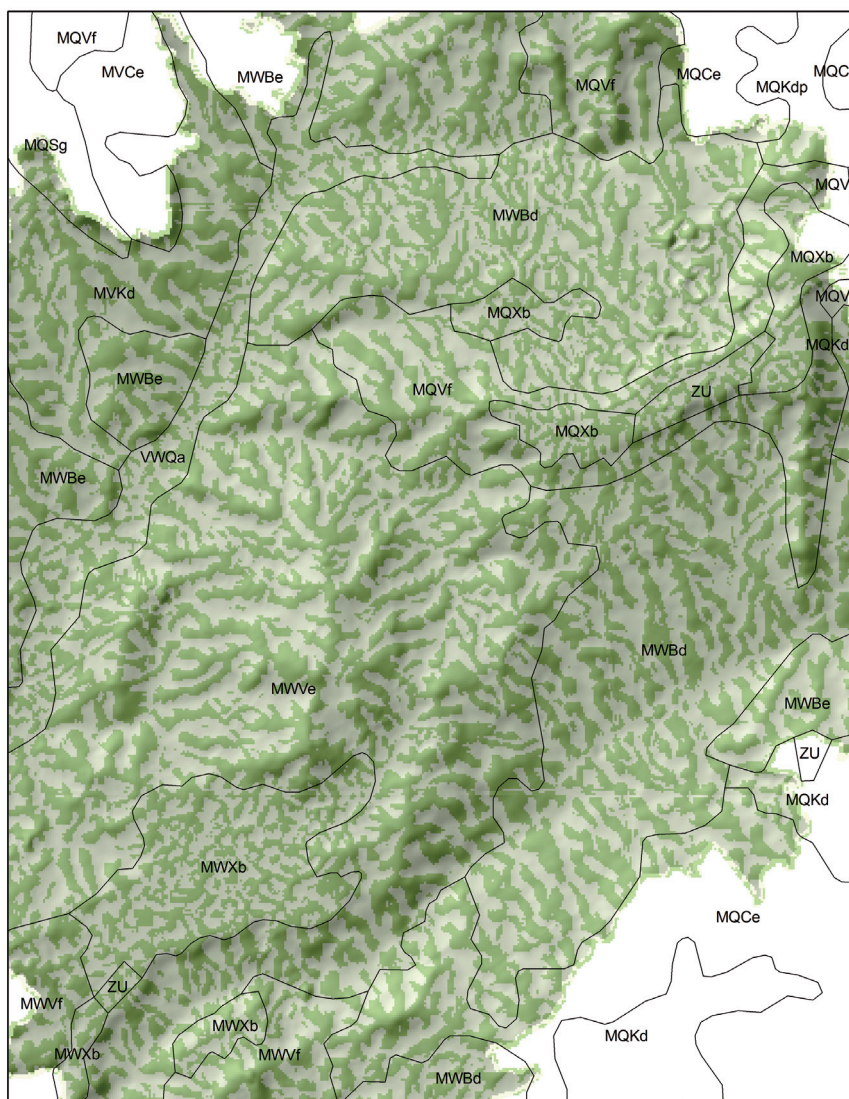


Figura 5. Cálculo de la curvatura a partir del DEM mostrando formas cónicas y convexas.

indican que la superficie es convexa, los valores negativos corresponden a superficies cóncavas y la curvatura cero se refiere a superficies planas. La curvatura tiene aplicaciones importantes en la definición de unidades geomorfológicas, siendo útil para análisis referidos a la hidrología, a la erosión, al uso, manejo y conservación de las tierras. Las formas cóncavas se asocian con áreas de acumulación de materiales y por consiguiente, con suelos más profundos, más fértiles y con mayor contenido de humedad, mientras que las formas convexas son principalmente de erosión, presentan suelos superficiales menos fértiles y con menor contenido de humedad.

Otra aplicación importante de la curvatura es que funciona como complemento de los estudios de suelos porque permite aumentar el detalle de las unidades cartográficas, que son definidas generalmente por criterios geomorfológicos, en este sentido, la posibilidad de separar las formas cóncavas, convexas y rectas se considera una parte importante para el mejoramiento de los estudios de suelos existentes.

Radiación

La radiación solar es fundamental en la mayoría de procesos físicos y biofísicos debido a su función en los balances hídricos y de energía. Para diversas aplicaciones referidas al medio ambiente, clima, agricultura, vegetación, ecología y otros campos; se requiere tener mapas de la radiación solar que llega a la superficie para diferentes áreas del territorio, pero en la mayoría de los casos, solo se dispone de datos para unos pocos puntos donde se encuentran ubicados los equipos para la medición. En Colombia, se tienen muy pocas estaciones que miden ese parámetro y no es posible efectuar interpolación entre puntos, debido a que dentro de los paisajes, la topografía es el principal factor que determina la variabilidad espacial de la radiación por efecto de la altura, orientación (pendiente y aspecto) y de las sombras (Fu y Rich, 1999).

Los modelos espaciales son una alternativa importante para estimar la radiación en áreas y para esto, se han desarrollado algoritmos de cálculo como parte de los programas computacionales de sistemas de información geográfica ArcGIS, SAGA y GRASS, entre otros. Para el cálculo de la radiación a partir de DEM, se utilizan algoritmos que consideran las

condiciones atmosféricas, la elevación, la orientación de la superficie y la influencia de la topografía vecina (Fu y Rich, 2002). Para la estimación del promedio diario de radiación neto se han propuesto métodos a partir de DEM e imágenes MODIS (Di Long y Singh, 2010), demostrando la importancia de las características topográficas en la variación de la radiación.

En la Figura 6 se muestra el cálculo de la radiación calculada partir del DEM. Como se observa, aunque el área de estudio es relativamente pequeña, se encontró una gran variabilidad espacial de la radiación,

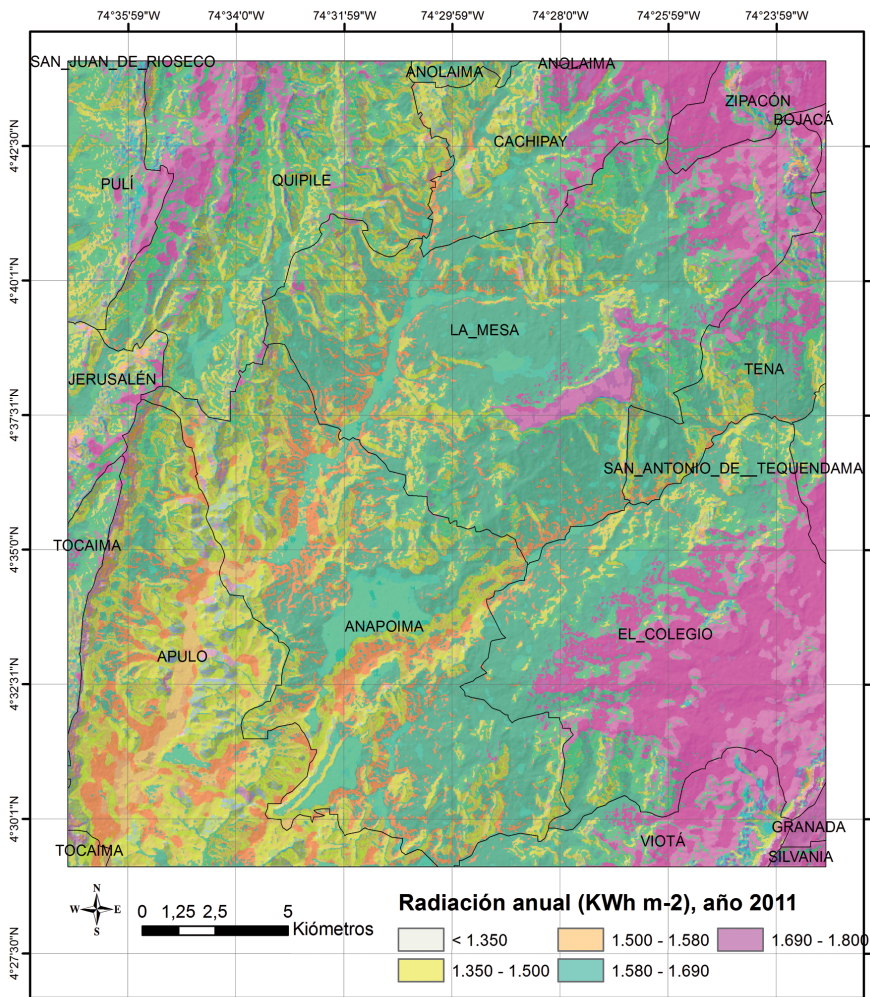


Figura 6. Resultados del cálculo de la radiación a partir de un DEM.

con valores entre 1.360 y 1.800 KWh m⁻². La radiación es un parámetro fundamental para los estudios de zonificación por aptitud de uso de las tierras, que normalmente no se considera por la dificultad en su cálculo. Estos resultados coinciden con los presentados por el Ideam (2005), lo que amerita estudios más detallados para determinar métodos de cálculo de la radiación para diferentes zonas del país.

Integración de los parámetros calculados en los DEM dentro de un modelo de zonificación de aptitud de las tierras para granadilla

En la Figura 7 se muestra la zonificación del área de acuerdo con la calidad de las tierras para el cultivo de la granadilla (Martínez *et al.*, 2009). Los parámetros obtenidos a partir de los DEM se integraron con otros de tipo edáfico y climático para definir las clases de calidad de las tierras: baja, correspondiente a áreas cuyos limitantes impiden que se logre una producción sostenible y competitiva, las áreas de calidad media implican una mayor aplicación de insumos para lograr una producción apropiada y las áreas de calidad alta presentan las mejores condiciones para el desarrollo del cultivo.

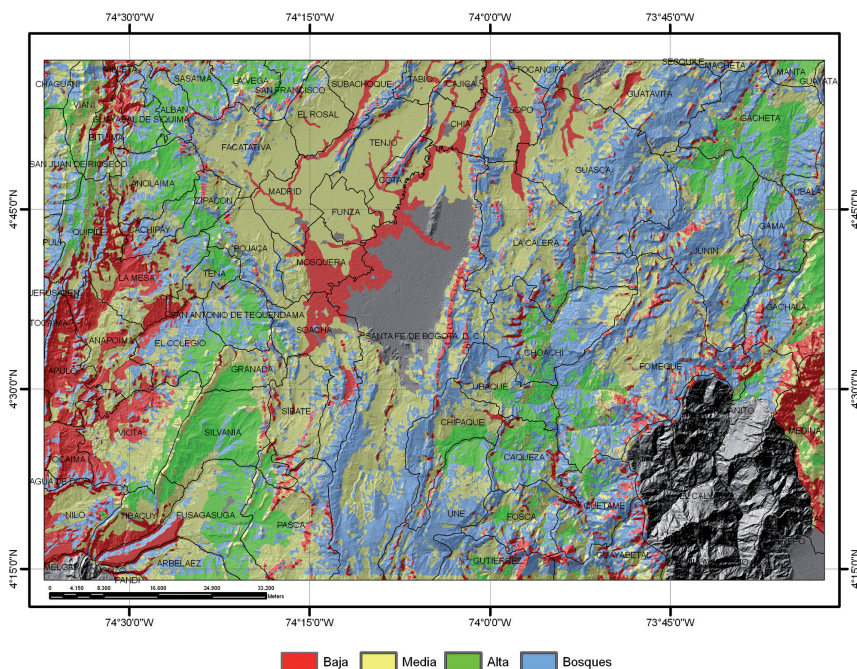


Figura 7. Zonificación de áreas según su aptitud para el cultivo de granadilla.

Literatura citada

- Böhner, J. y O. Antoníc. 2009. Land-surface parameters specific to topo-climatology. pp. 195-227. En: Hengl, T. y H. Reuter (eds.). *Geomorphometry: concepts, software, applications*. Elsevier, Amsterdam, Holanda.
- Buitrago, Y.J. 2010. Desarrollo de un modelo de visualización de erosión hídrica en el municipio de Samaca (Boyacá). Estudio de caso. Tesis de maestría. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Burrough, P.A. 1986. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Clarendon Press, Oxford, UK.
- Chang, K. 2004. *Introduction to geographic information system*. Mc Graw Hill, New Delhi.
- Chaplot, V., C. Walter y P. Curmi. 2000. Improving soil hydromorphy prediction according to DEM resolution and available pedological data. *Geoderma* 97(3-4), 405-422.
- García, J. y L.J. Martínez M. 2010. Método para identificación de cultivos de arroz (*Oryza sativa* L.) con base en imágenes de satélite. *Agron. Colomb.* 28(2), 281-290.
- Gruber, S. y S. Peckham. 2008. Land-surface parameters and objects in hydrology. En: Hengel T. y H. Reuter (eds.). *Geomorphometry: Concepts, software, applications*. JRC, Ispra, Italia.
- Hoersch, B., G. Braun y U. Schmidt. 2002. Relation between landform and vegetation in alpine regions of Wallis, Switzerland. A multiscale remote sensing and GIS approach. *Comput. Environ. Urban Syst.* 26, 113-139.
- IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. 2005. *Atlas de radiación de Colombia*. Bogotá.
- Kaspar, T.C., T.S. Colvin, D.B. Jaynes, D.L. Karlen, D.E. James, D.W. Meek, D. Pulido y H. Butter. 2003. Relationship between six years of corn yields and terrain attributes. *Precis. Agric.* 4, 179-192.
- Kravchenko, A.N. y D.G. Bullock. 2000. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soils properties. *Agron. J.* 92, 75-83.
- Kravchenko, A.N. y D.G. Bullock. 2002. Spatial variability of soybean quality data as a function of field topography. I. Spatial data analysis. *Crop. Sci.* 42, 804-815.

- Lagacherie, P. y A.B. McBratney. 2007. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping. pp. 3-25. En: Lagacherie, P., A.B. McBratney y M. Voltz (eds.). Digital soil mapping: an introductory perspective. Elsevier, Amsterdam, Holanda.
- Liu, J., E. Pattey, M.C. Nolin, J.R. Miller y O. Ka. 2008. Mapping within-field soil drainage using remote sensing, DEM and apparent soil electrical conductivity. *Geoderma* 143, 261-272.
- Martínez, L.J., S.A. García y R. Sanabria. 2009. Zonificación de las especies pasifloráceas comerciales en Colombia. pp. 19-44. En: Miranda, D., G. Fischer, C. Carranza, S. Magnitskiy, F. Casierra-Posada, W. Piedrahita y L.E. Flórez (eds.). Cultivo, poscosecha y comercialización de pasifloras en Colombia. Maracuyá, granadilla, gulupa y curuba. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá.
- Martínez, L.J. 2006. Modelo para evaluar la calidad de las tierras agrícolas. *Agron. Colomb.* 24, 96-110.
- Martínez, L.J. 2008. Modelamiento espacial como base para toma de decisiones en agricultura. pp. 40-41. En: XIII Simposio de la Sociedad Latinoamericana de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial (SELPER), Programas y Resúmenes. La Habana.
- Martínez, L.J. y O.J. Munar. 2010. Digital elevation models as data source for land suitability analysis in Colombia. En: 30th EARSEL Symposium, Remote Sensing for Science, Education, and Natural and Cultural Heritage, Paris.
- McVicar, T.R., T.G. Van Niel, L. Lingtao, W. Zhongming, Y. Qinke, L. Rui y J. Feng. 2010. Parsimoniously modelling perennial vegetation suitability and identifying priority areas to support China's re-vegetation program in the Loess Plateau: Matching model complexity to data availability. *Forest Ecol. Managem.* 259, 1277-1290.
- Olaya, V. 2009. Basic land-surface parameters. pp. 141-171. En: Hengl, T. y H. Reuter (eds.). 2009. *Geomorphometry: concepts, software, applications*, Elsevier, Amsterdam, Holanda.
- Quinn, P., Beven, K. Chevallier y P. Planchon. 1991. The prediction of hillslope paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models. *Hydrol. Proces.* 5, 59-79.
- SAGA, User Group Association. 2011. System for automated geoscientific analyses. En: www.saga-gis.org; consulta: enero de 2012.

- Smith, M., A. Zhu, J. Burt y C. Stiles. 2006. The effects of DEM resolution and neighborhood size on digital soil survey. *Geoderma* 137(1-2), 58-69.
- Su, H., E. Kanemasu, M. Ransom y S. Yang. 1990. Separability of soils in a tallgrass prairie using SPOT and DEM data. *Remote Sens. Environ.* 33(3), 157-163.
- Sudduth, K.A., J.W. Hummel y S.J. Birrel. 1997. Sensors for site-specific management. pp. 183-210. En: *The state of site-specific management for agricultura*. ASA; CSSA; SSSA, Madison, WI.
- Valbuena, C., L.J. Martínez y R. Giraldo. 2008. Variabilidad espacial del suelo y su relación con el rendimiento de mango (*Mangifera indica* L.). *Rev. Bras. Frutic.* 30(4), 1146-1151.
- Warren, S.D., M.G. Homhmann, K. Auerswald y H. Mitsova. 2004. An evaluation of methods to determine slope using digital elevation data. *Catena* 58, 215-233.
- Wegener, M. 2001. Parte 1. Spatial models and GIS. pp. 3-20. En: Fotheringham A. y M. Wegener (eds.). *Spatial model and GIS, new potential and new models*. TJ International, Padstow, Australia.

Metodología para la evaluación del riesgo ambiental por metales pesados en el subsector hortofrutícola en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá

Fabio R., Leiva¹

Amanda Lozano^{2,4}

Adela Correa³

Resumen

Los metales pesados (MP) se encuentran naturalmente en el suelo, en cantidades variables de acuerdo con la génesis del mismo, pero en ciertas cantidades pueden ser contaminantes del ambiente y resultar tóxicos para los humanos. Los MP son agregados al suelo por actividades como la minería, la aplicación de fertilizantes fosfóricos o el riego con aguas contaminadas, conllevando efectos nocivos en organismos vivos, incluyendo plantas cultivadas y humanos. En Colombia, aún no se ha evaluado ni caracterizado la situación de contaminantes químicos de los productos hortofrutícolas (Conpes 3514 de 2008). En este contexto, el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) solicitó a la Universidad Nacional de Colombia desarrollar una metodología de

1. Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (Colombia).
2. Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (Colombia).
3. Laboratorio de Suelos, Subdirección de Agrología, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá (Colombia).
4. Autor de correspondencia. alozanoy@yahoo.com; acorreas_7@hotmail.com

evaluación de riesgo ambiental para plaguicidas, MP y microorganismos patógenos. El objetivo de este artículo es presentar avances de esa metodología con respecto a MP en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, incluyendo algunos resultados de la investigación.

Palabras clave: *elementos traza, contaminación, sostenibilidad, cultivos.*

Introducción

Los metales pesados (MP) son elementos químicos que tienen una densidad relativamente alta y se encuentran naturalmente en el suelo, en cantidades variables de acuerdo con la génesis del mismo. Por ser constituyentes primarios a nivel de trazas de la materia permanecen en diferentes formas en el ambiente y pueden transportarse entre el aire, el agua, los sedimentos y el suelo. Sin embargo, cuando se encuentran en ciertas cantidades (algunas veces en cantidades relativamente bajas) en organismos como las plantas cultivadas, pueden causar toxicidad en estas o en los organismos que las consumen. Además, al ser ingeridos o aspirados (aquellos metales en forma de gases) en ciertas cantidades por los seres humanos representan riesgo de enfermedades como bronquitis, cáncer, problemas hepáticos, alteraciones neurológicas, infertilidad, hipertensión, enfermedades vasculares y óseas (García y Dorronsoro, 2005).

El contenido de MP de los suelos debería ser función únicamente de su material de origen y de los procesos edafogenéticos que intervienen en su formación, pero la actividad humana incrementa el contenido de estos elementos en el ambiente (suelos, agua y aire) en cantidades que llegan a convertirse en factor de riesgo (EPA, 2007). Los MP son agregados al suelo por procesos tales como la explotación minera, el riego con aguas contaminadas o residuales de la actividad industrial, la aplicación de fertilizantes o abonos con residuos de metales pesados como impurezas.

El concepto de riesgo se define como la probabilidad de que ocurran efectos dañinos en un ecosistema o en la salud humana como resultado de la exposición a un factor de estrés (agente físico, químico o biológico capaz de inducir daño). Por su parte, la evaluación de riesgo es un proceso

sistemático que evalúa la posibilidad de que ocurran o estén ocurriendo efectos ecológicos adversos como resultado de la exposición a uno o más factores de estrés (EPA, 1998).

Algunos de los elementos considerados metales pesados no tienen función biológica conocida como el plomo, Pb; el cadmio, Cd; el mercurio, Hg; el antimonio, Sb y el estaño, Sn; otros son oligoelementos como el cobre, Cu; el cinc, Zn; el molibdeno, Mo; hierro, Fe; cromo, Cr; el manganeso, Mn; el níquel, Ni y el selenio, Se. Además, los MP y los compuestos metálicos tienen características únicas que deben ser consideradas en un estudio de riesgo, con comportamientos diferentes a las sustancias orgánicas.

Los siguientes principios fundamentales deben tenerse en cuenta en la evaluación de riesgo de MP (EPA, 2007):

- i) Los metales son constituyentes naturales del medio ambiente y su concentración depende de la situación geográfica;
- ii) todos los ambientes naturales poseen mezclas de metales y también son introducidos en mezcla;
- iii) algunos metales son esenciales para la salud de los seres humanos, plantas, animales y microorganismos;
- iv) la química de los metales afecta de gran manera su comportamiento en el ambiente y los efectos sobre los receptores humanos y ecológicos;
- v) la toxicidad de los metales depende del tipo de metal, de su especie química y de la habilidad del organismo para regular su metabolismo o almacenarlo.

Según el Conpes 3514 de 2008 la producción agrícola en Colombia requiere un enfoque integral y preventivo a lo largo de toda la cadena agroalimentaria, y en el caso particular de los productos hortofrutícolas, aún no se ha evaluado ni caracterizado la situación de contaminantes químicos. Ante esta situación, el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial solicitó a la Universidad Nacional de Colombia desarrollar una metodología de evaluación de riesgo ambiental. El objetivo de este artículo es presentar avances de la propuesta metodológica con respecto a MP en el en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, incluyendo algunos resultados de esa investigación.

Métodos

La propuesta metodológica de evaluación de riesgo se apoya en los procedimientos de la EPA (1998). La metodología general para la investigación incluyó trabajo individual y análisis en grupo del equipo de expertos del proyecto, consulta a otros expertos (incluyendo dos internacionales), revisión de literatura, muestreo en campo de suelos, aguas y partes vegetales de cultivos para análisis de laboratorio y un estudio de caso.

Se realizó una amplia revisión de literatura sobre diferentes metodologías utilizadas a nivel mundial y nacional para la evaluación de riesgo por contaminantes en la producción agrícola. En el caso de MP, se realizó una primera selección de modelos con posible aplicación para evaluar el riesgo asociado con la contaminación para cultivos hortofrutícolas, a partir de información disponible en publicaciones científicas y en reportes en la web, considerando la descripción general de las bases del modelo, los datos de entrada necesarios y la información de salida. Para seleccionar el mejor modelo a usar en la metodología de evaluación de riesgo a proponer, se usaron como criterios de comparación: alcance en términos de su finalidad y aporte de información; aplicabilidad, según su ajuste a las condiciones particulares del área de estudio; disponibilidad de la información requerida, si los parámetros de entrada (*input*) del modelo están disponibles o pueden ser obtenidos a partir de información secundaria; facilidad de uso, si sólo puede ser utilizado por personal con conocimientos avanzados; costo de aplicación del modelo, incluyendo la obtención del software y de la información requerida; soporte bibliográfico suficiente y reconocido por organismos de control a nivel internacional que permita su confrontación; y disponibilidad del software para el modelo.

El estudio de riesgo ambiental se realizó en diferentes cultivos de hortalizas y de frutas, cubriendo distintas zonas agrícolas en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. Las hortalizas evaluadas fueron lechuga (*Lactuca sativa*) variedad Batavia, rábano rojo (*Raphanus sativus*), cebolla puerro (*Allium ampeloprasum*) y espinaca (*Spinacia oleracea*). Los frutales fueron uchuva (*Physalis peruviana*) y maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*). En la presente publicación se presentan resultados únicamente de lechuga y de uchuva, en los municipios de Mosquera, Madrid, Granada y Ventaquemada.

Las muestras de campo de suelos, aguas y partes vegetales de cultivos se tomaron en periodo de cosecha y se enviaron a los laboratorios de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) para análisis de caracterización de los suelos y presencia de MP. Se cuantificaron los contenidos de Cd, Pb, Cr, pseudototales (digestión $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$) en muestras de suelos y totales en fertilizantes, tejido vegetal y aguas mediante digestión en medio ácido asistida por microondas y cuantificación por espectrometría ICP (*Inductive Coupled Plasma*). En la Tabla 1 se presentan las características de los sitios de muestreo.

Tabla 1. Características de los sitios de muestreo para la evaluación de riesgo por metales pesados.

Sitio	Zona de vida	Paisaje	Suelo	Fuentes de contaminación	Cultivo	Género	Familia
Mosquera Marengole	bs-MB	Planicie aluvial	Andic Dystrudepts	Agua de riego distrito La Ramada Río Bogotá Fertilización	Lechuga	<i>Lactuca sativa</i>	Asteraceae
					Uchuva	<i>Physalis peruviana</i>	Solanaceae
Mosquera Tibaitatá	bs-MB	Terraza Baja	Andic Eutrudepts		Lechuga	<i>Lactuca sativa</i>	Asteraceae
Madrid	bs-MB	Montaña Glacis	Pachic Melanudands	Agua de riego Abono orgánico	Lechuga	<i>Lactuca sativa</i>	Asteraceae
Granada	bh-PM	Colinado	Typic Fulvudands	Fertilización	Uchuva	<i>Physalis peruviana</i>	Solanaceae
Ventaquemada	bh-MB	Montañoso	Typic Melanudands		Uchuva	<i>Physalis peruviana</i>	Solanaceae

bs-MB: bosque seco Montano Bajo; bh-PM: bosque húmedo Premontano; bh-MB: bosque húmedo Montano Bajo.

El riesgo se estimó a partir del Factor de Absorción (FA) o índice de bioacumulación de las frutas y hortalizas, el cual se expresa como:

$$FA = \frac{CMB}{CML} \quad (1)$$

Donde:

CMB = Concentración del metal en la biomasa

CML = Concentración de la especie libre del metal en la solución del suelo.

En este trabajo se utilizó de manera preliminar el índice aproximado de riesgo (IRA), que puede ser utilizado en los casos en los que no sea posible

medir o estimar la especie libre en la solución del suelo, de la siguiente manera:

IRA = Contenido del elemento en el tejido vegetal/valor permitido, de acuerdo con el Codex alimentarios y la directiva de la Unión Europea (Unión Europea, 1998).

La concentración de la especie libre en la solución del suelo se determinó por dos métodos: a) cuantificación en el agua de saturación; b) estimación utilizando el modelo Visual MINTEQ de especiación en la solución del suelo, desarrollado por Gustafsson del *Department of Land in Water Resources Engineering, Royal Institute of Technology, Estocolmo, Suecia*. El programa está disponible en: <http://www.lwr.kth.se> o en <http://www.epa.gov/>

Este modelo se escogió porque permite conocer la especiación de los metales, incluyendo la forma libre que corresponde a la potencialmente absorbida por las plantas, y es aplicable en suelos con diferentes pH y con presencia de superficies de adsorción como óxidos de hierro y arcillas e igualmente, especies orgánicas como ácidos húmicos y fúlvicos. El modelo simula la distribución de iones entre las fases adsorbida y disuelta de un sistema coloidal como lo es el suelo y permite simular una o varias de las ecuaciones, de las llamadas isotermas de adsorción de diverso grado de complejidad, tales como: Kd lineal, Freundlich, Freundlich extendida, Langmuir, Temkin, Langmuir-Freundlich y NICA (*non-ideal competitive adsorption*) Donnan.

Como datos de entrada se suministra la concentración molar de cationes y aniones totales y en solución (agua de saturación del suelo) incluyendo los de interés Cd, Pb, Cr y la cantidad de ácidos húmicos y fúlvicos, si se desea estimar la cantidad del metal adsorbido sobre tales superficies. Igualmente, se analizó el factor de absorción de las plantas en los diferentes suelos, condiciones de manejo y ambientales, con el fin de aproximarse a una descripción de riesgo.

Una vez definida la metodología preliminar para la evaluación de riesgo por MP, se probó en un estudio de caso con dos cultivos en un sistema hortofrutícola diferente.

Resultados y discusión

A continuación se presentan los resultados del contenido de los MP en el receptor y los presentes en los factores de riesgos asociados a suelo, agua de riego, fertilizante y abonos, obtenidos de los escenarios mencionados. Igualmente, se calcularon los factores de adsorción y el índice de riesgo mencionado anteriormente (Tablas 2 y 3).

Caso lechuga

De acuerdo con los resultados de la Tabla 2, se observa que el riesgo está asociado principalmente a las interacciones entre el manejo del cultivo y la capacidad de adsorción de MP por parte de la planta. Es importante tener en cuenta que esta última depende de la fisiología del cultivo (Prasad y Hagemeyer, 1999). La lechuga se comportó como acumuladora de Cd y Pb, lo que la hace muy sensible a factores de riesgo tales como fertilización con compuestos sintéticos o abonos orgánicos, los cuales contienen Cd, Pb y Cr; además del riego con agua contaminada. En este caso los fertilizantes utilizados contienen Cd ($4-7 \text{ mg kg}^{-1}$), por consiguiente una aplicación de 7 g/planta equivale en promedio a la adición de $40 \text{ }\mu\text{g}$ de Cd por planta. Por tanto en este caso el Cd fue el contaminante con mayor relevancia de riesgo y efectivamente, los índices de riesgo reflejaron esta condición. Sin embargo, con el uso del modelo MINTEQ aplicado con las isothermas Langmuir-Freundlich y NICA Donan, se subestimó en todos los casos la cantidad del ión libre lo que limita su aplicación.

Caso uchuva

En la Tabla 3 se observa que esta fruta no acumuló Cd en ninguno de los sitios de estudio aun cuando se reportaron niveles altos en el suelo, por tanto, según su fisiología se comporta como una planta no acumuladora. Sin embargo, el metal podría estar presente en otros órganos de la planta diferentes a la parte analizada. En Ventaquemada, la fruta presentó acumulación de Pb y Cr, incluso cuando su contenido en el suelo es muy bajo, por lo cual se presume que provenga de una fuente con mayor biodisponibilidad como los metales presentes en los fertilizantes utilizados (Pb $59-92 \text{ mg kg}^{-1}$ y Cr $11-18 \text{ mg kg}^{-1}$).

Tabla 2. Caracterización del riesgo por cadmio, plomo y cromo en el caso del cultivo de lechuga.

LOCALIDAD	CADMIO			PLOMO			CROMO			
	Mosquera		Madrid	Mosquera		Madrid	Mosquera		Madrid	
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Receptor	Finca									
	0,82	0,45	0,0590	0,0351	<0,05	0,0478	0,0728	<0,2	<0,0021	0,0331
	<0,05	<0,0020	<0,0020	<0,0020	0,0051	0,0051	<0,005	<0,0021	<0,0021	<0,0021
	8,8	10,06	0,89	2,92	14,00	27,48	8,36	21,0	10,29	2,70
	0,032	0			0,001	0		0	0	
	3,668·10 ⁻³	3,613·10 ⁻⁷			1,2·10 ⁻⁴	3,57·10 ⁻⁷	NM	2·10 ⁻²	2,2·10 ⁻⁴	NM
	9,76·10 ⁻³	<0,002	<0,002	<0,002	0,0074	0,0039	0,0112	0,0023	0,0014	0,0029
	X				X			X		
	X				X			X		
	X	X			X	X		X	X	
	84	NC	NC	NC	NC	12,3	6,5	NC	NC	NC
	224	1,252·10 ⁶						NC	NC	
	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	NR	NR	NR
	4	2	0,3	0,2	0	0,5	0,7	NC	NC	NC

NC: No es calculable; NR: No regulado; NM: No modelable (se presenta error durante el cálculo).

Tabla 3. Caracterización del riesgo por cadmio, plomo y cromo en el caso del cultivo de uchuva.

LOCALIDAD		CADMIO			PLOMO			CROMO		
		Mosquera	Granada	Ventaque-mada	Mosquera	Granada	Ventaque-mada	Mosquera	Granada	Ventaque-mada
Finca	1	F2 Lote 1	F2 Lote 2	3	1	F2 Lote 1	F2 Lote 1	1	F2 Lote 1	3
Receptor	<0,005	<0,005	<0,005	<0,0020	<0,05	<0,05	<0,05	<0,2	<0,2	0,74
Agua de riego (mg L ⁻¹)	<0,05	<0,002			<0,2	<0,2		<0,1	<0,0021	<0,0021
• Suelo										
• (pseudototal) mg kg ⁻¹	12,16	5,05	4,29	10,23	23,50	19,21	20,74	8,2	21,00	11,04
• % soluble modelo	0	0	0		0	0	0	0	0	0
• Cantidad soluble modelo (mg L ⁻¹)		8,301·10 ⁹	2,109·10 ⁸	5,792·10 ⁸		1,72·10 ⁷	8,32·10 ⁸		1,99·10 ⁴	4,1056·10 ³
• Metal solución cuantificado (mg L ⁻¹)	0,0043	0,0023	<0,002		0,0057	0,0142	0,0090	0,0032	0,0013	0,0029
Fertilización										
• Fertilizante compuesto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
• Fertilirriego	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
• Abono orgánico										
Factor de absorción FA real	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Factor de absorción (FA) calculado	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Máximo concentración en tejido (mg kg ⁻¹)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	NR	NR	NR
Índice de riesgo propuesto (IR)	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC

NC: No es calculable; NR: No regulado; NM: No modelable (se presenta error durante el cálculo).

Al igual que en el caso de lechuga se puede concluir que el riesgo está asociado principalmente a las interacciones entre el manejo del cultivo (fertilización y riego) y la selectividad de adsorción de los metales por parte de la planta, pues como se observa la uchuva no absorbe Cd, aunque este se encuentre en altas cantidades en el suelo, pero sí Pb y Cr, aunque este último en menor proporción. En este cultivo el Pb es el contaminante con mayor relevancia de riesgo ambiental.

Tal y como ocurrió en el caso lechuga, el modelo MINTEQ aplicado con las isotermas Langmuir-Freundlich y NICA Donan, subestimó en todos los casos la cantidad del ión libre.

Aparte de las diferencias en el manejo de los cultivos, es posible que la disponibilidad y adsorción de los metales se explique por la naturaleza de los ácidos húmicos y complejos *humus alofana* en los diferentes suelos, pues en Granada donde se encuentran menores contenidos de los metales pesados en los suelos y en las frutas, predominan los ácidos fúlvicos sobre los húmicos, al contrario de los otros suelos (datos no presentados en esta publicación).

Conclusiones

La metodología propuesta para evaluación de riesgo de contaminación con MP es una herramienta útil para determinar la presencia de estos elementos en cantidades tóxicas en los productos de consumo para la población.

La evaluación del *Factor de Acumulación* con el uso del modelo MINTEQ conduce a una sobreestimación excesiva, por lo que su uso no se recomienda en estos casos antes de realizar un análisis más completo de las características de los suelos.

Los resultados del presente estudio permiten concluir que la relación entre la concentración del contaminante presente en la hortaliza o en el fruto y los valores permitidos, de acuerdo con el Codex alimentario y la directiva de la Unión Europea, constituyen un índice

válido para evaluar de manera preliminar el riesgo de contaminación por Cd, Pb y Cr.

El contenido pseudototal de los elementos Cd, Pb y Cr; de los suelos es un indicativo útil para evaluar el posible riesgo de contaminación en los cultivos de la hortaliza y la fruta estudiados. Sin embargo, su efecto puede ser diferente de acuerdo con la capacidad de bioacumulación específica de los cultivos, la cual depende de su fisiología.

De acuerdo con los resultados encontrados se concluye que la excesiva fertilización de los cultivos conduce a contaminación del suelo y en consecuencia, al incremento de la adsorción de los metales pesados por las plantas y del riesgo asociado a su consumo.

Bajo las condiciones de estudio (suelos y medio natural) el principal factor de riesgo de contaminación por los metales Cd, Pb y Cr, es la presencia de MP en los insumos agrícolas en asocio con la capacidad de adsorción de las plantas estudiadas (lechuga y uchuva). El Cd es el contaminante con mayor relevancia de riesgo ambiental en el caso de la lechuga y el Pb en el caso de la uchuva.

Agradecimientos

Al Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) por el soporte técnico y financiero para la realización de la presente investigación.

Literatura citada

- EPA, Environmental Protection Agency. 1998. Guidelines for ecological risk assessment. Federal Register 63(93), 26846-26924.
- EPA, Environmental Protection Agency. 2007. Framework for metals risk assessment. Office of the Science Advisor Risk Assessment Forum. EPA 120/R-07/001. Washington DC.
- Unión Europea. 2008. Contenidos máximos en metales pesados en productos alimenticios. En: <http://plaguicidas.comercio.es/MetalPesa.htm>; consultado: noviembre de 2011.

- García, I. y C. Dorronsoro. 2005. Contaminación por metales pesados. En: Contaminación de suelos. En: Universidad de Granada, <http://edafologia.ugr.es/conta/tema00/progr.htm>; consulta: diciembre de 2011.
- Conpes, Consejo Nacional de Política Económica y Social. 2008. Política nacional fitosanitaria y de inocuidad para las cadenas de frutas y de otros vegetales. República de Colombia, Bogotá.
- Prasad, M. y J. Hagemeyer. 1999. Heavy metal stress in plants: from molecules to ecosystem. Springer, Heidelberg, Alemania.

Metodología para la evaluación del riesgo ambiental causado por el uso de plaguicidas en sistemas hortofrutícolas en el departamento de Cundinamarca

Fabio R. Leiva^{1,3}

Cilia L. Fuentes¹

Bladimir Guaitero²

Resumen

La agricultura conlleva bienestar en términos de alimentos, comercio, generación de empleo y de riqueza. Sin embargo, el uso de agroquímicos implica riesgos ambientales. La producción agrícola colombiana requiere un enfoque integral y preventivo que permite el manejo de los riesgos en toda la cadena productiva. Además, en el caso de los productos hortofrutícolas aún no se ha evaluado ni caracterizado la situación particular de residuos de plaguicidas (Conpes 3514 de 2008). En este contexto, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) solicitó a la Universidad Nacional de Colombia desarrollar una metodología de Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA) para plaguicidas, metales pesados y microorganismos patógenos en la producción hortofrutícola. El objetivo de este artículo es presentar avances de la propuesta metodológica con

1. Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (Colombia).
2. Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales, Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá (Colombia).
3. Autor de correspondencia. frleivab@unal.edu.co

respecto a plaguicidas en Cundinamarca, incluyendo algunos resultados de esa investigación.

Palabras clave: agroquímicos, contaminación, sostenibilidad, cultivos.

Introducción

La agricultura con lleva bienestar en términos de alimentos, comercio, generación de empleo y de ingresos económicos. No obstante, el uso de agroquímicos como los plaguicidas conlleva riesgos para el ambiente y los humanos (FAO, 2003; MAVDT y Asohofrucol, 2009).

En la búsqueda del desarrollo sostenible se deben tomar decisiones con base en la mejor evidencia científica; en caso de incertidumbre y existencia de riesgo significativo se debe actuar de manera preventiva (Naciones Unidas, 2009). El riesgo ambiental se define como la posibilidad de que ocurran efectos dañinos en la salud humana o en un ecosistema como resultado de la exposición a un factor de estrés (agente físico, químico o biológico capaz de producir daño). Por su parte, la evaluación de riesgo ambiental (ERA) es un proceso sistemático que evalúa la posibilidad de que ocurran o estén ocurriendo efectos ecológicos adversos como resultado de la exposición a uno o más factores de estrés (Environmental Protection Agency of United States, EPA, 1998).

Según el Consejo Nacional de Política Económica y Social - Conpes 3514 de 2008, la producción agrícola colombiana carece de un enfoque integral y preventivo a lo largo de la cadena agroalimentaria, con un marco normativo y un sistema de vigilancia adecuados, para lograr el manejo de los riesgos asociados a la producción primaria y el procesamiento, transporte y comercialización. Además, para los productos hortofrutícolas aún no se ha caracterizado la situación de residuos de plaguicidas y solo se cuenta con algunos estudios específicos (MAVDT y Asohofrucol, 2009). Así, el MAVDT solicitó a la Universidad Nacional de Colombia, UNC, desarrollar una metodología de ERA para plaguicidas y metales pesados para el sector hortofrutícola. El objetivo de este artículo es presentar avances de la propuesta metodológica con respecto a plaguicidas en Cundinamarca, incluyendo algunos resultados de esa investigación.

Métodos

La propuesta metodológica de ERA se apoya en los procedimientos de EPA (1998), que establecen las fases de formulación del problema, análisis y caracterización del riesgo.

La metodología general para la investigación incluyó trabajo individual y grupal del equipo de expertos del proyecto, consulta a otros expertos (incluyendo dos internacionales), revisión de literatura y muestreo en campo de suelos, aguas y tejido vegetal (para consumo humano) para análisis de laboratorio. Además, se realizó la verificación de la propuesta de ERA mediante dos estudios de caso.

Se adelantó una amplia revisión de literatura que incluyó 17 indicadores utilizados, mundialmente y en Colombia, para realizar ERA por plaguicidas en la agricultura. Luego se establecieron los siguientes criterios de comparación de esos indicadores (Jerez *et al.*, 2006): disponibilidad de los programas utilizados (uso libre o bajo licencia); capacidad para dar información sobre los riesgos en los compartimentos ambientales; capacidad para efectuar determinación mecánica de la concentración de plaguicida en cada compartimento; disponibilidad de personal capacitado en el país y de datos existente en Colombia o en reportes internacionales. Así, se buscó un conocimiento global de esos indicadores, sus ventajas y desventajas, y se seleccionaron aquellos con mayor aplicabilidad para las condiciones del estudio.

La ERA propuesta permite valorar de manera cualitativa el riesgo que representa la aplicación de un determinado plaguicida para los compartimentos agua, suelo, aire y producto vegetal. Adicionalmente, se cuantificó mediante análisis de laboratorio, los residuos de plaguicidas sobre cada compartimento y así, se valoró el riesgo asociado, mediante la comparación de los valores encontrados frente a los límites máximos de residuos (LMR) permisibles o algún otro indicador aceptado⁴. El análisis

4. El análisis de residuos de plaguicidas en el tejido vegetal suministra la cantidad de plaguicida (ppm) que es comparada con el LMR establecido por la Unión Europea, UE, para esa especie vegetal y plaguicida; la relación entre estas dos variables permite percibir la magnitud del riesgo existente.

comparativo entre las estimaciones de riesgo mediante la ERA propuesta y los resultados de los análisis de laboratorio, permitió verificar la validez de esta metodología⁵.

Para el muestreo de campo se seleccionaron cuatro fincas en cuatro diferentes municipios y cuatro cultivos, así: Cota (espinaca), Granada (uchuva), Facatativá (fresa) y Mosquera (espinaca, lechuga y uchuva). Las muestras de suelo, agua y tejido vegetal se tomaron en la cosecha y se enviaron a un laboratorio reconocido en Bélgica. Los análisis de laboratorio a esas muestras fueron:

- 1) GMS (Método multi-residuo por GC-MSMS para cuantificar plaguicidas en frutas, vegetales y papa),
- 2) LMS (Método multi-residuo por LC-MSMS para cuantificar plaguicidas en frutas, hortalizas, papa y cereales),
- 3) Ditiocarbamatos.

Para la verificación de la propuesta ERA se realizaron dos estudios de caso: tetradifon en espinaca (Cota) y carbofuran en fresa (Facatativá). Se siguió un procedimiento escalonado con cuatro niveles de evaluación, siendo estos cada vez más exigentes y precisos en la valoración de riesgo para cada compartimento (suelo, agua superficial, agua subterránea, aire y producto vegetal). Considerando el “peor escenario”, en el nivel I se establece la relación entre la exposición y el grado de toxicidad de los plaguicidas usados en determinado compartimento y cultivo; esto representa el riesgo potencial para las entidades ecológicas de cada compartimento. En el nivel II se ajustan los componentes de la exposición y de efecto, haciendo intervenir los factores que los afectan.

5. Aplica principalmente para el Indicador de Riesgo de Residuos (IRR), que estima el nivel de riesgo de residuos de plaguicidas en el tejido vegetal consumible. Este resultado se compara con la cantidad de plaguicida en el tejido vegetal (según análisis de laboratorio) y los valores LMR, para verificar la funcionalidad del indicador. Para los restantes indicadores de la propuesta de ERA no existe un estándar (como el LMR) que permita verificar los resultados de la aplicación de esta metodología; en consecuencia se requieren estudios de caso para asociar las características de cada plaguicida y los factores de aplicación y exposición en el cultivo con un posible nivel de riesgo para los organismos de cada compartimento (en el estudio se detalla todo este proceso analítico).

Luego de identificar riesgos relevantes (nivel II) y en el nivel III, se determinan cuáles requieren ser precisados en un nivel más exigente. Para la caracterización del riesgo en este nivel, se emplean aproximaciones más refinadas del destino ambiental para calcular la concentración ambiental estimada (CAE), empleando datos adicionales o información de estudios específicos. Si los estudios del nivel III muestran que el riesgo subsiste y no puede ser controlado o mitigado se debe pasar a un último nivel de evaluación, que busca precisar el perfil toxicológico y el comportamiento ambiental del plaguicida en condiciones reales mediante pruebas en campo.

En este trabajo se evaluaron principalmente los riesgos del nivel I usando cocientes de riesgo (RQ) para organismos terrestres y acuáticos y del nivel II, mediante el cálculo de los indicadores de riesgo ambiental RECAP (Jerez *et al.*, 2006), del índice de riesgo de residuos (IRR) (Santiago, 2000) e índice GUS (riesgo de lixiviación) (Gustaffson, 1989). El modelo RECAP calcula cuatro indicadores ambientales.

La Tabla 1 lista las variables para los indicadores propuestos; en general, estas son consultadas en la literatura. Otras variables a tomar localmente son dosis, frecuencia de aplicaciones y tiempo, en días de la última aplicación de un plaguicida antes de la cosecha.

Resultados y discusión

La metodología propuesta de ERA contempla tres fases: formulación del problema, análisis de riesgo y caracterización del riesgo (Figura 1). En la fase 1 se integra la información primaria y secundaria disponible requerida para evaluar la pertinencia de la evaluación y aplicar los indicadores de riesgo. En esta fase se pretende conocer si existe una amenaza significativa para el ambiente por la aplicación del plaguicida en el respectivo cultivo. Cuando no hay evidencia de amenaza significativa, el proceso se da por finalizado. En caso contrario, se debe continuar con las siguientes fases de la ERA.

Los resultados de la fase 1, para los estudios de caso, indicaron alto grado de exposición de los compartimentos ambientales a los plaguicidas, indicando

Tabla 1. Lista de variables de los indicadores de riesgo propuestos para la ERA.

Indicador	Variable	Descripción
Cociente de riesgo (RQ)	DT50suelo	Tiempo requerido para disipación del 50% de la concentración inicial del plaguicida en suelo.
	t	Tiempo (días) de exposición contemplado en los estudios de toxicidad crónica para cada plaguicida y organismo (lombriz de tierra).
	EC50	Concentración del plaguicida a la cual el 50% de los organismos expuestos muestran el efecto probado (<i>Daphnia</i> o algas).
	LC50	Concentración Letal 50, toxicidad que puede matar la mitad de la muestra de una población de un organismo determinado (lombriz de tierra y peces).
	NOEC	Concentración de efecto no observable, concentración a la cual no se observa el efecto probado (lombriz de tierra).
Riesgo ecológico por aplicación de plaguicidas (RECAP)	LC50	Concentración Letal 50 aguda oral, toxicidad que puede matar la mitad de la muestra de una población de un organismo determinado (ratas y peces).
	LD50	Dosis Letal 50 aguda oral, dosis del plaguicida que resulta letal para la mitad de la población bajo prueba (ratas, abejas y aves).
	t	Tiempo (días) de exposición contemplado en los estudios de toxicidad crónica para cada plaguicida y organismo (ratas).
	DT50suelo	Tiempo requerido para la disipación del 50% de la concentración inicial del plaguicida en suelo.
	NOEC	Concentración de efecto no observable, concentración a la cual no se observa el efecto probado (lombrices).
	NOAEL	Nivel (concentración) con efectos adversos no observables (mamíferos).
	NOEL	Nivel (concentración) de efecto no observable (abejas y aves).
	TDI	Consumo diario total (aves y mamíferos).
Índice de riesgo de residuos (IRR)	EC50	Concentración de plaguicida a la cual el 50% de los organismos expuestos muestran el efecto probado (<i>Daphnia</i> y algas).
	DT50suelo	Tiempo requerido para la disipación del 50% de la concentración inicial del plaguicida químico en suelo.
Índice GUS (riesgo de lixiviación)	Kow (Log)	Coefficiente de partición octanol-agua.
	Koc	Coefficiente de adsorción a carbono orgánico.

la necesidad de continuidad en el proceso. Tal grado de exposición corresponde a las características del sitio y las condiciones de aplicación de los plaguicidas. Estos resultados iniciales se basaron en entrevistas realizadas mediante un instrumento metodológico tipo formulario desarrollado en esta investigación, para ser aplicado en campo directamente con el agricultor y el operario que aplica los plaguicidas.

La fase de evaluación de riesgo (fase 2) depende directamente de los resultados de la fase 1. Se seleccionaron cuatro indicadores para la fase 2, niveles I y II (Figura 1), y se establecieron relaciones entre la exposición a los plaguicidas (caracterización de exposición) y el potencial y tipo de efecto ecológico esperado (caracterización de efectos ecológicos), para valorar el riesgo al que están expuestos los componentes ambientales y los humanos en los estudios de caso.

El primer indicador fue el cociente de riesgo (CR) (Urban y Cook, 1986; citado por Solomon, 2009), que a partir del “peor escenario” establece la relación existente entre la concentración del plaguicida que causa efecto sobre determinados organismos sensibles y la CAE del plaguicida en el compartimento ambiental. Como segundo, se seleccionó RECAP (riesgo ecológico por aplicación de plaguicidas) que permite la evaluación del riesgo por plaguicidas para los compartimentos ambientales suelo, agua y aire (Jerez *et al.*, 2006). El tercer indicador fue el índice de riesgo de residuos (IRR) (Santiago, 2000) y como cuarto, el modelo GUS (Gustaffson, 1989).

El IRR estima el nivel de riesgo de residuos de plaguicidas sobre el producto vegetal y sirve como alerta temprana para el consumidor. Finalmente, GUS es un indicador del potencial de lixiviación de un plaguicida. Los cuatro indicadores permitieron la valoración de los efectos adversos sobre los compartimentos del ambiente y la estimación del nivel de riesgo de residuos para el consumidor del producto vegetal.

Los resultados de la fase 2 mostraron que los compuestos con niveles de riesgo más elevados son aquellos con:

- 1) mayor persistencia en el suelo (p.ej. tetradifon);
- 2) categoría toxicológica I ó II (p.ej. carbofuran); y,
- 3) alta frecuencia o alta dosis de aplicación (p.ej. carbofuran en fresa).

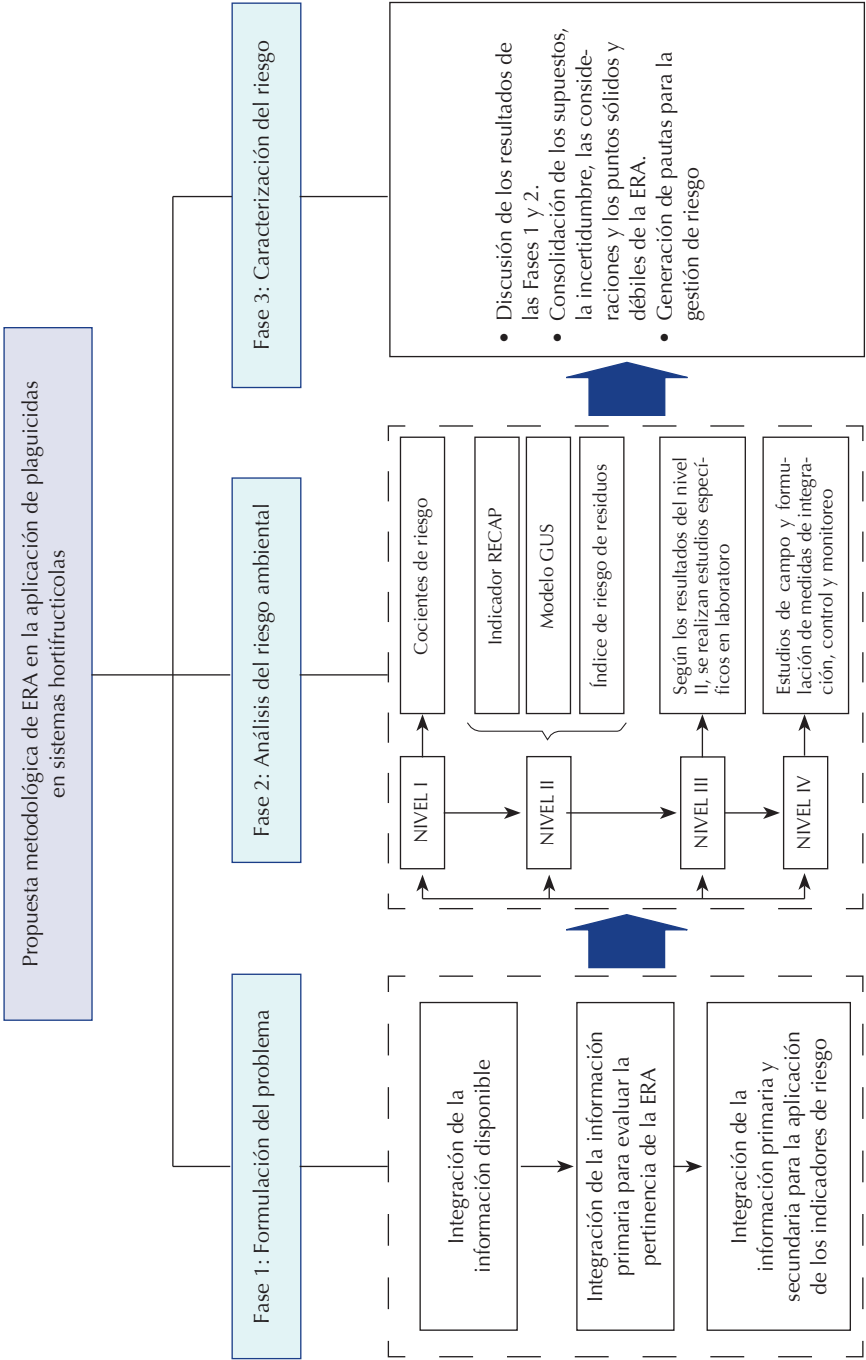


Figura 1. Representación gráfica del proceso de evaluación de riesgo ambiental (ERA) en la aplicación de plaguicidas químicos en sistemas hortofrutícolas en el departamento de Cundinamarca.

Así, tetradifon y carbofuran representan niveles de riesgo entre alto y muy alto para organismos terrestres del ecosistema hipogeo (*PRIHS-2*) y epigeo (*PRIES-2*) en prolongados períodos de exposición (riesgo crónico) y para organismos acuáticos en cortos períodos de exposición (riesgo agudo) (Tabla 2).

Tabla 2. Valoración del riesgo para organismos terrestres y acuáticos en los dos estudios de caso (tetradifon y carbofuran) mediante el indicador RECAP.

Valoración del riesgo		Tetradifon (cultivo espinaca)		Carbofuran (cultivo fresa)	
Índice	Descripción	Valor	Riesgo	Valor	Riesgo
PRIHS-1	Índice de riesgo ambiental agudo en ecosistema hipogeo	0	Nulo	14,5	Bajo
PRIHS-2	Índice de riesgo ambiental crónico en ecosistema hipogeo	88,0	Muy alto	50,0	Muy alto
PRIES-1	Índice de riesgo ambiental agudo en ecosistema epigeo	16,0	Medio	61,0	Alto
PRIES-2	Índice de riesgo ambiental crónico en ecosistema epigeo	77,5	Muy alto	74,2	Muy alto
PRISW-1	Índice de riesgo ambiental agudo en ecosistema de aguas superficiales	55,0	Alto	100,0	Muy alto

El GUS permite detectar situaciones que ameritan estudios de mayor profundidad, es decir, es un indicador de alerta temprana. Los ingredientes activos con bajos coeficientes de adsorción y prolongada vida media poseen mayor potencial de lixiviación; así, carbofuran y tetradifon poseen un alto potencial de lixiviación hacia aguas subterráneas (Tabla 3).

Tabla 3. Valoración del potencial de lixiviación de tetradifon y carbofuran mediante el indicador GUS.

Cultivo	Plaguicida	DT50suelo	Koc	GUS	Potencial de lixiviación
Espinaca	Tetradifon	112	100	4,1	Alto
Fresa	Carbofuran	14	28	2,9	Alto

El indicador IRR estimó nivel medio para la presencia de residuos de tetradifon en espinaca y alto de carbofuran en fresa (Tabla 4). Sin embargo,

los análisis de laboratorio mostraron un contenido de tetradifon en espinaca tres veces superior al LMR y para carbofuran en fresa 36 veces superior (Tabla 5). Esto puede explicarse por factores de aplicación que favorecieron alta exposición del producto vegetal al plaguicida, incluyendo elevado número de aplicaciones, dosis altas y corto período de carencia.

Tabla 4. Valoración del potencial de residuos de tetradifon y carbofuran en espinaca y fresa mediante el indicador, índice de riesgo de residuos (IRR).

Cultivo	Plaguicida	Dosis (g ha i.a.)	Tiempo en planta (días)	Carga plaguicida (C)	Potencial de concentración (PC)	Potencial de residuos (PR)	IRR	Interpretación
Espinaca	Tetradifon	160	28	0,00024	35867	9	3	Medio
Fresa	Carbofuran	330	4	0,08800	381	34	4	Alto

Tabla 5. Residuos de tetradifon y carbofuran en suelo, agua de riego y tejido vegetal de algunos cultivos hortofrutícolas de la Sabana de Bogotá.

Cultivo	Localidad	Matriz	Plaguicidas	Concentración Obtenida (mL kg ⁻¹)	Límite máximo de residuos LMR (ppm)*
Espinaca	Cota	Agua	N**	N	N
		Suelo	Tetradifon	0,045	--
		Vegetal	Tetradifon	0,059	0,02
Fresa	Facatativá	Agua	N	N	N
		Suelo	N	N	N
		Vegetal	Carbofuran	0,72	0,02

* Con base en reglamentación de la Unión Europea.

** N = no se encontraron residuos plaguicidas para ese cultivo y matriz.

En la fase de caracterización de riesgo (fase 3) se buscó contextualizar todos los resultados, consolidar los supuestos, las consideraciones, los puntos sólidos y débiles de la evaluación y generar pautas para la gestión del riesgo. En los dos estudios de caso, la magnitud de la exposición a los plaguicidas fue un factor determinante del nivel de riesgo. Por ejemplo, tetradifon está catalogado como categoría toxicológica IV (ligeramente tóxico), pero su relativamente alta vida media en suelo (DT50 de 112 días) conllevó a que su aplicación - en las condiciones bajo estudio-representara

riesgo ambiental; esto es, su persistencia condujo a exposición ambiental por un período prolongado de tiempo.

La presente propuesta de ERA está en consonancia con el procedimiento de registro de plaguicidas, guardando consistencia con la legislación actual y se encuentra inmersa en un sistema de toma de decisiones dirigido por el MAVDT.

Conclusiones

La propuesta ERA contempla los indicadores cocientes de riesgo (CR), RECAP, índice de riesgo de residuos (IRR) y GUS, y permite valorar el riesgo del uso de plaguicidas en los diferentes compartimentos ambientales en condiciones similares a las del presente estudio. Esta propuesta es práctica, económica y flexible, pudiendo ser adaptada a diferentes cultivos y localidades. Además, permite determinar el ingrediente activo ambientalmente más amigable en ciertas condiciones de aplicación, para mejorar la toma de decisiones en el uso de plaguicidas.

Las variables con mayor incidencia en el nivel de riesgo fueron la dosis, la frecuencia de aplicación, la persistencia y la categoría toxicológica del plaguicida. Las tres primeras afectan considerablemente la exposición al plaguicida, por lo cual, sustancias con alta persistencia en suelo y aplicación frecuente –independiente de la categoría toxicológica– representan riesgo significativo para humanos y ambiente. Se tiene la limitante que las estimaciones realizadas por la metodología propuesta son predictivas.

Agradecimientos

Al Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) por el soporte técnico y financiero para la realización de esta investigación.

Literatura citada

- EPA, Environmental Protection Agency of United States. 1998. Guidelines for ecological risk assessment. En: Ecological Risk Assessment, www.epa.gov/raf/publications/pdfs/ECOTXTBX.PDF; consulta: octubre de 2011.
- FAO. 2003. Código internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas. En: Depósito de documentos de la FAO, www.fao.org/docrep/006/y4544s/y4544s00.HTM; consulta: octubre de 2011.
- Guaiteiro, L.B. y C.L. Fuentes. 2010. Propuesta metodológica para la evaluación de riesgo ambiental causado por el uso de plaguicidas en sistemas hortofrutícolas de la Sabana de Bogotá (Colombia). Tesis de maestría. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- MAVDT, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Asohofrucol, Asociación Hortofrutícola de Colombia. 2009. Guía ambiental hortofrutícola de Colombia. Bogotá.
- Gustaffson, D.I. 1989. Groundwater ubiquity score: A simple method for assessing pesticide leacheability environmental toxicology and chemistry. *Environ. Toxicol. Chem.* 8, 339-357.
- Jerez, J., J.M. Peralta, F. Tapia, J. Mejías, A. Jerez y F. Encina. 2006. Estudio de metodologías para la evaluación de riesgo ambiental de la aplicación de plaguicidas. En: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, www.sag.gob.cl/pls/portal/url/ITEM/22D806E64B866190E040A8C0100117AB; consulta: octubre de 2011.
- Nacionales Unidas. 2009. Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. En: http://www.un.org/esa/dsd/agenda21_spanish/res_riodecl.shtml; consulta: diciembre de 2011.
- Santiago, J. 2001. Diagnóstico del uso y manejo de plaguicidas en tres cultivos hortícolas en la Sabana de Bogotá y propuesta de un índice de predicción de residuos de plaguicidas. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Solomon, K.R. 2009. Ecotoxicological risk assessment. University of Guelph, Guelph, Canada.

Investigación participativa en el manejo de estiércoles de aves y cerdos por medio de la técnica del bocashi y su posterior aplicación en el cultivo de habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.) en Fómeque, Cundinamarca

Heliodoro Argüello A.^{1,2}

Nubia Yolanda Rodríguez¹

Resumen

Este estudio evaluó de manera participativa los componentes físicos, químicos y microbiológicos de la gallinaza y la porquinaza, para la elaboración de abonos orgánicos producidos por medio de la técnica del bocashi. Se establecieron como tratamientos: porquinaza más gallinaza, gallinaza, gallinaza más residuos vegetales, porquinaza más residuos vegetales, porquinaza más gallinaza más residuos vegetales, porquinaza sola, sin fertilización y fertilizante químico o convencional. Se realizó un muestreo antes y después del proceso de degradación y se evaluó la concentración de seis grupos funcionales de microorganismos de interés agronómico y cuatro grupos funcionales de microorganismos patógenos, limitantes para el uso de enmiendas edáficas. Después de estabilizado el abono se estimó la composición de micro y macronutrientes, su relación con el crecimiento de los microorganismos y la toma de nutrientes por parte

1. Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (Colombia).

2. Autor de correspondencia. harguello@unal.edu.co

de la planta, en presencia de los diferentes sustratos. Se observó que a pesar de la reconocida influencia de la temperatura en la composición biológica de los abonos y en especial cuando se relaciona la fase termófila con la eliminación de patógenos, este comportamiento no aplica para el caso de estudio. El tratamiento que presenta valores más altos de los componentes químicos y microbiológicos es el sustrato a base de porquinaza más material vegetal, el cual además se convierte en una buena alternativa frente al manejo convencional del cultivo de habichuela, puesto que a diferencia del tratamiento químico, aquel presenta un potencial microbiológico que contribuye en el tiempo a la sostenibilidad de la producción y preservación de la calidad ambiental.

Palabras clave: *gallinaza, porquinaza, microorganismos, compost, Salmonella sp., Escherichia coli.*

Introducción

En la agricultura convencional, las preocupaciones por el suelo son económicas, por lo que el agricultor de estos tiempos se preocupa más por las plantas que por el propio suelo y cuando se preocupa por este último, solamente lo hace desde el punto de vista químico sin considerar su micro y macrofauna. La agricultura convencional transformó el suelo en una fórmula universal para cultivarlo y fertilizarlo, olvidando las relaciones complejas y fundamentales que unen al suelo, a los microorganismos y a las plantas (Primavesi, 1984; Restrepo, 2000).

La carencia de tecnologías adecuadas, el limitado acceso a procesos de innovación, el inapropiado uso de los suelos y del agua y el uso de grandes cantidades de agroquímicos, actualmente conllevan a que se atente contra la conservación y sostenibilidad de los recursos naturales en la región de Fómeque, Cundinamarca; e impide que los pequeños productores cuenten con condiciones de competitividad en el mercado nacional principalmente por los bajos rendimientos y altos costos de insumos que no alcanzan a ser compensados con los precios del mercado.

En este escenario, uno de los principales interrogantes respecto a la producción de cultivos en el municipio de Fómeque es, cómo mantener la

capacidad productiva de los suelos sin incrementar el deterioro del recurso principalmente por uso excesivo de fertilizantes de síntesis química, entre otras prácticas no evaluadas. No obstante, el interés de los productores en los últimos tiempos se ha centralizado en buscar alternativas sostenibles para la fertilización de los cultivos.

En este contexto el bocashi, cuyo manejo en sistemas de producción agroecológica en Honduras ha bajado los costos de producción hasta el 80% (Restrepo, 2000) y en Cuba ha mejorado la producción de hortalizas frente a lo convencional (Socorro y Parets, 2001); evidencias que permiten examinar al bocashi como una alternativa viable para los productores de habichuela del municipio de Fómeque, Cundinamarca.

Bocashi es una palabra japonesa que significa “materia orgánica fermentada” (Shintani *et al.*, 2000). El proceso se lleva a cabo por microorganismos que generan un material parcialmente estable, de descomposición lenta en condiciones favorables (Restrepo, 1998). No obstante, la descomposición de los materiales y la transformación de los nutrientes a formas fácilmente asimilables para las plantas, ocurre gracias a la actividad de miles de microorganismos en presencia de oxígeno.

Para la obtención de un material con gran variedad de microorganismos benéficos, es necesario contar con una buena diversidad y calidad de estiércoles o residuos orgánicos, como fuente de macro y micronutrientes para el desarrollo de la microfauna. Sin embargo, el contenido de nutrientes de un abono orgánico no garantiza que los nutrientes estén disponibles para ser utilizados por los cultivos en un tiempo determinado. Por consiguiente, el uso únicamente del contenido de nutrientes no es un indicador adecuado de la calidad de los abonos orgánicos, otros factores deben también ser conocidos tales como la composición microbiológica (Tabla 1). Diversos estudios (Stevenson, 1986; Epstein, 1997) demuestran que la relación Carbono: Nitrógeno (C: N) juega un papel fundamental en la mineralización de N de un abono, porque los contenidos de C y N son esenciales para la vida y la reproducción de los microorganismos. El C como fuente de energía y el N para la síntesis de proteínas y estructuras celulares.

El proceso de descomposición de la materia orgánica, por medio de la técnica del bocashi se lleva a cabo en cuatro fases. En la fase inicial, o mesofílica, ocurre la descomposición de materiales fácilmente degradables, los organismos mesófilos tienen una alta actividad calentando los materiales, con abundante producción de formas amoniacales. Después ocurre una fase termofílica, la cual genera un aumento de la temperatura (mayor de 45°C), con intensa actividad bacteriana, desintegrándose los compuestos más lignificados. No obstante la temperatura no se debe sobrepasar de 60°C (Shimada y Rivera, 2000; Restrepo, 1996; Suárez, 1998). La tercera fase es la etapa de enfriamiento en la que se genera una reducción de la población microbiana, con una descomposición de los materiales más resistentes y parte del material lo constituye la necromasa microbiana. Por último, sucede una fase de maduración o estabilización, en la cual baja la descomposición y la temperatura, y esta última se estabiliza en valores próximos al ambiente, elevándose la cantidad de actinomicetos con el establecimiento de bacterias que colonizan el compost y terminan de degradar el material (Gómez, 2000).

No obstante dado que el bocashi es un proceso de descomposición propiciado por los microorganismos, donde los resultados se dan por el efecto combinado de su actividad individual, es importante entender la influencia del medio ambiente sobre los microorganismos porque permite explicar cómo se distribuyen, se controlan y se aumentan. Los parámetros más importantes son: temperatura, oxígeno, humedad, pH y composición del sustrato (Borges y Raw, 1983; Goyal *et al.*, 2005). Estudios de las interacciones entre los diferentes integrantes de las comunidades microbianas han demostrado en varias ocasiones una mayor eficiencia de estos consorcios en los procesos de degradación, frente a estudios que involucran solo a un gremio (Atlas y Bartha, 2002).

El objetivo del siguiente trabajo fue evaluar los componentes físicos, químicos y microbiológicos de la gallinaza y la porquinaza para la elaboración de abonos orgánicos, por medio de la técnica del bocashi y su posterior aplicación para la producción de habichuela.

Materiales y métodos

Este trabajo se desarrollo con apoyo del Centro para la Investigación y Extensión Rural (CIER) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia y La Corporación PBA, dentro del marco del proyecto “Innovación participativa para la producción agroecológica del cultivo de habichuela en el municipio de Fómeque, departamento de Cundinamarca”.

La investigación se realizó de manera participativa con la asociación “Asosusagramal” (Fómeque, Cundinamarca, 1.900 msnm, 4°28’40” N; 73°54’17” W).

El bocashi se elaboró a base de los subproductos del área avícola y porcícola de la región. Para la fuente de microorganismos se utilizó la combinación de dos productos comerciales, un inóculo de EM® y un inóculo de Agroplux® compuesto por diversas especies de bacterias, hongos, levaduras y actinomicetos, según información suministrada por Fundases como fabricante del producto.

Se realizaron diferentes mezclas para la correspondiente evaluación, se mezcló el material orgánico de acuerdo al tratamiento, con una proporción del inóculo de microorganismos (en 200 Litros de agua se diluyeron 5 kg de melaza y 500 g de levadura, 5 Litros de EM® y 5 litros de Agroplux®) y agua hasta la humedad adecuada, de acuerdo a la prueba del “puño”.

Se formaron 12 pilas correspondientes a seis combinaciones de estiércoles para compostar con dos repeticiones (Tabla 1).

Variables a tener en cuenta en la preparación de abonos orgánicos

Al realizar las mezclas se tuvo en cuenta el grado de humedad, el cual se ajustó por medio de la prueba del “puño”. Con la mano se toma una parte de la mezcla y se observa: sí al apretar la mano escurre agua entre los dedos hay exceso de humedad y, por lo tanto, se debe agregar material seco; sí al abrir la mano el material se desintegra indica que esta muy seco, por lo que se debe agregar agua hasta lograr la humedad ideal; ello ocurre

Tabla 1. Mezclas de materias primas para la realización de los bocashi.

	Materia prima	Convención	Unidad	Cantidad
1	Porquinaza	P+G	kg	75
	Gallinaza		kg	75
	Mezcla		L	16
	Agua		L	120
2	Gallinaza	G	kg	150
	Mezcla		L	16
	Agua		L	120
3	Gallinaza	G+RV	kg	100
	Residuos vegetales		kg	50
	Mezcla		L	16
	Agua		L	120
4	Porquinaza	P+RV	kg	100
	Residuos vegetales		kg	50
	Mezcla		L	16
	Agua		L	120
5	Porquinaza	P+G+RV	kg	50
	Gallinaza		kg	50
	Residuos vegetales		kg	50
	Mezcla		L	16
	Agua		L	120
6	Porquinaza	P	kg	150
	Mezcla		L	16
	Agua		L	120

cuando, al apretar la mano, no escurre agua entre los dedos y al abrirla el material no se desintegra.

El seguimiento al proceso se realizó con control de temperatura, evitando su incremento por medio de aeración o volteos. Dicho control se realizó desde el día uno, con una frecuencia de dos veces al día hasta un nivel de temperatura del abono inferior a 60°C (Shimada y Rivera, 2000; Restrepo, 1996; Suárez, 1998). En los siguientes días, solo se hizo control una vez

al día hasta que la temperatura del abono se estabilizó a temperatura ambiente, en un lapso de 25 días, lo cual coincidió con lo reportado por Restrepo (1996); Rodríguez y Paniagua (1994); Fischersworing y Robkamp (2001).

Muestreos y análisis de muestras

Luego de estabilizado físicamente el abono, el estudio se efectuó en dos fases, la primera consistió en evaluar el contenido de macro y micronutrientes de cada una de las mezclas así como el crecimiento de los microorganismos en cada una de ellas. Para la toma de muestras se realizó un muestreo compuesto tomado de cada uno de los tratamientos. En la fase de campo se evaluó la toma de nutrientes de la planta por medio de análisis del contenido foliar, comparadas con un testigo o control y una fertilización convencional con gallinaza cruda y urea, tomando muestreos destructivos cada 15 días, hasta el segundo mes o la etapa vegetativa. Se realizó una caracterización microbiológica y química de los abonos.

Caracterización microbiológica

Para la caracterización microbiológica se tomaron 10 g de la muestra haciendo diluciones seriadas hasta 10^{-6} y sembrando 0,1 mL en superficie de cada dilución, en medios de cultivo específicos para cada grupo microbiano.

Para las bacterias aerobias mesófilas, se utilizó agar nutritivo (Merck, 1994), se hicieron controles del medio y de la solución para las diluciones; con posterior incubación a temperatura ambiente durante 48 horas. Los conteos de *Pseudomonas fluorescens* se hicieron en medio King B. Para hongos se empleó el agar rosa de bengala suplementado con cloranfenicol (Difco, 2007), con incubación a temperatura ambiente por 5 días (Madigan *et al.*, 2003). Para el caso de los actinomicetos, primero se le realizó tratamiento con una solución de fenol para inhibir el crecimiento de las bacterias no filamentosas, este procedimiento consistió en utilizar una solución de fenol al 1,4% (P/V) como diluyente, dejando la muestra durante 15 minutos, posteriormente se inoculó 0,1 mL en superficie en medio caseína almidón y se llevó a incubar durante 5 días a temperatura ambiente (Castellanos, 2004).

Para los microorganismos solubilizadores de fosfato y fijadores de nitrógeno de vida libre se efectuaron diluciones seriadas de las muestras. Se sembró 0,1 mL en superficie en los medios de cultivo como en agar FNB, para *Azospirillum* sp. y agar Ashby para *Azotobacter* sp., medios libres de nitrógeno que proporcionan las condiciones adecuadas para su aislamiento, luego se llevaron a incubar a temperatura ambiente durante 8 días (Novo, 1994). Para el conteo de microorganismos solubilizadores de fosfato, se realizó el mismo procedimiento anteriormente descrito, empleando agar Pikovskaya e incubando a temperatura ambiente durante 8 días. Los microorganismos solubilizadores de fosfato se evidencian por la formación de un halo transparente alrededor de la colonia, el cual es formado por la solubilización de fosfato tricálcico que contiene el medio (Valencia, 2004).

Para coliformes agar Cromocult, incubación a 37°C, durante 24 horas. Para la determinación de *Salmonella* sp. y *Shigella* sp., se empleó el medio SS, con preenriquecimiento en la inoculación de este medio, se incubó a 37°C, por 48 horas.

Caracterización química

Los parámetros y métodos de análisis fueron respectivamente: N: nitrógeno total micro-Kjeldahl, valoración volumétrica; P: fósforo total calcinación a 475°C, valoración colorimétrica con molibdato y vanadato de amonio; Ca, K, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn; totales: calcinación a 475°C, valoración por espectrofotometría de absorción atómica; B: boro total calcinación a 475°C, valoración colorimétrica con azometina-H; S: azufre total incineración con nitrato de magnesio - turbidimétrico; MS: materia seca, secado hasta peso constante a 60°C; cenizas: calcinación a 475°C.

Diseño experimental

Se realizaron muestreos compuestos completamente al azar en las dos fases del experimento y se evaluó por el método de componentes principales. El área de la parcela experimental fue de 256 m². Se sembraron 16 hileras de habichuela a una distancia de 1 m entre hileras y de 0,5 m entre plantas,

sembrando dos semillas por sitio (40.000 plantas/ha). Se tomó una muestra de 0,5 kg de hojas en cada uno de los tratamientos, durante el periodo vegetativo, para realizar análisis de macro y micronutrientes.

Las variables se determinaron antes y durante la estabilización del abono y durante el desarrollo del cultivo. Antes de la estabilización, la variable determinante fue la temperatura, con la estabilización se determinó la composición química y microbiológica. En el desarrollo del cultivo, las variables analizadas fueron producción y contenido foliar de las hojas durante el estado vegetativo de la plantación, donde se analizó principalmente N, P, Ca y Fe.

Resultados y discusión

Caracterización de materias primas

El proceso de elaboración de abonos orgánicos se inició con la evaluación de materias primas. Para dicho fin, fue necesario hacer evaluaciones de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, teniendo presente la normatividad vigente colombiana que regula los materiales orgánicos usados como fertilizantes y acondicionadores de suelos. Se tuvo en cuenta lo estipulado por la NTC 5167, donde se reglamentan los limitantes actuales para el uso de materiales orgánicos, los parámetros físicos, químicos, los límites máximos de metales pesados y enuncia algunos parámetros para los análisis microbiológicos.

Las materias primas utilizadas en el proceso fueron examinadas a fin de eliminar la presencia de macro contaminantes como por ejemplo plástico, metal y caucho, entre otros. Sin embargo, no se garantiza la inocuidad microbiológica de estas. Según la norma, el compost utilizado como fertilizante y acondicionador orgánico de origen no pedogenético, deberá demostrar una composición microbiológica específica (Tabla 2).

Tabla 2. Composición microbiológica de los abonos según NTC 5167 del 28 de mayo del 2003.

Células viables	Composición del producto final
<i>Salmonella</i> sp.	Ausentes en 25 g
Enterobacterias totales	Menos de 100 ufc/g
Microorganismos benéficos	Presencia de microorganismos mesófilos aerobios, mohos y levaduras

Según lo reportado en el análisis microbiológico de los estiércoles utilizados para la fabricación de los abonos de estudio se reporta la presencia de coliformes, lo cual según la norma no pueden estar presentes en tales enmiendas (Tabla 3).

Tabla 3. Caracterización microbiológica de la gallinaza utilizada.

Parámetro	Unidad (ufc/g)
Bacterias mesófilas aerobias	$48 \cdot 10^5$
Hongos filamentosos y levaduras	$< 10^2$
Solubilizadores de fósforo	$< 10^2$
Fijadores de nitrógeno de vida libre	$< 10^2$
Actinomicetos	$< 10^2$
Coliformes totales	270
Coliformes fecales	10
<i>E. coli</i>	Presencia

Elaboración de mezclas

Posterior a la caracterización de las materias primas se procedió a la formación de las diferentes mezclas, las cuales corresponden cada una a un tratamiento.

Se hizo énfasis en la etapa de elaboración de mezclas, en la metodología de investigación acción participativa, que se llevan a cabo con la asociación Asosusagramal del municipio de Fómeque, Cundinamarca (Figura 1). La idea de la comunidad consistió en manejar técnicamente los residuos animales con mayor disponibilidad en la región, como lo es

la gallinaza y la porquinaza, los cuales por el mal manejo actual generan problemas sanitarios en las plantaciones, por ende pérdidas económicas que repercuten en la calidad de vida de los productores. Se realizaron talleres a la comunidad sobre la importancia del adecuado manejo de los residuos animales para su posterior aplicación en los cultivos (Figuras 1 y 2).



Figura 1. Elaboración de abonos en Fómeeque, Cundinamarca. (Foto: Argüello, H.).



Figura 2. Proceso de capacitación en Fómeeque, Cundinamarca. (Foto: Argüello, H.).

Fases de descomposición

La Figura 3 muestra el comportamiento de la temperatura de los diferentes tratamientos elaborados a partir de los materiales que se encuentran en la zona. De acuerdo con la evaluación de temperatura, al cabo de tres semanas de haber iniciado el proceso de descomposición en cada una de las pilas, esta y el proceso de fermentación se habían estabilizado. Los resultados indican una fase termofílica de corta duración, aproximadamente 5 días. No obstante, esta no es de igual intensidad, en las diferentes pilas se observa un mayor aumento de temperatura cercano al máximo permitido para la elaboración de abonos tipo bocashi con los sustratos que contienen en alguno de sus componentes gallinaza, a diferencia de los sustratos que no contienen gallinaza, los cuales no exceden los 43°C en la fase de mayor temperatura, mas no la fase termofílica la cual según la literatura debe ser mayor de 45°C.

En la fase de enfriamiento el proceso alcanzó aproximadamente 3 días, en la cual se presentó un comportamiento diferente respecto a la fase anterior y en donde los diferentes materiales no generaron una diferencia en el

comportamiento de la temperatura, aunque el comportamiento general mostró que los materiales con gallinaza tienden a mantener temperaturas más altas respecto a los tratamientos a base de porquinaza, lo que repercute en la fase de maduración o estabilización donde se esperaba la temperatura bajara a valores cercanos a la temperatura ambiente. No obstante, se observó el mismo comportamiento durante todo el proceso y es que las mezclas que tenían en su composición gallinaza, fueron las que presentaron temperaturas más altas con un promedio de 28°C, a diferencia de los materiales a base de porquinaza, los cuales mantuvieron el rango más cercano a la temperatura ambiente que oscila entre los 18 y 20°C.

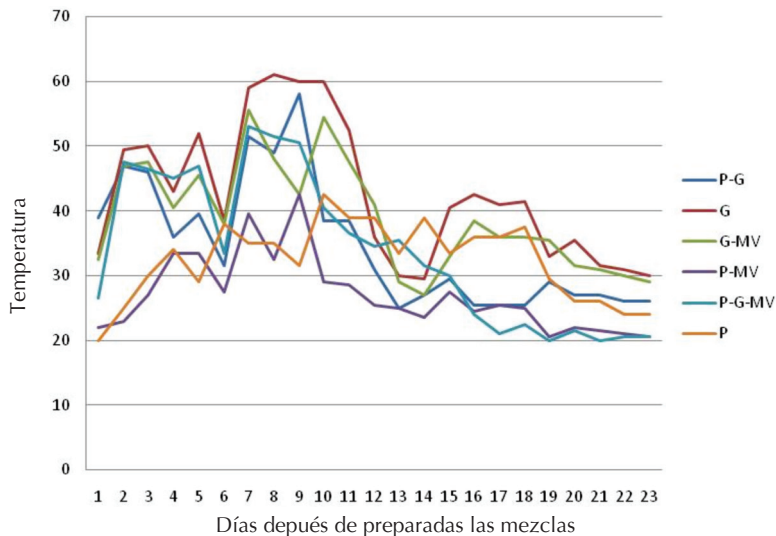


Figura 3. Comportamiento de la temperatura (°C) en el proceso de descomposición de las diferentes mezclas en Fόμεque, Cundinamarca. P + G, porquinaza más gallinaza; G, gallinaza; G + RV, gallinaza más residuos vegetales; P + RV, porquinaza más residuos vegetales; P + G + RV, porquinaza más gallinaza más residuos vegetales; P, porquinaza.

Estabilización biológica de los sustratos

Luego de estabilizadas físicamente las diferentes mezclas, se observó la eliminación de microorganismos patógenos (Tabla 4) y aumento de las poblaciones de organismos benéficos (Tabla 5), los cuales cumplen diferentes funciones fisiológicas y de sanidad dentro de las plantaciones de interés, además del cumplimiento de la normatividad (mencionada en la caracterización de las materias primas) en cuanto a inocuidad del abono, para su posterior utilización como acondicionador y/o enmienda del suelo.

Tabla 4. Organismos patógenos en las diferentes muestras de abono, después de tres semanas de descomposición en Fómeque, Cundinamarca.

	Coliformes totales	Coliformes fecales	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella sp.</i> y <i>Shigella sp.</i>
(ufc/g)				
P+G	20x10 ³	< 1	Ausencia	Ausencia
G	< 10 ²	< 1	Ausencia	Ausencia
G+RV	90x10 ¹	< 1	Ausencia	Ausencia
P+RV	70x10 ¹	< 1	Ausencia	Ausencia
P+G+RV	17x10 ³	< 1	Ausencia	Ausencia
P	70x10 ¹	< 1	Ausencia	Ausencia

P + G, porquinaza más gallinaza; G, gallinaza; G + RV, gallinaza más residuos vegetales; P + RV, porquinaza más residuos vegetales; P + G + RV, porquinaza más gallinaza más residuos vegetales; P, porquinaza.

Tabla 5. Células viables de microorganismos benéficos de los diferentes abonos en Fómeque, Cundinamarca.

	Fijadores de nitrógeno de vida libre	Solubilizadores de fósforo	Bacterias mesófilas aerobias	Hongos filamentosos y levaduras	Actinomicetos	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
(ufc/g)						
P+G	70x10 ³	32x10 ²	13x10 ⁸	30x10 ⁴	22x10 ⁴	50x10 ⁴
G	10x10 ³	10x10 ³	23x10 ⁶	70x10 ² y 20x10 ⁴ levaduras	15x10 ⁴	20x10 ³
G+RV	80x10 ⁴	49x10 ⁴	55x10 ⁶	30x10 ⁴ y 12x10 ⁴ levaduras	31x10 ⁴	40x10 ⁴
P+RV	31x10 ⁴	38x10 ⁴	14x10 ⁷	78x10 ³	65x10 ⁵	10x10 ³
P+G+RV	56x10 ⁴	39x10 ⁴	42x10 ⁶	72x10 ³	25x10 ³	20x10 ⁴
P	37x10 ⁵	20x10 ⁴	35x10 ⁶	75x10 ³	10x10 ⁵	10x10 ³

P + G, porquinaza más gallinaza; G, gallinaza; G + RV, gallinaza más residuos vegetales; P + RV, porquinaza más residuos vegetales; P + G + RV, porquinaza más gallinaza más residuos vegetales; P, porquinaza.

Relación suelo-microorganismo

Garantizada la inocuidad de los abonos se procedió a realizar la caracterización química de cada uno de ellos, para determinar la concentración de macro y micronutrientes (Tabla 6, Figuras 4 y 5) y determinar así, la relación que tiene dicha composición con el crecimiento de las diferentes poblaciones microbianas, las cuales cumplirán diferentes funciones fisiológicas dentro del cultivo.

Tabla 6. Composición química de abonos en Fόμεque, Cundinamarca.

Tratamientos	M.O. (%)	(%)										pH	CE (dS m ⁻¹)	CIC (Cmol kg ⁻¹)	C/N	
		C	N	P	Ca	K	Mg	Cu	Fe	Mn (mg kg ⁻¹)	Zn					B
P+G	24	13,7	2,11	2,11	6,32	1,71	0,96	114	11,821	503	579	130	8,08	17,8	33,7	6,51
G	24	14,1	1,71	2,03	3,75	1,02	0,88	150	16,865	496	878	110	6,74	21,3	46,9	8,25
G+RV	23	13,4	1,94	1,95	8,99	1,82	0,75	47,4	5,039	425	625	164	9,02	20,2	39,4	6,93
P+RV	25	14,4	2,16	1,97	6,29	1,56	0,95	118	9,492	482	684	116	7,54	19,3	35,6	6,66
P+G+RV	21	12,4	1,95	2,20	4,05	0,99	1,01	175	13,808	547	961	101	6,56	19,0	34,2	6,36
P	31	18,1	1,89	1,91	7,18	2,01	0,76	55,9	3,959	438	966	289	8,68	16	41,3	9,58

P + G, porquinaza más gallinaza; G + RV, gallinaza más residuos vegetales; P + RV, porquinaza más residuos vegetales; P + G + RV, porquinaza más gallinaza más residuos vegetales; P, porquinaza.

Se observa que la porquinaza y la gallinaza, aunque solas presentan contenidos importantes de macro y micronutrientes, al mezclarse entre sí y con los residuos vegetales mejoran considerablemente la oferta de estos elementos para el cultivo. Esta observación coincide con los resultados obtenidos que evaluaron la gallinaza de aves de jaula en mezcla con otros subproductos.

Las Figuras 4 y 5 muestran el análisis por componentes principales y las posibles interacciones entre los sustratos, los microorganismos y la composición de los nutrientes en las hojas del cultivo.

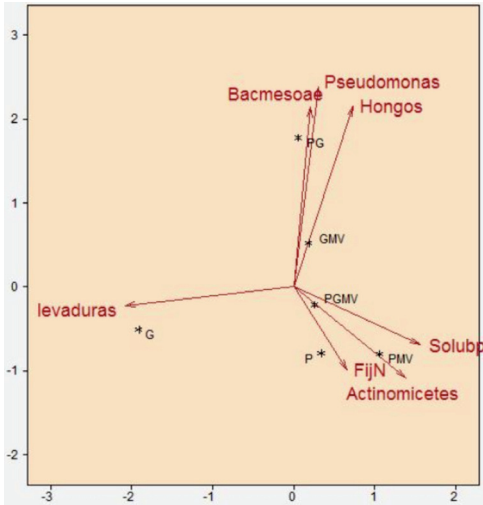


Figura 4. Relación sustrato - microorganismo en abonos compostados por bocashi en Fómeque, Cundinamarca.

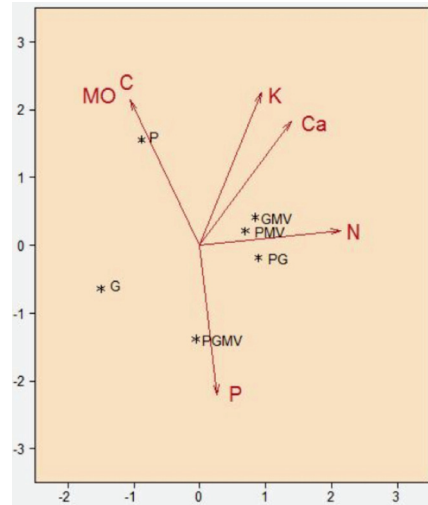


Figura 5. Relación sustrato - composición química de los abonos compostados por bocashi en Fómeque, Cundinamarca.

Stevenson (1986) y Epstein (1997), demuestran que la relación Carbono: Nitrógeno (C/N), juega un papel fundamental en la mineralización de N de un abono, ya que los contenidos de C y N son esenciales para la vida y la reproducción de los microorganismos, estos necesitan C como fuente de energía y N para la síntesis de proteínas y estructuras celulares. Según Primavessi, 1984, la mayoría de microorganismos necesitan para la formación de sus proteínas una proporción de 10 partes de carbono por una de nitrógeno, sin embargo las relaciones C/N registradas estuvieron por debajo y aunque dicha relación no afectó el proceso normal de

compostaje, se pudo presentar pérdidas por exceso de nitrógeno en forma de amoníaco. No obstante, durante el proceso no se registraron malos olores característicos de la volatilización del nitrógeno.

Según lo registrado en la Tabla 7 de correlaciones, se observó una alta correlación entre el contenido de carbono del sustrato y el crecimiento de organismos fijadores de nitrógeno, tal como se registra en la literatura, sin embargo, no existe la misma correlación entre los contenidos de nitrógeno del sustrato y el crecimiento de organismos fijadores de nitrógeno, posiblemente por las altas concentraciones de nitrógeno presentes en los sustratos.

Tabla 7. Correlaciones entre los grupos funcionales de microorganismos y los nutrientes de las enmiendas.

	Bacterias mesofilas	Levaduras	Actinomicetos	Solubilizadores de fósforo	<i>Pseudomonas</i> sp.	Hongos filamentosos	Fijadores nitrógeno
Nitrógeno	0,5195		0,5949	0,2764	0,3506	0,4545	0,6947
Fósforo	0,3485	-0,192	-0,3601	-0,1499	0,3562	-0,00076	
Hierro foliar				-0,8656			
Fósforo foliar				0,5748			
Carbono	-0,1697	-0,1934	0,1426	-0,2268	-0,5	-0,2689	0,87436
Calcio	0,074	-0,143	0,1155	0,435	0,3881	0,6909	
Potasio	0,236	-0,346	0,1506		0,2316	0,5414	
Magnesio	0,3608		0,1985	-0,155		-0,1917	
pH	0,1551	-0,1287	-0,0245	0,2164	0,3667	0,6596	
Materia orgánica	-0,169	-0,193	0,1431	-0,2269	-0,5	-0,269	

Se observó que, los excesos de nitrógeno registrados con relaciones C/N bajas generan una baja de la actividad de los microorganismos fijadores de vida libre de nitrógeno y cuando la relación C/N se acerca al óptimo estado, dichos microorganismos presentan un aumento en su crecimiento como el registrado en el tratamiento de porquinaza. Es importante tener en cuenta que, el rango de condiciones ambientales para la fijación no simbiótica de nitrógeno es muy estrecho, en algunos casos como por ejemplo con *Azotobacter* sp., *Azospirillum* sp. (Bashan, 1999) y *Herbaspirillum* sp.

(Kennedy *et al.*, 2004), entre otros; esta fijación solo es posible si están disponibles como sustratos fuentes de carbono fácilmente metabolizables y los compuestos nitrogenados (como amonio y nitratos) estén ausentes o en concentraciones muy bajas (Lavelle, 2001).

La presencia de actinomicetos está dada por la abundancia de calcio, además de un alto contenido de materia orgánica. El rango de pH óptimo para la actividad de dichos microorganismos se encuentra entre 6,5 y 8,0 (Correa, 2008). Cuando existen altas concentraciones de fósforo y/o nitrógeno la síntesis de antibióticos producida por los actinomicetos disminuye (Coyne, 1999).

Se observó que no hay correlación estadística entre los actinomicetos y los valores de pH, materia orgánica y calcio registrados en los abonos orgánicos. No obstante, el tratamiento de porquinaza más material vegetal que presenta un pH ligeramente alcalino favorece el mayor crecimiento de actinomicetos y con la disminución de pH, que es directamente proporcional al contenido de calcio, disminuye el crecimiento de dichos microorganismos y aunque los valores de calcio aumenten hasta un pH cercano a 8,68 como el registrado en el tratamiento de porquinaza, las poblaciones microbianas del grupo de actinomicetos se mantienen en un rango óptimo de crecimiento (en suelos fértiles, se registran concentraciones de 10^6 ufc/g de suelo seco), similar a los que se encuentran en un pH ligeramente alcalino. Superior a este valor se empiezan a registrar disminuciones en el crecimiento, cercanas a las que se presentan con pH ligeramente ácidos, aunque los óptimos de crecimiento se mantienen de acuerdo a lo reportado en suelos fértiles.

Por otro lado, según lo reportado en los niveles críticos para interpretar los análisis químicos de suelos, las concentraciones de N y P se encuentran en un rango alto, lo que repercutiría en la síntesis de antibióticos que se presenta cuando el crecimiento de dichos microorganismos disminuye, por tanto, aunque se registre un adecuado crecimiento, las propiedades de dichos antibióticos de inhibir el crecimiento de otras bacterias, hongos, virus y protozoos; estaría limitada. No obstante, son microorganismos importantes en la mineralización del carbono y el nitrógeno, y en la descomposición de la materia orgánica presente en el suelo. La descomposición de la materia orgánica en el suelo es llevada a cabo por los actinomicetos gracias a la

diversidad de enzimas hidrolíticas, ligninolíticas y por la capacidad de degradar compuestos recalcitrantes presentes en la materia orgánica que es mineralizada en el suelo (Sylvia *et al.*, 1998).

El fósforo orgánico puede ser mineralizado mediante la acción de enzimas específicas de tipo fosfatasa que son reguladas por la demanda de este nutriente (Picone y Zamuner, 2002). A pH alto o bajo puede desnaturalizarse la enzima fosfatasa y por consiguiente inactivarse. La fosfatasa ácida es más activa a pH 5,0 mientras que la fosfatasa alcalina lo es a pH 9,0 (Pant y Warman, 2000). El mecanismo de solubilización en los suelos se favorece cuando estos presentan pH bajos, con un bajo contenido en calcio y alto contenido de materia orgánica como fuente de fósforo orgánico (Guerrero, 1996).

En la Tabla 7 se indica la usencia de correlación entre los organismos solubilizadores de fósforo con los valores de pH, fósforo, calcio y materia orgánica registrados en los abonos orgánicos. No obstante, los contenidos de fósforo en el sustrato no son garantía de su disponibilidad para los vegetales, debido a la fuerte reacción con iones como el calcio, el hierro o el aluminio que provocan su precipitación o fijación, (Fernández *et al.*, 2005), por tanto, se debe tener en cuenta la producción de fosfatasas que son las enzimas que permiten la solubilización del nutriente y su posterior toma por parte de la planta.

Por lo anterior, en la evaluación de la relación del contenido foliar con el crecimiento de los microorganismos se estableció la relación microorganismo - suelo - planta. Además, se tuvo en cuenta que adicional al papel directo que tienen los microorganismos sobre la solubilización del fósforo, los microorganismos implicados pueden mejorar el crecimiento de las plantas al incrementar la eficiencia de la fijación simbiótica de nitrógeno, aumentar la disponibilidad de otros elementos traza como Fe y Zn, además de producir sustancias promotoras de crecimiento vegetal (Gyaneshwar *et al.*, 2002).

Fisiológicamente los hongos se adaptan a condiciones más severas que otros microorganismos, su desarrollo en sustratos puede darse en concentraciones de azúcares elevados, hasta el 10%, debido a que estos microorganismos no son sensibles a la presión osmótica elevada (Moreno, 2000). Los hongos filamentosos resisten condiciones de acidez

relativamente altas (pH entre 2-9 con un óptimo pH 5-6) (Moreno, 2000; Kavanagh, 2005). Una disminución en el crecimiento de hongos filamentosos se debe a sustratos con alto contenido de nitrógeno y agotamiento de la fuente de carbono (Kavanagh, 2005). Además, los hongos, necesitan macronutrientes y micronutrientes (Kendrick, 2000).

En la Tabla 7 se muestra que no hay correlación entre los hongos filamentosos y los valores de pH, macroelementos y microelementos registrados en los abonos orgánicos. Sin embargo, se observó que el mayor crecimiento de hongos filamentosos semejante a lo reportado en suelos de pradera, bien aireados con valores de 2×10^4 a 1×10^6 esporas o hifas de hongo por gramo de suelo (Coyne, 1999), se registra en los sustratos de porquinaza más gallinaza y gallinaza más material vegetal los cuales tienen un pH de *fuertemente alcalino* a *muy fuertemente alcalino* respectivamente, una relación C/N baja y una composición nutricional que en su conjunto presenta un promedio tanto de macronutrientes como de micronutrientes. No obstante, a pesar que se encuentran tratamientos con pH cercano al óptimo pero con una relación C/N más alta, se presenta un menor crecimiento de dichos microorganismos, por tanto, se difiere que es más importante para el crecimiento de los hongos filamentosos la disponibilidad de nutrientes que un pH cercano al óptimo.

Los nutrientes son uno de los factores más relevantes por ser sustancias químicas necesarias para la actividad microbiana y metabólica de la *Pseudomonas* sp. (Viñas, 2005; Swindoll *et al.*, 1988). Los macronutrientes de mayor importancia metabólica son el carbono, nitrógeno, fósforo y potasio (Cantwell *et al.*, 1978; Pardo *et al.*, 2004). Si la concentración de nutrientes inorgánicos como N y P es baja, se produce una relación C/N y C/P muy alta, lo que no es favorable para el crecimiento microbiano. Las especies del género *Pseudomonas* necesitan en su óptimo desarrollo una relación C: N: P en un rango de 100:10:1 a 100:2:0,2 (Krieg y Holt, 1984) y preferiblemente un pH neutro. La fuente de micronutrientes constituye un conjunto variado de elementos entre los que se encuentra el hierro, cobre, zinc, azufre, cobalto, manganeso, magnesio y calcio (Pereira y Morgan, 1957).

Las tablas de correlación indican que no hay correlación entre *Pseudomonas* sp. y los valores de pH, fósforo y potasio registrados en los abonos orgánicos, además, ningún tratamiento mantiene una relación

C:N:P cercana al óptimo, porque se registran relaciones próximas a 10:1:1; sin embargo, a pesar de no mantener dichas relaciones, se presenta un crecimiento superior de bacterias solubilizadoras de fósforo en sustratos que conservaban un pH *fuertemente alcalino a ligeramente alcalino* como se registra en los sustratos de gallinaza más material vegetal y porquinaza más material vegetal, respectivamente; además de estar los sustratos con una composición nutricional que en su conjunto muestra un promedio tanto de macronutrientes como de micronutrientes. No obstante, se presenta un registro en rangos de ufc/g de *Pseudomonas* sp. similar en los casos anteriores que es el caso de porquinaza más gallinaza más material vegetal, con un pH neutro aunque difiere en cuanto al contenido de macronutrientes y micronutrientes presentes en el abono y mantiene relaciones C/N bajas igual que en los dos casos anteriores.

La mayoría de las especies mesófilas se desarrollan en pH entre 4,5 y 9,0 con un óptimo entre 6,5 y 7,5 (Carpenter, 2000). Como muestra la Tabla 7, no se encontró correlación entre bacterias mesófilas aerobias y los valores de pH, registrados en los abonos orgánicos. Se observa que de los grupos de microorganismos evaluados, las bacterias mesófilas fueron las que presentaron un mayor crecimiento, posiblemente al rango tan amplio de pH en el que se desarrollan, entre otras causas. Los sustratos donde se registraron los valores más altos de unidades formadoras de colonia fueron los elaborados a base de porquinaza más material vegetal y porquinaza más gallinaza, que presentan pH de *mediana a altamente alcalino* respectivamente y al igual que en los dos casos anteriores, son los sustratos con una composición nutricional que en su conjunto registran un promedio tanto de macronutrientes como de micronutrientes.

Las levaduras toleran un rango de pH entre 3 y 10, pero prefieren un medio ligeramente ácido con un pH de 4,5 a 6,5 y el género *Saccharomyce* se ve favorecido por un pH de 4 a 5. Dentro de sus requerimientos nutricionales se encuentra principalmente el carbono y el nitrógeno, sin embargo, otros elementos como fósforo, azufre, potasio, magnesio, calcio, zinc y manganeso son importantes dentro de su metabolismo. No hay correlación entre el crecimiento de las levaduras y los valores de pH, macroelementos y microelementos registrados en dos mezclas (gallinaza y gallinaza más residuos vegetales).

Relación suelo - planta - microorganismo

Se evaluó la relación entre la composición química del abono, el crecimiento de microorganismos y la toma de nutrientes por parte de la planta, priorizando en el N y el P por la complejidad en sus ciclos y el flujo de entrada de dichos nutrientes a la planta (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis foliar del cultivo de habichuela fertilizados abonos compostados por bocashi en Fómeque, Cundinamarca.

TTOS	N	P	Ca	K	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	%					(mg kg ⁻¹)				
P-G	3,97	0,50	3,79	3,40	0,68	12,3	785	34,4	177	94,0
G	4,10	0,41	4,46	4,02	0,78	11,7	554	28,5	187	96,5
G-RV	4,20	0,46	3,74	2,89	0,65	11,2	266	27,0	42,2	25,1
P-RV	4,17	0,45	4,13	2,95	0,70	12,0	354	25,8	222	124
P-G-RV	4,54	0,50	4,37	3,41	0,72	11,7	369	33,2	57,6	28,2
P	4,55	0,46	3,90	3,10	0,63	12,5	356	16,1	56,7	30,6
Químico	4,14	0,43	3,79	3,10	0,61	17,3	396	48,5	201	115
Blanco	4,20	0,54	3,54	3,24	0,56	15,9	458	22,8	190	129

P + G, porquinaza más gallinaza; G, gallinaza; G + RV, gallinaza más residuos vegetales; P + RV, porquinaza más residuos vegetales; P + G + RV, porquinaza más gallinaza más residuos vegetales; P, porquinaza.

Tabla 9. Registro de cosecha por tratamiento en ha de abonos compostados por bocashi en Fómeque, Cundinamarca.

TTO	Mar-20	Mar-27	Mar-31	Abr-03	Abr-07	Abr-10	Total	Total/ha
P+G	0,65	13,5	8,25	5,75	8	8,15	44,3	3691,5
G	0,65	9,75	6,15	7	7,65	6,75	37,95	3162,4
G+MV	1	9,65	8,5	8,75	10,15	9,65	47,7	3974,8
P+MV	2,65	10	11,5	7,75	7	7,75	46,65	3887,3
P+G+MV	2,5	12,15	12	8	7,25	7,75	49,65	4137,3
P	3,25	10,65	9,75	5,65	5,15	4,15	38,6	3216,5
Control	3,25	9	11,15	5,25	6,25	5	39,9	3324,9
Químico	3	7	7	9,25	10	9,25	45,5	3791,5

P + G, porquinaza más gallinaza; G, gallinaza; G + RV, gallinaza más residuos vegetales; P + RV, porquinaza más residuos vegetales; P + G + RV, porquinaza más gallinaza más residuos vegetales; P, porquinaza.

Se observa que el contenido de macro y micro nutrientes encontrado en las hojas del cultivo fue muy similar entre todos los tratamientos y el testigo. Las altas cantidades de nitrógeno y otros nutrientes encontradas en el control, pueden deberse a la fijación simbiótica y a solubilizadores presentes en el suelo. Sin embargo, como se aprecia en la Tabla 9, la producción de habichuela es similar entre el control y la aplicación independiente de gallinaza o porquinaza, pero cuando estas últimas fueron aplicadas en mezcla, ya sea entre ellas y con residuos vegetales, se logran rendimientos más altos, no solo comparados con el control sino también cuando se comparan con el tratamiento químico convencional, corroborando lo encontrado por Socorro y Parets (2001) en Cuba.

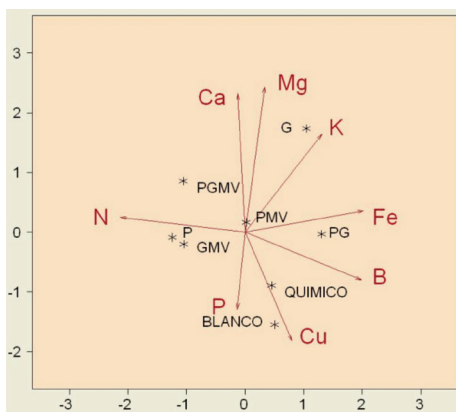


Figura 6. Relación sustrato - composición foliar en cultivo de habichuela.

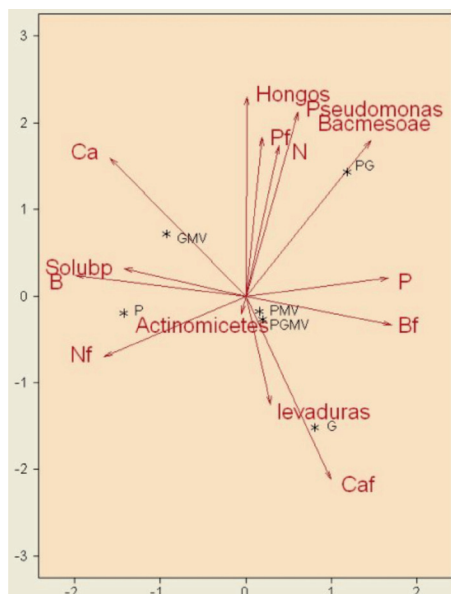


Figura 7. Relación sustrato - microorganismo - composición foliar en el cultivo de habichuela.

En cuanto a la concentración de nitrógeno en hojas, los tratamientos con mayor concentración son los que están elaborados a base de porquinaza y porquinaza más gallinaza más residuos vegetales que no necesariamente corresponde a la mayor concentración química del abono en cuanto a dicho elemento. El tratamiento a base de porquinaza fue el que permitió un mayor crecimiento de microorganismos fijadores de vida libre de nitrógeno, los cuales han sido estudiados como productores de sustancias

fisiológicamente activas que provocan la alteración en la morfología de las raíces, con aumento del número de pelos radicales laterales y aumento en longitud y peso seco de la raíz; lo que a su vez incide en una mayor superficie disponible para los nutrientes (Parra y Cuevas, 2001; Steenhoudt y Vanderleyden, 2000). En la Tabla 7 se indica que no hay correlación estadística entre los organismos fijadores de nitrógeno y los valores de nitrógeno foliar, registrados en los diferentes abonos.

Parte del fósforo es inmovilizada por los microorganismos que causan la descomposición, presentando las plantas superiores una concentración de 0,5 a 5,0% (Campbell, 1987), se observó también en el contenido foliar que dicho porcentaje, aparece sin diferencias significativas en los diferentes tratamientos.

Con los adecuados niveles de fósforo los microorganismos son benéficos para la planta, especialmente en plántulas jóvenes, las cuales absorben más fósforo cuando crecen con microorganismos, que sin ellos. Sin embargo, en el contenido foliar no hay diferencias significativas entre los tratamientos que contienen en su composición microorganismos solubilizadores de fósforo y los que no lo presentan o presentan un contenido menor. La Tabla 7 indica además, que no hay correlación entre los organismos solubilizadores de fósforo y los valores de fósforo foliar registrados en los diferentes abonos. No obstante, los tratamientos que contienen un mayor contenido de fósforo en las hojas, contenían así mismo el mayor contenido de fósforo en el sustrato, los cuales son los abonos a base de porquinaza más gallinaza y porquinaza más gallinaza más residuos vegetales.

Por otra parte, los contenidos de fósforo y potasio foliar no tienen una relación con los contenidos de calcio en el sustrato, lo cual está en contravía según lo reportado por Fenn *et al.* (1995), quien afirma que el calcio aumenta la absorción de amonio, potasio y fósforo.

En cuanto al hierro, se observa que la mayor concentración en las hojas se encuentra en el tratamiento de porquinaza y gallinaza, no obstante no es el tratamiento con mayor contenido de dicho micronutriente en el sustrato, pero sí es el que permite un mayor crecimiento de *P.*

fluorescens, las cuales reducen Fe^{3+} a Fe^{2+} que es la forma requerida por las plantas (Marschner, 1997). Estadísticamente no hay correlación entre los organismos solubilizadores de fósforo y los valores de hierro foliar registrados en los diferentes abonos.

A pesar que el tratamiento de porquinaza más material vegetal presenta un pH ligeramente alcalino, lo que favorece el mayor crecimiento de actinomicetos, esto no tiene una relación con la toma de calcio por parte de la planta, pues se observa que el tratamiento con mayor contenido de calcio foliar es el sustrato a base de gallinaza que es inversamente proporcional al contenido de calcio en el sustrato, el cual es el tratamiento que menos calcio contiene en su composición química.

Conclusiones

Se observa que aunque los rangos de pH de los sustratos en donde se presentó el desarrollo de las levaduras no es el óptimo por estar en valores alcalinos, hay crecimiento de dichos microorganismos, posiblemente por la adaptación de los mismos a estos medios de cultivo y por la amplia tolerancia de esta levadura a variaciones de pH.

Según el estudio realizado no fue necesario llegar en la preparación de los abonos a la fase hemofílica para asegurar la muerte de microorganismos patógenos, pues se observa que los sustratos a base de porquinaza no lograron alcanzar una temperatura superior a los $43^{\circ}C$, a pesar de este hecho hubo una eliminación de coliformes totales, coliformes fecales, *E. coli* y *Salmonella* sp.; y al contrario, las mezclas que en algunos de sus componentes tenían gallinaza, que a su vez alcanzaron las temperaturas más altas, fueron los sustratos con mayor concentración de coliformes totales, No obstante, según reportes la eliminación de coliformes fecales y *Salmonella* sp., no es efectiva en temperaturas inferiores a los $60^{\circ}C$, por lo que posiblemente, dicha eliminación se debe a que en el manejo de las materias primas la porquinaza se trata con grandes cantidades de carbonato de calcio o cal agrícola, para evitar malos olores y moscas en las porquerizas.

Aunque la estabilización alcalina de abonos como alternativa para el control de patógenos se relaciona con la elevación de pH, no hay una relación directa en el caso de estudio, por lo que posiblemente la eliminación de patógenos mencionada anteriormente, se debe a la acción cáustica y tóxica de la cal; no obstante, por ser materiales expuestos a la intemperie presentan un lavado de nutrientes, en los que se encuentra el calcio, que además es un material altamente lavable, por lo que en algunos casos, el análisis químico inicial no registra valores altos de dicho elemento.

Con respecto a los abonos elaborados en sus diferentes combinaciones con material vegetal, porquinaza y gallinaza, el abono que en su conjunto contiene la concentración más alta de macro y microelementos y el valor de coliformes totales más bajo es el elaborado a base de porquinaza más material vegetal, el cual además es el tratamiento que concentra en las hojas la mayor cantidad de macroelementos y que comparado con la fertilización química, no presenta diferencias significativas en la producción de la habichuela.

Dicho abono orgánico se convierte en una buena alternativa, frente al manejo convencional de la producción a pequeña o a gran escala de habichuela, puesto que comparado con el tratamiento químico, este presenta un potencial microbiológico que contribuye en el tiempo a la sostenibilidad económica y ambiental del cultivo y a la preservación de la calidad ambiental actual, por la disminución sustancial de sustancias de síntesis química utilizadas para el manejo en el cultivo de plagas y enfermedades.

En este tipo de abonos orgánicos se pueden establecer grupos funcionales de interés agrícola, específicamente biofertilización por microorganismos fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fósforo, hongos filamentosos y levaduras, actinomicetos y bacterias mesófilas aerobias, principalmente.

Recomendaciones

Es importante en un segundo ejercicio realizar una comparación de fórmulas en la preparación de abonos, por viabilidad económica del proceso en

el momento de preparación por parte de los campesinos. Se requiere comparar los abonos preparados de forma convencional es decir, en los que se utiliza levadura de panadería, mantillo de bosque y suero de leche, entre otros; como fuentes de microorganismos y alimento de los mismos, otros en los que la fuente de microorganismos y alimento sean los que se venden comercialmente, es decir, microorganismos eficientes procesados por Fundases y otros que no se les agregue nada, es decir que la fuente de microorganismos y alimento sea la que le proporcionan los materiales de origen. El objetivo sería observar si es necesario para la elaboración de un buen bocashi la utilización de microorganismos eficientes, que tienen un costo en el mercado y que algunos campesinos no pueden acceder a ellos, y si por el contrario, utilizando fuentes tradicionales de microorganismos se obtienen similares resultados en la producción agrícola.

Es necesario realizar pruebas en donde se observe el proceso de transición de la agricultura convencional a la agricultura ecológica, puesto que con el ejercicio se observaron algunos cambios tanto cuantitativos como cualitativos en la producción; sin embargo, por el manejo que se ha realizado en tiempos pasados por parte de los agricultores con un exceso de uso de fertilizantes de síntesis química, pueden generarse datos erróneos que no reflejan la verdadera potencialidad de los abonos, que buscan convertirse en una alternativa a la agricultura convencional, practicada por el 99% de los campesinos de la región.

Literatura citada

- Atlas, M. y R. Bartha. 2002. Ecología microbiana y microbiología ambiental. 4a ed. Editorial Dickinson, Madrid.
- Bashan, Y. 1999. Interactions of *Azospirillum* spp. in soil: a review. Biol. Fertil. Soils 29, 246-256.
- Burges, A. y F. Raw. 1983. Biología del suelo. Ediciones Omega, Barcelona, España.
- Campbell, R. 1987. Ecología microbiana. Editorial Limusa. México DF.
- Cantwell, S., E. Lau, D., Watt y R. Fall. 1978. Biodegradation of acyclic isoprenoids by *Pseudomonas* species. J. Bacteriol. 135, 324-333.
- Carpenter, R. 2000. Análisis sensorial en el desarrollo y control de la calidad de los alimentos. Editorial Acribia, Zaragoza, España.

- Castellanos, D. 2004. Caracterización parcial de algunas enzimas degradadoras de pared celular vegetal obtenidas de microorganismos aislados de muestras de suelo. Compost y caldos microbianos de rizosfera. Tesis de maestría. Maestría Interfacultades en Microbiología. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Correa, M. 2008. Evaluación de caracteres PGPR en Actinomicetos e interacciones de estas rizobacterias con hongos formadores de micorrizas. Tesis de doctorado. Departamento de Fisiología Vegetal, Editorial de la Universidad de Granada, Granada, España.
- Coyne, M. 1999. Soil microbiology: An exploratory approach. Delmar Publishers, Madrid.
- Difco. 2007. Manual de medios de cultivo. En: www.difco.com; consulta: diciembre de 2011.
- Epstein, E. 1997. The science of composting. Technomic Publishing, Laneaster, PA.
- Fenn, L., B. Hasanein y C. Burks. 1995. Calcium-ammonium effects on growth and yield of small grains. Agron. J. 87, 1041-1046.
- Fernández, L., P. Zalba y M. Gómez. 2005. Bacterias solubilizadoras de fosfato inorgánico aisladas de suelos de la región sojera. Cienc. Suelo 23(1), 31-37.
- Fischersworing, B. y R. RoBkamp. 2001. Guía para la caficultura ecológica. 3a ed. Cooperación Técnica Alemana (GTZ), Popayán, Colombia.
- Gómez, F. 2000. Evaluación del bocashi como sustrato para semilleros en la región Atlántica de Costa Rica. Tesis de grado. Universidad EARTH, Guácimo, Costa Rica.
- Guerrero, A. 1996. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Ediciones Mundi-Prensa, Bilbao, España.
- Goyal, S., S. Dhull y K. Kapoor. 2005. Chemical and biological changes during composting of diferent organic wastes and assesment of compost maturity. Bioresour. Technol. 14(96), 1584-1591.
- Gyaneshwar, P., G. Naresh, L. Parekn y P. Poole. 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. Plant Soil 245, 8393-2002.
- Kavanagh, K. 2005. Fungi biology and applications. John Wiley & Sons, Oxford, UK.
- Kendrick, B. 2000. The fifth kingdom. 3a ed. Focus Publishing, Newburyport, MA.

- Kennedy, I., A. Choudhury y M. Kecske. 2004. Non symbiotic bacterial diazotrophs in crop farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? *Soil Biol. Biochem.* 36, 1229-1244.
- Krieg, R. y J. Holt. 1984. *Bergey's manual of systematic bacteriology*. Williams y Wilkins, Baltimore, MD.
- Lavelle, P. 2001. *Soil ecology*. Kluwer Academic Publishers, Londres.
- Madigan, M., J. Martinko y J. Parker. 2003. *Brock biology of microorganisms*. 10a ed. Prentice Hall International, Upper Saddle River, NJ.
- Marschner, H. 1997. *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, Londres.
- Merck. 1994. *Manual de medios de cultivo*. Darmstadt, Alemania
- Moreno, Z. 2000. Correlación de la tasa de crecimiento radial y la tasa de crecimiento específico de hongos filamentosos aislados de la planta *Espeletia barclayana*. Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.
- Novo, R. 1994. Microbiología del suelo y biofertilizantes. En: *Memorias Evento de la Fundación de Asesorías para el sector Rural (Fundasas)*. Bogotá.
- Pant, H. y P. Warman. 2000. Enzymatic hydrolysis of soil organic phosphorus by immobilized phosphatases. *Biol. Fertil. Soil* 30, 306-311.
- Pardo, J., M. Perdomo y J. Benavides. 2004. Efecto de la adición de fertilizantes inorgánicos compuestos en la degradación de hidrocarburos en suelos contaminados con petróleo. *Nova* 2(2), 40-49.
- Parra. Y. y F. Cuevas. 2001. Potencialidades de *Azospirillum* como inoculante para la agricultura. *Cultivos Tropicales* 3(23), 31-41.
- Pereira, J. y M. Morgan. 1957. Nutrition and physiology of *Pseudomonas fragi*. *J. Bacteriol.* 74, 710-713.
- Picone. L. y E. Zamuner. 2002. Fósforo orgánico y fertilidad fosfórica. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 16, 11-15
- Primavesi, A. 1982. *Manejo ecológico del suelo*. Editorial El Ateneo, Buenos Aires.
- Restrepo. J. 1996. *Abonos orgánicos fermentados: experiencias de agricultores en Centroamérica y Brasil*. OIT; Cedeco, San José.
- Restrepo. J. 1998. La idea y el arte de fabricar los abonos orgánicos fermentados: una experiencia de agricultores en Centroamérica y Brasil. pp. 1-27. En: *Agricultura orgánica para principiantes*. Editorial SIMAS, Managua.

- Restrepo, J. 2000. Agricultura orgánica, una teoría y una práctica. Cali, Colombia.
- Rodríguez, M. y G. Paniagua. 1994. Horticultura orgánica: Una guía basada en la experiencia en Laguna de Alfaro Ruiz. Fundación Guilombe, San José, Costa Rica.
- Shimada, T. y M. Rivera. 2000. Preparación del bocashi y su utilización. Proyecto Sanidad Vegetal. Secretaría de Agricultura y Ganadería, Tegucigalpa, Honduras.
- Shintani, M., H. Leblanc y P. Tabor. 2000. Bocashi. Tecnología tradicional adaptada para una agricultura sostenible y un manejo de desechos modernos. Universidad EARTH, Guácimo, Costa Rica.
- Socorro, A. y E. Parets. 2001. Manejo agroecológico de suelos y material vegetal. En: www.Geocities.com/arsocorro/agricola/capituloV_manejo.htm; consulta: diciembre de 2011.
- Steenhoudt, O. y J. Vanderleyden. 2000. *Azospirillum*, a free-living nitrogen fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. *Microbiol. Rev.* 24, 487-506.
- Suárez, A. 1998. Informe anual. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. Tegucigalpa, Honduras.
- Stevenson, F. 1986. Cycles of soil: carbon. nitrogen. phosphorus. sulfur. micronutrients. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Swindoll C., C. Michael, M. Aelion y P. Faender. 1988. Influence of inorganic and organic nutrients on aerobic biodegradation F and on the adaptation response of subsurface microbial communities. *Appl. Environ. Microbiol.* (54), 212-217.
- Sylvia, D., J. Fuhrmann, P. Hartel y D. Zuberer. 1998. Principles and application of soil microbiology. Prentice Hall, Upper Saddle River, NY.
- Valencia, H. 2004. Manual de prácticas de microbiología básica. Notas de clase. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia; Unibiblos, Bogotá.
- Viñas, C. 2005. Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica. Química y ecotoxicológica. Tesis de doctorado. Universidad de Barcelona, Barcelona, España.

Políticas agropecuarias, aprendizajes Grupo Investigación en Gestión y Desarrollo Rural (GIGDR)

Juan Patricio Molina¹

Resumen

De la experiencia en extensión rural que el GIGDR ha venido adelantando hasta 2010 se derivan elementos útiles pertinentes al enfoque de demanda de las políticas agropecuarias. Entre estos, cabe mencionar la importancia del acompañamiento a la formación y fortalecimiento de la organización grupal de los proyectos que ella formula, la construcción de redes y los procesos de extensión –investigación– docencia. Como marco para el análisis se presentan aspectos conceptuales sobre la transformación de la agricultura, los nuevos énfasis de política y sus características en cuanto al enfoque de demanda en la aplicación de convocatorias y fondos competitivos en Colombia.

Palabras clave: *desarrollo rural, extensión, proyectos agropecuarios.*

Introducción

Este artículo sintetiza y examina los aprendizajes que hasta el 2010 ha venido logrando el Grupo de Investigación en Gestión y Desarrollo Rural,

1. Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (Colombia). jpmolinao@unal.edu.co

GIGDR, de la Universidad Nacional en su labor de extensión rural; y a partir de ello, aporta elementos para contribuir a superar limitantes del enfoque de demanda de las políticas agropecuarias, cuyas características principales se repasan. El análisis se enmarca en los nuevos énfasis en las estrategias de desarrollo agropecuario.

Proceso de transformación de la agricultura y marco de política

En el marco de la globalización, se ha venido imponiendo en las políticas agropecuarias el incremento de la productividad y el de la competitividad. Pero se le añaden al crecimiento dos requisitos: disminución de la pobreza y del hambre, y sostenimiento de la base natural (The World Bank, 2005).

El análisis de las relaciones entre crecimiento, condiciones sociales, seguridad alimentaria y recursos naturales podría abordarse desde dos aproximaciones.

Primero, ubicándose en la perspectiva sectorial y examinando a la agricultura como parte central de un sistema conformado al menos por cuatro grandes componentes con los cuales interactúa:

1. las cadenas de valor a las cuales se integra,
2. el territorio en el cual se ubican,
3. el contexto nacional en materia de mercados y de políticas,
4. y el entorno internacional dada la creciente globalización.

Bajo este enfoque los temas de eslabonamientos hacia adelante y hacia atrás, de fortalecimiento de mercados, de productividad y de competitividad se vuelven fundamentales en materia de políticas, cuya pauta está marcada por el objetivo de crecimiento.

Una segunda perspectiva es ubicarse en el enfoque territorial, según el cual lo que importaría sería armonizar y cualificar el entrelazamiento de las dimensiones que hacen parte del territorio, en el marco del desarrollo

sostenible. Entre otras, estas dimensiones corresponden a lo económico, lo social, lo institucional y lo ambiental. Este enfoque supondría que el mejoramiento de la calidad de vida de la gente está directamente asociado al mejoramiento de la calidad de su territorio. Se podría afirmar que ambas perspectivas, más que excluyentes, son complementarias y necesarias.

Algunos elementos conceptuales que ayudarían a entender mejor estos desafíos en lo referente a la aproximación sectorial sistémica son los planteados por Timmer (1997, 1998) y McCalla (1997) en cuanto al proceso de transformación de la agricultura, así:

- i) Crecimiento y diversificación del consumo, como fuerza principal que jalona el proceso de transformación agrario;
- ii) tendencia a la especialización en finca para responder al crecimiento del consumo;
- iii) importancia creciente del comercio y la agroindustria en el proceso de transformación y abastecimiento del consumo;
- iv) papel determinante del comercio internacional en la diversificación y crecimiento del consumo, pero relativa menor diversificación del agregado sectorial de producción agropecuaria;
- v) importancia estratégica de la investigación y el desarrollo tecnológico, sin los cuales no es posible el proceso exitoso de especialización;
- vi) necesidad de políticas agropecuarias más amplias y sofisticadas, no solo referidas a lo sectorial sino también a variables macroeconómicas y de comercio internacional.

Por otro lado, la perspectiva territorial supondría los siguientes cambios de énfasis: del espacio agrícola al espacio rural; del pequeño productor agropecuario a la familia rural ampliada; del empleo agrícola al multiempleo; de la política agrícola a políticas diferenciadas por tipos de unidades familiares y de territorios; de la producción agrícola a los encadenamientos con la agroindustria y los servicios; de la antítesis entre mercado/Estado a su combinación en función de la naturaleza de los bienes y mediante el fortalecimiento de la capacidad de gestión local. Ello se lograría con políticas que, además del crecimiento, enfatizen en la inclusión social y la transformación institucional (Schejtman y Berdegué, 2003).

Algunos elementos de integración parcial de las aproximaciones sectorial y territorial, se encuentran en la propuesta de “Agricultura para el desarrollo” (Banco Mundial, 2008), centrada en cuatro objetivos de políticas para reducir la pobreza rural:

1. mejorar el acceso al mercado y establecer cadenas de valor eficientes (supone fomentar alianzas público privadas);
2. aumentar la competitividad del pequeño productor y facilitar su entrada al mercado (supone políticas comerciales, infraestructura, dotación de activos-tierras- y tecnología, servicios y organizaciones efectivas de productores);
3. mejorar los medios de vida en la agricultura de subsistencia y ocupaciones rurales de baja calificación (supone elevar productividad y diversificar ingresos);
4. e incrementar las oportunidades de empleo en los mercados laborales rurales y las destrezas (supone políticas de mejoramiento del clima de inversiones y de calificación de mano de obra).

Enfoque de demanda de las políticas agropecuarias

Los nuevos énfasis de política han ido acompañados de la utilización del enfoque de demanda. Ello ocurre cuando el Estado considera estratégico actuar sobre la prestación de un servicio, bien sea para corregir fallas de mercado o por razones de equidad o de desarrollo. Por ejemplo, si la asistencia técnica agropecuaria tiene para los usuarios el significado de un bien meritorio en el que la disposición a pagar por el mismo es inferior a su costo, bien sea por la incertidumbre en sus resultados esperados o altos costos por dispersión y dificultad de acceso de los productores, el Estado debe entrar a corregir estas fallas para que la prestación del servicio tenga lugar (Birner y Anderson, 2008). Una forma de hacerlo es a través del enfoque de demanda, utilizando el instrumento de las convocatorias y los fondos competitivos.

Con ese instrumento, el protagonismo de las iniciativas pasa del Estado al sector privado y a la sociedad civil. El Estado define temas prioritarios, convoca a la iniciativa particular o grupal para que los asuman, cofinancia,

fija reglas y condiciones, establece transparencia de procesos, promueve la competencia por el acceso a recursos, selecciona las propuestas ganadoras y evalúa resultados. Los participantes en la convocatoria identifican, formulan, ejecutan y, si es del caso, cofinancian proyectos.

En Colombia, un fondo pionero en el enfoque de demanda fue el Pronatta (operó ocho años desde 1995). Financiaba por convocatoria, bajo el esquema Sintap-Pronatta-Umata, proyectos de transferencia tecnológica apropiados a las necesidades regionales (Meneses, 2000).

A esta experiencia le siguió la convocatoria de Ciencia y Tecnología del Ministerio de Agricultura y luego, en 2007, se expidió la Ley de Agro Ingreso Seguro con base en la cual se adelantó hasta 2010 el programa AIS y posteriormente, a partir de 2011, con el nuevo gobierno, el programa de Desarrollo Rural con Equidad (DRE). La ley mencionada se originó en el contexto de las negociaciones del TLC con Estados Unidos para compensar a las líneas productivas que se verían afectadas (principalmente cereales, con líneas especiales de crédito e incentivos a la capitalización rural). Para darle respuesta a los requerimientos de los gremios de la producción, a este objeto se le sumó otro componente que adquirió gran importancia en cuanto a asignación de recursos: el apoyo a la competitividad y a la inversión agropecuaria (MADR, 2007). Con este componente se financiaron los fondos competitivos para riego y drenaje y para asistencia técnica. Por su parte, el programa DRE focaliza la asignación de recursos en pequeños y medianos productores, e inicia un nuevo diseño de las convocatorias, en particular la de riego y drenaje, para superar los problemas encontrados en el pasado. Durante el primer semestre de 2012 se concretará este nuevo enfoque de convocatoria que, centrado en pequeños y medianos productores, busca fortalecer la formulación de proyectos y la participación regional.

En lo que respecta a las experiencias de las convocatorias entre 2007 y 2009, cabe mencionar una serie de aspectos de los cuales se derivan lecciones importantes para las nuevas políticas:

- a) Dado que su propósito fue beneficiar por igual a grandes, medianos y pequeños productores, se generaron inequidades en la asignación

de recursos. Por ejemplo, en riego y drenaje, el fondo competitivo se basó en una convocatoria de libre concurrencia e igualdad en la participación de actores. Así, las ventajas fueron para los medianos y grandes productores por su mayor capacidad de formulación de proyectos, con contrapartidas más altas. La lección de esta experiencia es que para corregir inequidades los pequeños productores deben contar con convocatorias exclusivas para ellos, con acompañamiento técnico del Estado en la formulación de proyectos y con financiación de los estudios con recursos de las mismas convocatorias, de manera que los proyectos que se elaboren sean de alta calidad como condición necesaria para el éxito futuro de las inversiones.

- b) La demanda por recursos de los fondos competitivos estuvo determinada por el tipo de agricultura (moderna o tradicional) y por la estructura de la propiedad (alta o baja concentración). En efecto, mientras que los proyectos asociativos correspondieron a aquellas zonas en las que predominaba la pequeña propiedad (alimentos), los proyectos empresariales de riego coincidieron con las de agricultura comercial (materias primas y exportación). Con el predominio de este último tipo de proyectos, las posibilidades de riego hacia productos de la economía campesina quedaron en un inicio relegadas. Esto significó que el enfoque de demanda puede acrecentar desequilibrios, no solo entre tipos de productor sino también entre productos y regiones. El Estado debe mitigar estos desequilibrios estableciendo montos de recursos para destinaciones específicas por tipo de productor.
- c) La construcción de institucionalidad local no fue clara. Por ejemplo, en cuanto al fondo competitivo para la asistencia técnica, no existió garantía de continuidad de financiación a empresas prestadoras del servicio para su posicionamiento en un territorio y generar procesos acumulativos de conocimiento. Por su importancia en la innovación resultaría conveniente financiar mediante el fondo competitivo la formulación y ejecución de planes de asistencia de mediano plazo, diseñados de manera participativa con los productores. El énfasis en proyectos carentes de continuidad dificulta la construcción de institucionalidad. La poca demanda del incentivo a la asistencia técnica y las dificultades de su aplicación exigen una revisión de este instrumento, cuya importancia es decisiva si se tiene en cuenta la poca

- cobertura del servicio. Según los estimativos, un 88% de los pequeños productores no acceden a la asistencia técnica (Midas, 2009).
- d) La construcción de identidad grupal por parte de las asociaciones es un aspecto fundamental pero que no se alcanzó en la mayoría de las veces. En ello, incidieron la falta de trayectoria de las organizaciones o porque su conformación obedeció únicamente a lograr el acceso a los recursos de la convocatoria. El acompañamiento del Estado a estos grupos es fundamental para el fortalecimiento capacidades locales, así como para lograr una mayor visibilidad grupal y sentido de pertenencia territorial. Así mismo, en las convocatorias se debería exigir a las asociaciones un mínimo de experiencia organizacional y un compromiso a futuro en un horizonte de tiempo indispensable para su cohesión y para la misma continuidad del proyecto.
- e) El enfoque de demanda de los fondos competitivos debería estar complementado por una visión estratégica del Estado que fije pautas para la colocación eficiente de los recursos en líneas productivas prioritarias. El énfasis en el proyecto más que en el potencial regional ha limitado el alcance de los fondos competitivos y ha contribuido a una inconveniente atomización de recursos. Se presentaron situaciones como la financiación de proyectos en zonas de poco potencial, pero en las que una iniciativa individual adquirió peso, sumado a distorsiones en el uso del subsidio, mediante proyectos muy costosos, en los que solo prime el interés del beneficiario. Por lo anterior, el incentivo debe permitir desarrollar sistemas de riego, no solo donde se necesite desde la óptica particular sino también donde resulte más aconsejable desde una perspectiva de desarrollo regional, sustituyendo el enfoque según el cual el potencial beneficiario define su subsidio según su proyecto. La generación de instancias regionales de selección de proyectos, que integren y compartan visiones estratégicas del desarrollo de sus territorios, puede ser un instrumento aconsejable para corregir distorsiones del enfoque de demanda en cuanto a dispersión de inversiones.

En 2008 se impulsó otro fondo competitivo: la convocatoria de tierras, coordinada por el Incoder (MADR Incoder, 2008). Su objeto fue adjudicar, por parte del Estado, un subsidio integral en dinero para la compra de tierras a los pequeños productores (con menos de una unidad agrícola

familiar) y a trabajadores sin tierra del sector rural y sufragar parcialmente el proyecto productivo correspondiente.

De los resultados de esta convocatoria hasta 2010 se podrían derivar algunas lecciones relevantes para ajustes futuros:

- a) El instrumento no permitió priorizar su uso en tierras de buena calidad. Aunque la demanda por los recursos del instrumento superó en gran medida el presupuesto disponible, las negociaciones no incluyeron buenas tierras. Estas no se vendieron o fueron muy caras o no entraron en el subsidio. Las peores tierras fueron las de mayor oferta, lo que indica un efecto perverso del instrumento, activado además por la práctica de los propietarios de predios de poca salida de asumirlos costos de la formulación del proyecto para la convocatoria como un mecanismo para hacer más atractiva la negociación.
- b) El fondo competitivo no siempre contribuyó al fortalecimiento de las organizaciones de beneficiarios del subsidio. Muchas asociaciones se conformaron solo para acceder a los recursos, impulsadas por propietarios de tierras interesados en venderlas.
- c) Dado el carácter social de la convocatoria de tierras se esperaba un buen acompañamiento institucional a las organizaciones de beneficiarios. No obstante, la experiencia del Incoder hasta 2010 no evidenció esta labor, sumado a un papel nulo en ese aspecto de parte de las ONG y grupos campesinos. En su concepción original, la convocatoria no incluía la financiación del acompañamiento institucional.

Como recomendación general, se plantea que el avance hacia una nueva política de tierras debería permitir establecer cruces con las políticas de ordenamiento territorial, de proyectos productivos, de riego y de asistencia técnica, de manera que se desaten procesos más integrales apoyados por acompañamiento por parte del Estado.

Aprendizajes del Grupo de Investigación en Gestión y Desarrollo Rural

Durante sus primeros ocho años de labores, el GIGDR ha venido consolidando desde su inicio en 2002 una estrategia que conjuga e

integra, mediante un trabajo continuo y de largo plazo en territorios, tres líneas de investigación (desarrollo territorial rural, políticas públicas y multifuncionalidad del territorio) y cuatro áreas de conocimiento (socioeconomía, gestión empresarial, desarrollo y ambiente).

La estrategia ha buscado construir propuestas de desarrollo y proponer políticas y enfoques de acción territorial y sectorial; generar metodologías de trabajo interdisciplinario para el desarrollo territorial rural; diseñar y adelantar actividades de extensión con organizaciones de productores para darle relevancia y efectividad a las líneas de investigación; formar estudiantes comprometidos con la problemática del desarrollo; participar en redes académicas e interactuar con los sectores público, privado y de la sociedad civil interesados en el desarrollo territorial.

Los territorios en los que ha trabajado el grupo desde 2005 con alianzas institucionales, han sido: las provincias de Tequendama y Oriente en Cundinamarca y la localidad rural de Sumapaz en Bogotá.

En estos territorios y a lo largo de diferentes etapas se han recogido y potencializado experiencias de trabajo con alrededor de cincuenta organizaciones rurales. En este contexto, las contribuciones del GIGDR se centran en formación de recursos humanos y construcción de capacidades locales, acompañado de propuestas de política, planes de acción y metodologías para el desarrollo territorial rural.

Gracias a lo expuesto sobre la experiencia del GIGDR hasta 2010, se han logrado por parte del grupo unos aprendizajes que resultan pertinentes al enfoque de demanda de las políticas, los cuales se presentan a continuación:

Acompañamiento a la formación y fortalecimiento grupal

La metodología de Núcleos Emprendedores Rurales, NER, desarrollada por el grupo está en la base de este acompañamiento. Los NER son grupos de personas de un territorio, formal o informalmente organizados, con relaciones de cercanía y propósitos comunes, que cuentan con iniciativas propias y desarrollan procesos innovadores, que tienen claridad esencial

sobre su ruta a seguir, y que requieren de apoyos efectivos para acelerar su marcha (Molina *et al.*, 2009).

Es en este punto en el que se inscribe la metodología de trabajo del GIGDR, la cual consiste en un acompañamiento a los NER en aspectos técnicos, económicos, sociales, organizativos y comerciales; pero abierto a otras necesidades según el interés y decisión de los participantes.

Ese acompañamiento se caracteriza por:

- i) Construcción de lazos de confianza entre el equipo técnico y los NER, que trascienden el alcance y duración de los proyectos. Ello se logra mediante la presencia continua en el territorio por parte del GIGDR y otras unidades académicas de la universidad, alrededor de diferentes actividades no solo referidas a los convenios en ejecución sino también a la realización de labores académicas e investigativas con participación de profesores y estudiantes;
- ii) interacción neutral, no sesgada, transparente, armónica, equilibrada, respetuosa, reflexiva, ecuánime, mediadora, conciliadora y coordinadora con los diversos actores públicos, privados y de la sociedad civil que participan en la promoción del desarrollo territorial;
- iii) capacidad y agudeza de observación e interpretación para reconocer los intereses de los actores como sujetos del desarrollo, de la política, de la producción o de la provisión de servicios;
- iv) fortalecimiento de la proyección de los NER como agentes dinámicos en la construcción de territorio y en la incidencia sobre políticas públicas pertinentes a su desarrollo. Para ello, las demandas de los NER deben responder a la visión estratégica de su organización, en concordancia con las prioridades del desarrollo territorial. De ahí que la participación de los municipios y de las gobernaciones sea indispensable para integrar sus diagnósticos y propuestas de planeación territorial. En lo agropecuario es deseable partir de una concepción del desarrollo caracterizada por la tendencia hacia una consolidación de ejes productivos territoriales articulados a mercados dinámicos a los que accedan de manera creciente y competitiva los pequeños productores.

- v) Provisión de una extensión esencialmente formativa, de motivación e inducción al cambio, centrada en el factor humano y en la organización social como instrumento fundamental del desarrollo y profundización en la formación en gestión empresarial y en la capacitación a productores en aquellos aspectos tecnológicos que ellos demanden. Fortalecimiento de la gestión que de sus recursos hacen los NER para hacerlos más competitivos. La capacitación más personalizada o por roles dentro de la organización también es conveniente;
- vi) capacitación y elaboración conjunta de soluciones técnicas como mecanismo para trabajar con otros *satisfactores* de necesidades (por ejemplo, la solidaridad), fundamentales para la cohesión social y la convivencia;
- vii) promoción y respeto de la autonomía y autogestión, mediante acomodamiento a los ritmos y procesos organizativos, sin supeditarlos a intereses institucionales;
- viii) aplicación de procesos de investigación acción participativa;
- ix) convocatorias amplias e incluyentes de la diversidad de actores territoriales para la construcción de estrategias de largo alcance;
- x) complementación del ámbito de la gestión de la organización comunitaria con la transición hacia la gestión comunitaria del territorio;
- xi) integración a procesos educativos locales;
- xii) proyección de la función social de la universidad, mediante un enfoque de compromiso institucional con la construcción de capacidades locales, de territorio y de organización comunitaria, a partir aproximaciones disciplinarias e interdisciplinarias.

El trabajo con los NER ofrece la posibilidad para el GIGDR y la universidad de integrarse y darle acompañamiento a procesos en marcha, liderados y auto gestionados por comunidades, deseosas de lograr una mayor proyección de sus iniciativas. Su éxito sirve de referente para otros actores, de manera que este enfoque de acompañamiento representa un modelo de extensión horizontal.

En la aplicación de las políticas con enfoque de demanda, la metodología de acompañamiento a los NER posibilita el empoderamiento de las comunidades y su acercamiento a los instrumentos de política, de manera que se acrecienta su capacidad de respuesta. No obstante, según

la experiencia del GIGDR es un error de política abrir convocatorias sin generar paralelamente capacidades locales que garanticen una distribución eficiente y equitativa de recursos. No es suficiente el enfoque de demanda. Hay que construir equilibrio mediante el empoderamiento local. Pero no hay fórmulas universales, por lo cual cada territorio y cada grupo deben construir ese equilibrio, en el que administraciones territoriales decididas y grupos interesados marcan la iniciativa.

Construcción de redes

El GIGDR ha encontrado en las redes un instrumento fundamental para el desarrollo territorial. Con la dinamización de redes cada vez más autónomas a diferentes niveles territoriales, se les abren a los actores productivos nuevas posibilidades, gracias a la generación de vínculos provechosos entre ellos y con las instituciones. Con las redes se facilita la identificación de prioridades regionales, el compromiso con las mismas y la formalización de alianzas y acciones conjuntas entre actores, instituciones, sectores y mercados, para darle integralidad a las propuestas. Asimismo, permite identificar las motivaciones y expectativas de los miembros de la organización, en cuanto a su papel y compromiso en ella, conciliar sus diferencias y fortalecer así la identidad de la organización. Las redes suponen avanzar del conocimiento mutuo entre los participantes hacia procesos de confianza, de solidaridad y de asociatividad.

La experiencia del GIGDR indica que el fortalecimiento de la comunicación interna y externa de la organización es una estrategia clave para la construcción de redes. Es necesario trabajar las variables que inciden en la comunicación, tales como actividad productiva, ubicación, liderazgo, prioridades institucionales.

La metodología del GIGDR en construcción de redes enfatiza en los centros de gestión territorial como instancias locales o municipales de articulación de organizaciones e instituciones, y de coordinación, planeación y canalización de la oferta de servicios al territorio, así como de prestación directa de algunos servicios (distribución de productos e insumos). Los centros de gestión pueden operar mediante mesas de trabajo local de concertación e integración de iniciativas.

Las características ya descritas del acompañamiento del GIGDR han demostrado sus bondades en cuanto a facilitar la conexión y mediación entre la sociedad civil y los sectores público y privado para la puesta en marcha de estos centros de gestión. La consolidación de redes contribuye a avanzar por la senda del fortalecimiento de capacidades locales y de acceso a las políticas públicas basadas en el enfoque de demanda.

Estas redes, en la medida en que tengan continuidad y se fortalezcan, podrían evolucionar hacia sistemas de innovación local, conformados por universidades, centros de investigación, actores productivos e institucionales, que integren lo ambiental, lo productivo, lo técnico, lo social y lo económico, para desarrollar dinámicas innovadoras a la medida de las necesidades locales.

Proceso Extensión – Investigación – Docencia

Otra enseñanza derivada de la experiencia del GIGDR es la opción que abre la extensión para desatar procesos investigativos de utilidad territorial, los cuales a su vez se convierten en interesantes insumos para enriquecer la docencia. Esta última, a su vez, se proyecta de nuevo en la extensión y se traduce en nuevas construcciones de discursos académicos. Se invierte el enfoque tradicional de investigación – extensión, al tiempo que se introduce la circularidad. La continuidad de la extensión e investigación en un territorio garantiza aprendizaje acumulativo y permanente alrededor de ejes: a medida que se avanza en una fase, aparecen nuevas opciones de investigación derivadas de las anteriores. La relación universidad - territorios genera círculos virtuosos entre capacidades locales y académicas, lo que favorece el acceso a convocatorias de política de parte y parte.

Conclusiones

Las experiencias del GIGDR llaman la atención sobre la importancia de construir capacidades locales y empoderamiento de las comunidades de manera que se garantice una asignación eficiente y equitativa de recursos a través de convocatorias abiertas al acceso de los pequeños productores. Si estas convocatorias no van acompañadas de estos

procesos surgen problemas en cuanto a calidad de los proyectos, impacto y sostenibilidad de las inversiones, acceso a los recursos y continuidad de las organizaciones. La experiencia indica que el enfoque de demanda para pequeños productores ha tenido mayor impacto en territorios que supieron las capacidades públicas y comunitarias.

Frente a las deficiencias en la calidad de la formulación de los proyectos, no solo se requiere de un acompañamiento apoyado por el Estado sino también de la financiación de los estudios de pre inversión con recursos de las convocatorias, sumado a que estos respondan a una visión estratégica territorial y a procesos de selección a nivel regional con participación de actores representativos.

La experiencia también sugiere dificultades de integración de las políticas y programas sectoriales basadas en el enfoque de demanda con el desarrollo territorial rural. Ello invita a trabajar más en el afinamiento y aplicación del enfoque de desarrollo territorial rural, a partir del diseño de propuestas transversales que ayuden a la coherencia, desde una perspectiva territorial, de los proyectos cuyo propósito usualmente se centra en líneas de inversión específica.

Literatura citada

- Banco Mundial. 2008. Agricultura para el desarrollo. Informe sobre desarrollo mundial 2008. Mayol Ediciones, Bogotá.
- Birner R. y J. Anderson. 2008. How to make agricultural extension demand Driven? The case of India's agricultural extension policy. Forthcoming as IFPRI discussion paper. Washington DF.
- MADR, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2007. Documento AIS. Bogotá.
- MADR, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2008. Convocatorias públicas subsidio integral de tierras. Bogotá.
- McCalla, A. 1997. From subsistence systems to commercial agriculture: the need for a new development paradigm: Discussion. Am. J. Agr. Econ. 79, 643-645.
- Meneses, O. 2000. El fondo competitivo Pronatta: una estrategia para la promoción del desarrollo tecnológico agropecuario desde el nivel local

- y regional. Pontificia Universidad Javeriana. Seminario Internacional, Bogotá.
- Midas. 2009. Encuesta nacional de asistencia técnica agropecuaria. Bogotá.
- Molina, J.P., F. Pachón y J.E. Angel. 2009. Núcleos de emprendedores rurales y políticas públicas. pp. 1-12. En: Parrado, A., Y. Aranda, J.P. Molina, V. Villarraga, O. Gutiérrez, F. Pachón, C. Parra, J. Parra y J. Ángel (eds.). Núcleos de emprendedores rurales una propuesta para el desarrollo rural con enfoque territorial. Universidad Nacional de Colombia; ECOE, Bogotá.
- Schejtman, A. y J. Berdegué. 2003. Desarrollo territorial rural. pp. 9-63. En: Echeverría, R. (ed.). Desarrollo territorial rural en América Latina y el Caribe: manejo sostenible de recursos naturales, acceso a tierras y finanzas rurales. BID, Washington DF.
- The World Bank. 2005. Agriculture investment sourcebook. Washington DF.
- Timmer, P.C. 1998. The Agricultural Transformation. En: Staatz, J.M. y C.K. Eicher (eds.). International agricultural development. John Hopkins University Press, Baltimore, MD.
- Timmer, P.C. 1997 Farmers and markets: the political economy of new paradigms. Amer. J. Agr. Econ. 79, 621-627.

Avances de la investigación agronómica II

La Facultad de Agronomía ha realizado aportes fundamentales al desarrollo del sector agropecuario en los aspectos de formación, investigación y extensión. Actualmente cuenta con 11 grupos de investigación, clasificados en Colciencias, que mediante diferentes líneas de investigación generan conocimiento básico para mejorar la competitividad y sostenibilidad de la agricultura.

La serie Avances de la Investigación Agronómica tiene como objetivo promover una mayor difusión y visibilidad del trabajo investigativo de los profesores al interior de la Universidad y hacia la sociedad, de manera que se estimule la interacción de los miembros de la comunidad académica y de ésta con otras comunidades.

Aunque los resultados de la investigación tienen una difusión importante mediante libros, artículos científicos y ponencias, la Facultad organiza el seminario Avances de Investigación en Agronomía donde se presentan resultados preliminares de algunas de las investigaciones que los profesores realizan y que incluyen diversos temas fundamentales de la ciencia agronómica moderna. En este segundo número se incluyen avances referentes a problemas ambientales, desarrollo rural, desarrollo tecnológico, geomática, agroecología, fisiología, protección, manejo y producción de cultivos.

ISBN 978-958-648-784-9



9 789586 487849