

Valoración de la
Biodiversidad en la Ecorregión
del
Eje Cafetero

© 2009 Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos.
CIEBREG. Pereira, Colombia.

Valoración de la Biodiversidad en la Ecorregión del Eje Cafetero

ISBN: 978 - 958 - 44 - 4513 - 1

Coordinación Editorial:

John Mario Rodríguez Pineda
Juan Carlos Camargo García
Jaime Niño Osorio
Angélica María Pineda Botero
Ligia María Arias Giraldo
Mauricio Alejandro Echeverry Duque
Carmen Lucía Miranda Ortiz

Fotografías Portada y Contraportada:

Elizabeth Corrales Murcia

Cítese como:

Rodríguez J M., Camargo J C., Niño J. Pineda A M., Arias L M., Echeverry M A.,
Miranda C L., (eds). 2009. Valoración de la Biodiversidad en la Ecorregión del Eje
Cafetero. CIEBREG. Pereira, Colombia. 238 p.

Diagramación e Impresión:

PUBLIPRINT LTDA

C.C. La Popa Local 14 Tel: 330 1278/79, Dosquebradas

La investigación científica es un esfuerzo enorme que se traduce en múltiples beneficios para la sociedad. Los investigadores de CIEBREG, que son autores de esta obra, esperan que la información producto del esfuerzo investigativo sea un aporte a la Ecorregión del Eje Cafetero.

En el desarrollo de esta obra intervinieron investigadores y personal de la sede de CIEBREG a quienes damos un especial agradecimiento. Igualmente es preciso agradecer a COLCIENCIAS por su apoyo y confianza en el desarrollo de esta obra.

Contenido

Prólogo

Jorge Enrique Orejuela Gartner, Ph.D

La Ecorregión del Eje Cafetero y un Desarrollo Sustentado
en Bienes y Servicios Ambientales.

John Mario Rodríguez Pineda M.Sc.

15

La Dimensión Ambiental en la Construcción de la Ecorregión
Eje Cafetero

Francisco Uribe Gómez. Jefe de Oficina Planeación CARDER

21

Fisiología de Semillas de *Maclura tinctoria*

Artículos Científicos

(L.) D. Don. ex Steud (Dinde)

Jiménez-L, K. E., Escobar-T. W., Ramírez-S, C.

41

Fisiología de Semillas y Propagación Sexual de *Magnolia
hernandezii* (Molinillo)

Peña, L. J., Ramírez-S, C., Escobar-T, W.

61

Determinación de la Actividad Insecticida de Extractos
Vegetales Contra la Broca del Café

(*Hypothenemus hampei* Ferrari)

Mosquera, O. M., Bustamante, A., Correa, Y. M., Niño, J.

81

Evaluación In Vitro de Extractos Vegetales Contra Sigatoka
Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet)

Niño, J., Ospina, J., Correa, Y. M., Mosquera, O., M.

95

Efecto de los Sistemas Productivos Sobre la Calidad del Agua y la Diversidad en Ríos de la Ecorregión Cafetera <i>Rivera-Rondón, C., Valderrama, L.T., Baena, S., Prada-Pederos, S., Chará, J.</i>	111
Diversidad y Abundancia de Macroinvertebrados Acuáticos en Quebradas de la Cuenca del Río La Vieja, Colombia <i>Chará, J., Zúñiga, M del C., Giraldo, L.P., Pedraza, G., Astudillo, M., Ramírez, L., Posso, C.E</i>	129
Propuesta Metodológica para el Estudio de la Oferta de Frutos en Bosques Fragmentados <i>Alvear, M., Leon, M. M., Rossi, E.</i>	145
Murciélagos Asociados a Sistemas Naturales y Transformados en la Ecorregión Eje Cafetero <i>Pérez-Torres, J., Sánchez-Lalinde, C., Cortés-Delgado, N.</i>	157
Estructura y Composición de la Vegetación Arbórea en el Agropaisaje del Río La Vieja <i>Calle, Z., Méndez, L. E.</i>	171
Diversidad de Hormigas en el Paisaje Ganadero de la Cuenca Media del Río La Vieja <i>Rivera, L.</i>	185
Contenido de Dióxido de Carbono en Suelos de la Cuenca del Río Otún <i>Arias-Giraldo, L. M., Camargo, J. C., Dossman, M.A.</i>	195
Evaluación del Efecto de Diferentes Usos del Suelo sobre Grupos Funcionales Microbianos Edáficos en la Ecorregión Cafetera Colombiana <i>Roldán, F., Varela, A., García, E., Sierra, L., Vallejo, V., Berdugo, M., Aguilera, M., Santos, D., Cubillos, A., Gómez, M., Gómez-Sarmiento, M., Latorre, N., Vela, A.</i>	209

Estructuras Familiares en Agroecosistemas en la Cuenca
del Río La Vieja, Colombia
Zúñiga, M.C., Feijoo - Martínez, A., Quintero, H.

225

Prólogo

La región de los Andes del Norte y en particular el Eje Cafetero Colombiano, es una zona rica en biodiversidad y es reconocida como prioritaria para los esfuerzos de conservación. La región cubre menos del 0.015% de la superficie del país y alberga al 7% de las especies de plantas y animales (Instituto von Humboldt, 1997). Lamentablemente, esta notable biodiversidad se ve afectada a lo largo de la región por la deforestación, la fragmentación de los bosques y la conversión en tierras agrícolas, ganaderas, por vías y asentamientos humanos en ciudades cada vez de mayor tamaño. Hasta hace relativamente poco tiempo, la región estuvo dominada por bosques, hoy solo se conserva alrededor de un 30% de ellos y muchos paisajes ahora están dominados por cafetales, potreros, plantaciones forestales y algunos cañaduzales. La degradación del paisaje reduce y limita las opciones de desarrollo de las comunidades humanas e igualmente produce impactos negativos considerables sobre muchas comunidades de plantas y animales silvestres.

El mapa ecológico de Colombia que nos ofreció Andrés Etter ya hace una década, muestra con alarmante realidad la singular tendencia hacia la fragmentación del paisaje en todo el país, pero este proceso ha avanzado particularmente de manera dramática en la región Andina. Dicho de otra manera, la región Andina muestra en su casi totalidad un paisaje rural altamente transformado y fragmentado con una combinación de áreas silvestres de diferentes tamaños, de zonas con sistemas productivos entre las cuales están inmersas áreas de bosques relictuales, manchones de áreas bajo regeneración natural, sistemas de cultivos y de ganaderías y ciudades en permanente crecimiento acelerado.

La preocupación por la conservación en un mundo en desarrollo fue resaltada en la Conferencia General Mundial de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) efectuada bajo la dirección del maestro Gerardo Budowski en Kinshasa, Zaire en 1975, el lema oficial fue “la conservación para el desarrollo”. Vale la pena resaltar que en esa ocasión este lema tuvo muchos opositores iniciales aunque después de muchas discusiones fue decididamente apoyado y reforzado hasta su adopción como eje fundamental en la Estrategia Mundial para la Conservación (1980).

Me han ofrecido el honor de presentar este enorme e importante esfuerzo científico, en cuya construcción trabajan algunas de las más importantes instituciones nacionales e internacionales. Con gran placer acepté convencido que los frutos que se vienen produciendo en el Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos –CIEBREG- sirven para orientar y armonizar los procesos de conservación de la biodiversidad y desarrollo humano sostenible en paisajes rurales en escalas locales y regionales.

El título del proyecto “Valoración de los Bienes y Servicios de la Biodiversidad para el Desarrollo Sostenible de Paisajes Rurales Colombianos: Complejo Ecorregional de los Andes del Norte” me parece particularmente bien escogido, ya que atiende de manera directa el difícil reto de armonizar la conservación de la biodiversidad con el desarrollo humano sostenible, lo cual ha sido, también para mí, el reto permanente en las últimas tres décadas. De igual manera, el nombre del proyecto representa y unifica las variadas contribuciones de los más de 40 autores que se reseñan en el libro.

El CIEBREG ha estado desarrollando estrategias y enfoques de conservación y desarrollo rural sostenible, articulando sistemas productivos diversificados y de los recursos genéticos en paisajes naturales y transformados. El conjunto de resultados del proyecto contribuyen al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del Eje Cafetero Colombiano y a la armonización de prácticas de conservación en áreas protegidas y en sistemas productivos en paisajes rurales.

Es importante reconocer que en este campo de investigación emergente que integra variadas disciplinas del desarrollo rural ha tenido como esfuerzo pionero a organizaciones e investigadores de América Central. Sobresalen los trabajos iniciales del CATIE, Instituto Nacional de Biodiversidad-InBio, Universidad Nacional de Costa Rica en Costa Rica que fueron publicados en un inspirador libro “Evaluación y Conservación de Biodiversidad en Paisajes Fragmentados de Mesoamérica” (Celia A. Harvey y Joel Sáenz, editores 2007) junto con experiencias de México y Colombia. Diferentes instituciones colombianas como el Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander von Humboldt, la Fundación CIPAV, Universidades como la Pontificia Universidad Javeriana, y la Universidad Tecnológica de Pereira, centros de investigación, como CIAT y CENICAFE, agricultores innovadores como la Familia Molina en el Valle del Cauca y campesinos progresistas (demasiados para nombrar aquí) han adelantado el camino de una manera segura con su ejemplo y su perseverancia.

El presente libro destaca principalmente las experiencias desarrolladas en el proyecto y no pretende hacer un cubrimiento exhaustivo de los temas de la biodiversidad en los paisajes rurales. No obstante, provee una compilación importante de estudios detallados sobre la biodiversidad dentro de paisajes fragmentados y paisajes rurales en la región del Eje Cafetero Colombiano. Aporta información sobre los patrones de distribución de animales y plantas en los paisajes de la región y en posibles corredores ecorregionales de enormes alcances.

Estoy seguro que esta publicación tendrá una amplia acogida por la comunidad de la conservación y el desarrollo, de igual manera, creo que su valor será apreciado por los estudiosos de éstos temas. Seguramente se convertirá en un documento estratégico para guiar y orientar a quienes toman decisiones desde ángulos tan diferentes como las autoridades ambientales, los representantes de la rama ejecutiva, los legisladores en todos los niveles, las empresas agropecuarias, veedores

y contralores de la calidad del medio ambiente, los académicos representantes como en campos tan variados como la economía, la administración, la sociología y la política.

Espero que el documento se convierta en instrumento orientador del proceso de desarrollo. Un resultado concreto y eminentemente educativo es que, para quien escribe esta presentación, los artículos del libro y las lecturas sobre la institución CIEBREG y otras con metas similares, le han inspirado y le han ampliado su visión sobre cómo integrar mas efectivamente la conservación y el desarrollo comunitario.

Citando a Philippe de Saint Marc quien hace ya más de 50 años, en su teoría sobre las “Socialización de la Naturaleza” dijo con elocuencia que “el sector rural es el mejor guardián de la naturaleza”. Ahora estamos convencidos que la diversidad biológica existente en los parques y reservas naturales no podrá salvaguardarse, si no se incorporan dinámicamente en el proceso de búsqueda de bienestar a las comunidades rurales sean indígenas, afrodescendientes mestizos, campesinos o colonos. El sistema que ocupa la mayor área del tercer mundo es el agropecuario. Ese pequeño 10 a 15% a lo sumo de áreas protegidas (o medianamente protegidas) no debería separarse, al menos conceptualmente, de una visión agroecosistémica. Así como el CIEBREG me ha inspirado profundamente, asimismo, a otras personas e instituciones estas páginas serán igualmente motivadoras y les ofrecerán invaluable guías para la acción y para explorar las oportunidades para mejorar los esfuerzos de conservación de la biodiversidad y promoción del desarrollo de la gente que vive dentro de los paisajes fragmentados y agrícolas del mundo.

Jorge Enrique Orejuela Gartner, Ph.D
Cali, octubre 25 de 2008

La Ecorregión del Eje Cafetero y un desarrollo sustentado en bienes y servicios ambientales

John Mario Rodríguez Pineda M.Sc.
Profesor Asociado Universidad Tecnológica de Pereira
Director General
Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos
CIEBREG
ciebreg@utp.edu.co

Los proyectos de desarrollo e investigación nacen de consultar, especialmente, las necesidades sociales y las interacciones entre actores de los subsistemas económico, político y social.

Las decisiones sociales en muchas ocasiones no coinciden con las de estos subsistemas y en consecuencia se presentan conflictos que terminan por prolongar los problemas entre el sistema ambiental que los contiene y los actores de dicho sistema. En todos los subsistemas los actores implicados toman decisiones con base en sus intereses y percepciones. Estas decisiones logran un balance de objetivos “de biodiversidad” sólo cuando incluyen las preferencias y valores de los actores, especialmente de las comunidades bosque dependientes (Landell y Porras, 2002) y también de las agro-dependientes.

Estas comunidades que conviven en hábitats, bien dominados por cierto tipo de coberturas y usos, que podrían llamarse agro o bosque dependientes, o bien aquellas que conviven en matrices muy transformadas en donde se presentan variaciones entre tipos de coberturas y usos, pueden ser comunidades pobres. Las hipótesis apuntan en varias direcciones, Suderlin *et al.* (2005) informan que en los países en desarrollo cientos de millones de personas no viven en áreas de bosques, pero por otro lado Suderlin *et al.* (2007) apunta que existe evidencia estadísticamente significativa que muestra que las comunidades con alta incidencia de pobreza coinciden con áreas de alta cobertura de bosques.

Los temas de pobreza y de desarrollo humano, están ligados, como se apuntó, a las coberturas e igualmente a las formas de uso del territorio, los usos del suelo y disponibilidad de recursos. Estos elementos son prioritarios para los países en desarrollo, pues están profundamente conectados al desarrollo adecuado de las comunidades humanas y su disponibilidad se utiliza para la toma de decisiones en los territorios.

El índice de Desarrollo Humano para la Ecorregión del Eje Cafetero Colombiano, fue evaluado en detalle por el informe sobre Desarrollo Humano en el Eje Cafetero, del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), recibido en el 2004. Este informe, histórico y pionero en Colombia, demostró las pérdidas en capital natural y social que la Ecorregión había sufrido en una década.

Esta situación, evidenciada, fue la que instó a un grupo de instituciones públicas y privadas, Colombianas y Costarricense, a presentar una propuesta centrada en uno de los principales capitales naturales de la ecorregión: la biodiversidad, de tal manera que se propusieran estrategias que contribuyeran a mejorar dicha situación con un uso adecuado y mejorado del capital natural.

Para tal fin, se propuso trabajar desde la óptica de los bienes y servicios ambientales, para lo cual se propuso en el año 2004 el proyecto “Valoración de los bienes y servicios de la biodiversidad para el desarrollo sostenible de paisajes rurales colombianos: Complejo Ecorregional Andes del Norte”. El proyecto se desarrolla con enfoque ecosistémico, reuniendo así información de varios subsistemas: económico, social, natural y proveyendo datos para la posible implementación de programas de pago por servicios ambientales, igualmente acoge la valoración integral, donde se suman: valores ecológicos, socioculturales y económicos (De Groot *et al.* 2002).

Los servicios ambientales, un enfoque no exento de controversias, se entienden como aquellos beneficios que obtienen los seres humanos de los ecosistemas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Estos servicios incluyen algunos básicos como: aire y agua limpia; producción de alimentos, y adicionalmente: regulación del clima y enfermedades, control de la erosión y escorrentía, polinización, recreación y provisión de sitios culturales y religiosos, entre otros (Working Group, Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Desde la década de los años 60 ha incrementado el interés por analizar y valorar los beneficios de estos servicios ambientales (Hein *et al.* 2005), se han propuesto diferentes métodos de valoración (De Groot *et al.* 2002) y se han realizado esfuerzos por categorizarlos, existiendo cierto consenso en tres tipos de servicios: a) los de regulación b) los de provisión y c) los culturales (Ehrlich and Ehrlich, 1981; Costanza *et al.* 1997; De Groot *et al.* 2002; Millennium Ecosystem Assessment, 2003) y en algunos casos se incluyen servicios de soporte (Millennium Ecosystem Assessment, 2003).

Estos servicios se proveen, entonces, a poblaciones humanas que ocupan territorios y paisajes, que como en el caso de la Ecorregión del Eje Cafetero, poseen diferentes grados de transformación y diferentes expresiones de la multifuncionalidad, entendida como la integración de diferentes funciones dadas en una unidad temporal y/o espacial en una determinada escala (Pinto-Correira y Vos, 2004). Todos los paisajes son multifuncionales pero el grado de expresión de la misma puede variar dependiendo de los recursos, procesos y las funciones disponibles. Esta multifuncionalidad que está ligada a la estructura y procesos de los

ecosistemas, se desprende entonces de la agregación de funciones ecosistémicas (De Groot et al. 2002).

La hipótesis de trabajo del CIEBREG es entonces, que en estos paisajes multifuncionales y transformados, los servicios ambientales identificados, caracterizados y valorados se pueden convertir en complemento de las estrategias de conservación y desarrollo sostenible (Wunder, 2006).

El CIEBREG desarrolla sus acciones, a través de grupos de investigadores en conjunción con productores e instituciones, ubicados en dos cuencas hidrográficas: la cuenca del río Otún y la cuenca del río La Vieja, ambas en la Cordillera Occidental y en la denominada Ecorregión del Eje Cafetero. Estos paisajes y cuencas albergan diferentes actividades humanas de actores urbanos y rurales que utilizan el territorio como sustento de actividades productivas diversas.

La valoración de la biodiversidad es un esfuerzo de muchas naciones, que involucra desde científicos hasta la sociedad civil y que pretende no solo conocer el capital natural que se dispone en una región o nación, sino también proveer información para que la sociedad y los decisores puedan avanzar de manera más segura hacia el desarrollo sostenible.

Es así como en este libro se presenta resultados de un esfuerzo regional hacia la valoración de la biodiversidad, entendiendo que esta valoración no solo pasa por el crisol de la valoración económica, sino también ecológica y social. En este sentido este libro presenta capítulos que dan cuenta de aspectos de valoración de la biodiversidad en dos cuencas hidrográficas de la Ecorregión del Eje Cafetero Colombiano, la del río La Vieja, que es compartida por tres Departamentos y la del río Otún que pertenece al Departamento de Risaralda.

Los capítulos, evidencian una biodiversidad presente en sistemas transformados o paisajes rurales donde los sistemas productivos son parte importante del paisaje, junto a fragmentos de bosque y guaduales. Los investigadores de CIEBREG avanzaron en esta valoración abarcando microorganismos, macroinvertebrados, vertebrados y flora. Esta biodiversidad y los servicios ecosistémicos que ella presta son explorados y analizados desde la bioprospección, a través de extractos vegetales con actividad biológica, el papel de microorganismos en procesos de mantenimiento y procesos del suelo y como indicadores de la calidad de suelo; en el mismo sentido, se abordaron otros grupos, es el caso de la biodiversidad de hormigas como indicadoras del grado de recuperación de ecosistemas transformados dejando en evidencia la relación positiva entre cobertura y biodiversidad.

Dentro del grupo de los vertebrados se estudio el grupo de los murciélagos, evidenciando que los hábitats y su complejidad albergan o bien estructuras y composiciones simplificadas, como el caso de pastizales, o complejas como en

el caso de bosques y que efectivamente es importante para el mantenimiento de biodiversidad y de grupos funcionales, conservar una variedad de ecosistemas en estos paisajes transformados dentro de una cuenca hidrográfica.

En lo que respecta a ecosistemas acuáticos se presentan resultados valiosos, en cuanto se muestra la relación entre sistemas productivos, la calidad del agua y la biodiversidad que estos ecosistemas albergan, evidenciando la importancia de la conservación de quebradas y las coberturas aledañas, dentro de paisajes transformados, en especial como refugios de biodiversidad de macroinvertebrados y la importancia de muchos de estos como indicadores de calidad ambiental.

En flora los resultados se enfocan en especies arbóreas nativas, sus semillas y la oferta de frutos un servicio ecosistémico vital para el mantenimiento de bosques y especies de fauna y por otro lado se presenta un análisis de la estructura y composición de importantes especies arbóreas, de enorme interés para la conservación y la restauración de ecosistemas de la cuenca del río La Vieja.

De la misma manera como se evaluó el papel de la biodiversidad como indicadora, prestadora de servicios y sus relaciones con la estructura y composición de los paisajes y el tipo de usos productivos, se desarrollaron metodologías para evaluar servicios ecosistémicos prestados por componentes abióticos de los ecosistemas, en este sentido se cuantificó el contenido de dióxido de carbono en suelos de la cuenca del río Otún, evidenciando que existe una relación entre el tipo de ecosistema, sistema productivo y cantidad de carbono en el suelo y que sistemas no transformados almacenan más carbono que sistemas transformados. Se destaca que los agroecosistemas y el suelo prestan este servicio de manera significativa.

Dado el enfoque ecosistémico, que se privilegia en el CIEBREG, se abordó el componente social y en especial se analiza información de relación entre naturaleza, sistemas productivos y formas de organización social dentro de fincas en la cuenca del río La Vieja. Aquí también se presentan evidencias que muestran que el tipo de sistema productivo tiene influencia sobre la organización social que se apresta para el uso de los recursos naturales disponibles. En este sentido los agroecosistemas inducen a la permanencia de la familia campesina en un lugar, mientras que los sistemas muy especializados privilegian la transitoriedad.

En síntesis este libro, que presenta algunos de los resultados de CIEBREG, evidencia las diferentes formas de relación entre la biodiversidad, los sistemas naturales y los servicios ecosistémicos, y muestra la importancia de mantener paisajes diversificados, en donde son tan relevantes los sistemas productivos, los sistemas naturales como los agroecosistemas. Es un esfuerzo por realizar una mirada integral y ecosistémica de las cuencas de la Ecorregión Cafetera Colombiana, que sin duda es de las regiones más dinámicas y vitales para una importante fracción de población Colombiana.

Referencias

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R.S., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253-260.

De Groot, Rudolf S., Wilson, Matthew A. Boumans, Roelof M.J. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41, 393-408.

Ehrlich, P., Ehrlich, A., 1981. *Extinction: The causes and consequences of the disappearance of species*. Random House, New York. 571 p.

Landell-Mills, N., Porras, T.I. 2002. *Silver Bullets and fools gold? A global review of global markets for forest and environmental services and their impact on the poor*. Instruments for the private sector forestry series. International Institute for Environment and Development. London. 294 p.

Millennium Ecosystem Assessment, 2003. *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*. Report of the Conceptual Framework Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington, D.C. 63 p.

Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC. 155 p.

Pinto-Correia, T., Vos, W. 2004. Multifunctionality in mediterranean landscapes-past and future. R. Jongman (eds). *The New dimensions of the European landscape*, Wageningen EU Fronts Series, Springer. 135-164 p.

Sunderlin, W.D., Angelsen, A., Belcher, B., Burgers, P., Nasi, R., Santoso, L. and Wunder, S. 2005. *Livelihoods, forests, and conservation in developing countries: an overview*. *World Development* 33. 1383-1402 p.

Suderlin, D.W., Dewi, S., Puntodewo, A. 2007. *Poverty and forests: multi-country analysis of spatial association and proposed policy solutions*. Occasional Paper N° 47. CIFOR. Bogor, Indonesia. 53 p.

Working Group, Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human Well-being: scenarios : findings of the Scenarios*. Carpenter, Steve R., Pingali Prabhu L., Bennett, Elena M., Zurek, Monika B. Ed. Island Press. 266 p.

Wunder, S. 2006. *Pago por servicios ambientales: principios básicos esenciales*. Occasional Paper N° 42(s). CIFOR. Bogor, Indonesia. 32 p.

La Dimensión Ambiental en la Construcción de la Ecorregión Eje Cafetero

Francisco Uribe Gómez
Jefe Oficina Planeación CARDER
Comité Técnico Convenio CARDER, CVC, CRQ, CORTOLIMA,
CORPOCALDAS para la implementación de la Agenda de Desarrollo Sostenible
de la Ecorregión Eje Cafetero.
e.mail: furibe@carder.gov.co

Resumen

La Ecorregión del Eje Cafetero localizada en el corazón del centro occidente Colombiano, constituye una porción de la región Andina, afectada por la transformación y fragmentación de ecosistemas, y con una red de ciudades que le imprime una alta dinámica de urbanización, en detrimento de la ocupación de sus zonas rurales, vive hoy una profunda crisis social y económica que ha acelerado problemáticas ambientales urbanas como la ocupación de zonas de riesgo, el deterioro del espacio público y mayor contaminación hídrica. Todo esto pone de manifiesto un patrón de desequilibrios regionales que exige respuestas inmediatas.

Sin embargo, el territorio posee elementos positivos que seguramente se convertirán en los factores de solución a los problemas identificados como: la plataforma natural que provee bienes y servicios ambientales, principalmente alrededor del agua y la biodiversidad, la consolidación de un sistema regional de áreas naturales protegidas, la fortaleza de los procesos de planeación, los procesos de participación pública en torno a la gestión ambiental, la alta conectividad derivada de sus infraestructuras, entre otras. La Ecorregión tiene grandes potencialidades geoestratégicas, con pluralidad étnica, cultural y una amplia oferta geográfica, de clima, paisaje y biodiversidad.

En este contexto, las autoridades ambientales regionales con el apoyo de la red de universidades públicas han liderado un proceso de construcción social de región que se ha denominado **La Agenda para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión del Eje Cafetero**, proceso que ha estado orientado a un profundo conocimiento del territorio y de sus dinámicas culturales, económicas y ambientales, que permita determinar las potencialidades y limitaciones del medio natural y sus implicaciones y tendencias en el desarrollo de la región y sus habitantes.

La distribución de los recursos naturales y de los bienes y servicios, amerita el reconocimiento del territorio como la plataforma del desarrollo, y desde allí la articulación con los diferentes procesos de transformación. Un modelo que trabaje lo urbano a partir de su interacción con lo rural y lo regional, articulando las potencialidades del desarrollo de cada territorio al sistema educativo, y al desarrollo de la ciencia y la tecnología. Un nuevo modelo consonante con lo que somos, queremos ser y debemos ser.

La Agenda contiene varias líneas de acción, y establece una estructura de coordinación que hoy permite mostrar avances importantes en temas como la ordenación de cuencas, la protección y recuperación de ecosistemas vitales para el suministro de agua, la consolidación de un sistema regional de áreas protegidas, el establecimiento de convenios y agendas de producción mas limpia con los principales sectores productivos, y la vinculación de las universidades y los principales centros de investigación regional al proceso. Sin embargo, aún persisten grandes retos alrededor de la consolidación del modelo territorial que se quiere implementar, para lo cual es fundamental la vinculación de todo el conjunto de la sociedad regional alrededor de una visión común de desarrollo sostenible.

Palabras claves: Ecorregión eje cafetero, coordinación regional, áreas protegidas, reconversión socioambiental, desequilibrios territoriales, visión, conectividad.

De la tierra de las hamacas al territorio de oportunidades

Los Quimbayas denominaban a este territorio LA TIERRA DE LAS HAMACAS, refiriéndose a la ocurrencia periódica de sismos. Es de prever que nuestras culturas indígenas aprendieron a convivir con estas amenazas en el territorio, al reconocer y valorar estos fenómenos desde su propia manera de entender la realidad.

El terremoto del 25 de enero de 1999 nos demostró la alta vulnerabilidad regional al tema de los desastres y que no basta con garantizar una recuperación física, sino que es necesario dotar a la región de una plataforma de desarrollo que permita responder de una mejor manera a la ocurrencia de futuros desastres.

Estar mejor preparados implica un profundo conocimiento del territorio y de sus dinámicas culturales, económicas, y ambientales, que permita saber las potencialidades y limitaciones del medio natural, y sus implicaciones y tendencias en el desarrollo de la región y sus habitantes.

En este contexto, desde el año 2001, se inició un proceso de planificación denominado “Construcción de un ordenamiento territorial para el desarrollo sostenible en la Ecorregión Eje Cafetero”, con la participación de un colectivo de profesionales y estudiantes, provenientes de las Corporaciones Autónomas de Caldas, Quindío, Risaralda, Valle y Tolima; la Unidad Administrativa Nacional

de Parques Naturales, el Ministerio del Medio Ambiente, el FOREC y la Red de Universidades Públicas del Eje Cafetero -Alma Mater-, que permitió consolidar una propuesta que se basa en las potencialidades naturales, sociales, económicas y culturales de los 92 municipios, lo cual plantea la posibilidad de que a través de acuerdos regionales y con base en las complementariedades, es posible convertir a la Ecorregión en una zona altamente competitiva a nivel nacional e internacional.

Al articular este ejercicio de planificación, con otros procesos muy participativos, se identificó que además de las amenazas, existen coincidencias de carácter ambiental en temas como el agua, la diversidad biológica, la producción agrícola, las áreas protegidas, la gestión de residuos sólidos y los corredores naturales, y que sobre esa base es posible trabajar para construir un territorio de oportunidades. Se logra entonces concertar un documento denominado **La Agenda para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión del Eje Cafetero**, que a nuestro entender refleja un proceso de construcción social del territorio. LA AGENDA es un documento base que resume las tendencias positivas y negativas, identifica los retos, propone una visión de desarrollo, y unas líneas de acción/gestión que van a permitir avanzar en la construcción del modelo futuro propuesto.

La agenda de desarrollo sostenible implica la construcción de un nuevo modelo de pensamiento regional, entender por ejemplo que la Cordillera Central no es una barrera al desarrollo, sino que es un elemento integrador que garantiza el agua para más de dos millones de personas en los departamentos de Caldas, Risaralda, Quindío y Tolima.

Esta nueva forma de pensamiento es fundamental para el nuevo modelo de construcción social y político de la Ecorregión. Tenemos conciencia de que el camino que habrá de recorrerse no es fácil y que a cada paso pueden surgir inconvenientes y grandes obstáculos. Pero la conclusión más importante hasta ahora, es haber logrado conocer y apropiarse una propuesta de desarrollo sostenible que permita convertir a la Ecorregión del Eje Cafetero en el territorio de oportunidades del centro occidente colombiano.

La dimensión ambiental como soporte de la propuesta de desarrollo de la Ecorregión Eje Cafetero

El Eje Cafetero es una región conformada por tres grandes corredores ambientales que sirven como ejes estructurantes, a saber (Ver Figura. 1):

- a. El corredor ambiental de la Cordillera Central, iniciándose en el Páramo de Sonsón en el sur oriente de Antioquia en límites con Caldas, continuando con los Páramos de San Félix en Caldas y el Parque Nacional Natural Los Nevados compartido por Caldas, Risaralda, Quindío y Tolima, extendiéndose hacia el sur por el Páramo de Chilí en el municipio de Génova (Quindío) y

culminando en el Parque Nacional Natural Las Hermosas en el Valle del Cauca.

b. El corredor ambiental de la Cordillera Occidental, iniciándose en el Parque Nacional Natural Las Orquídeas en el suroccidente de Antioquia, continuando con la Cuchilla de San Juan, Parque Nacional Natural Tatamá y Serranía de Los Paraguas en Risaralda y norte del Valle del Cauca, culminando con el Parque Nacional Los Farallones en el Valle.

c. El corredor ambiental del río Cauca, gran eje fluvial y asiento de poblaciones gracias a la fertilidad de sus suelos. Las principales cuencas hidrográficas del Eje Cafetero (ríos La Vieja, Risaralda, Chinchiná, entre otros) son tributarias del río Cauca.

La estructura territorial del Eje Cafetero implica relaciones de vecindad, conectividad y continuidad con el Chocó biogeográfico en el occidente, el Valle del Magdalena en el oriente, Antioquia en el norte y Valle del Cauca y Macizo Colombiano en el sur.

A lo largo de los ejes estructurantes naturales se fundó una compleja red de ciudades, hoy en proceso de conurbación; en las zonas rurales vive el 23% de la población (ver Cuadro 1) la que fue calificada como una de las conurbaciones más tranquilas y prósperas del país, hoy está sumergida en una crisis social con progresivo desempleo y empobrecimiento. La crisis social y económica ha acelerado problemáticas ambientales urbanas como la ocupación de zonas de riesgo, el deterioro del espacio público y mayor contaminación hídrica.

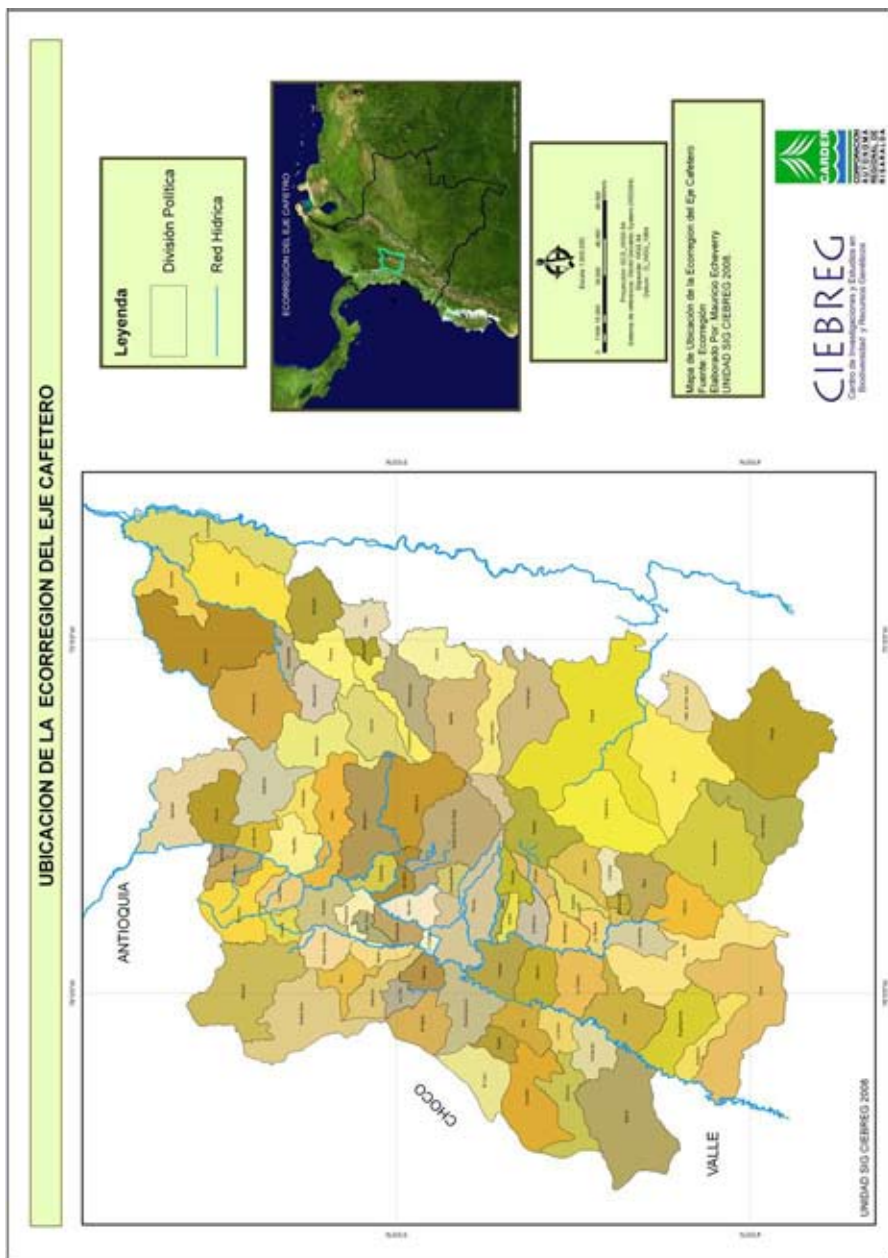


Figura. 1. Localización Ecorregión Eje Cafetero.

Cuadro I. Población según zona y departamento. Ecorregión Eje Cafetero. (Censo 2005).

Departamentos	Urbano		Rural		Total
	Población	%	Población	%	
Total Ecorregión Eje Cafetero	2845280	76.98	850833	23.02	3696113
Departamento de Caldas	646728	71.98	251762	28.02	898490
Departamento del Quindío	449161	86.60	69530	13.40	518691
Departamento de Risaralda	665104	77.37	194562	22.63	859666
Noroccidente Tolima	581244	76.23	181268	23.77	762512
Norte del Valle del Cauca	503043	76.60	153711	23.40	656754

El territorio posee una rica red hídrica abastecida por los ecosistemas de páramos y bosques alto andinos de las cordilleras central y occidental, con 38 cuencas hidrográficas, 111 microcuencas abastecedoras de cabeceras municipales y una red de acuíferos (agua subterránea) abundante y compleja. Sin embargo, los sistemas de aprovechamiento del agua y su distribución espacial son deficientes; en la actualidad existe déficit para uso agronómico en los valles del Magdalena y Cauca. En el año 2000, el 25% de las cabeceras municipales mostraron índice de escasez hídrica entre medio alto y alto, cifra que podría pasar al 55% para el año 2015. También, la contaminación por vertimientos domésticos e industriales es acentuada ante la inexistencia de sistemas de descontaminación, generando grandes deterioros en las cuencas y ecosistemas hídricos.

Se cuenta con un importante Sistema Regional de Áreas Protegidas con más del 23% del territorio, conformado por múltiples iniciativas locales, municipales, regionales y nacionales de conservación, tanto del estado como de comunidades y particulares (Ver Figura. 2). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la región Andina Colombiana es una de las más afectadas por la transformación y fragmentación de ecosistemas, donde las áreas del Sistema de Parques Nacionales se están convirtiendo en “islas verdes”, y se están afectando los servicios ambientales, con enormes repercusiones económicas y sociales para la región y el país.

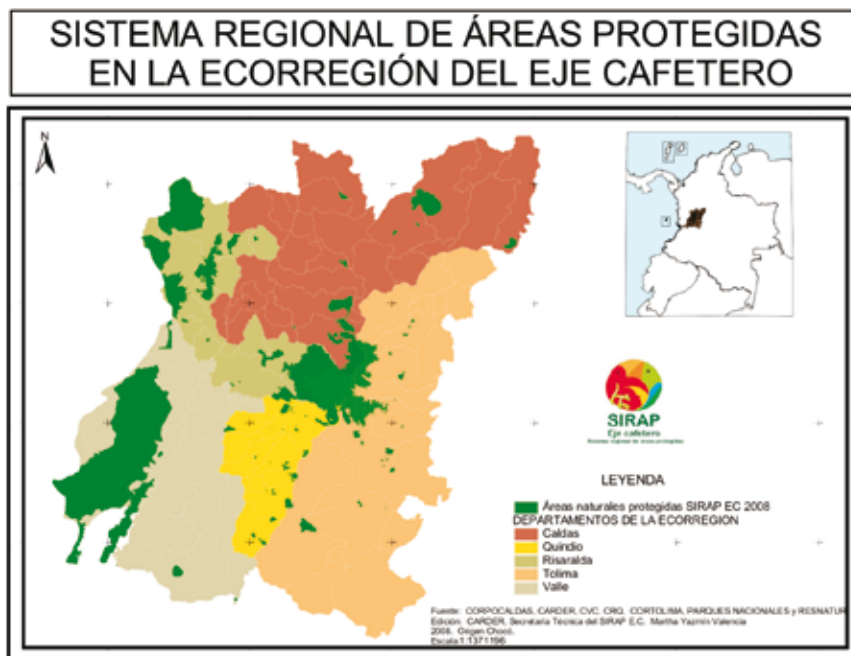


Figura 2. Áreas protegidas en el SIRAP. Ecorregión Eje Cafetero.

Las características geológicas y geomorfológicas determinan la existencia de serias amenazas naturales agravadas por factores antrópicos, que traspasan los límites político- administrativos, especialmente en lo que concierne a eventos sísmicos, volcánicos y de inundación o avalancha. Estas amenazas se conjugan con la alta vulnerabilidad de las comunidades e infraestructura pública, configurando escenarios de alto riesgo.

La erupción del cráter Arenas del volcán del Ruiz en 1985 y el sismo del 25 de enero de 1999 son dos de los mayores desastres en la historia del país, que afectaron el tejido social, la actividad económica y gran parte de la estructura física, pública y privada, de las ciudades y centros poblados de la Ecorregión, confirmando así su vulnerabilidad.

En términos del ordenamiento territorial, se visualizan graves desequilibrios territoriales, manifestados en:

- Las mejores condiciones sociales en vivienda y educación se localizan en centros poblados con porcentajes de población urbana por encima del 70%.
- Las áreas con presencia de conflicto armado corresponden a los pequeños municipios rurales de alta montaña con mayores índices de pobreza, menor calidad de vida, y usos relacionados con el bosque.

- Los mayores índices de centralidad (bienes y servicios) se encuentran en las grandes ciudades.
-
- La diversificación económica es patrimonio de las grandes ciudades. Los pequeños municipios dependen de las actividades económicas rurales.
- La mayor riqueza de los pequeños municipios de montaña se concentra en la presencia de recursos naturales (agua, biodiversidad, paisaje) y su cultura.
- Los grupos de comunidades negras e indígenas se asientan en zonas de alta fragilidad ambiental y de enorme riqueza en biodiversidad.

Todo esto pone de manifiesto un patrón de desequilibrios regionales que exige respuestas inmediatas (Ver Figura 3).

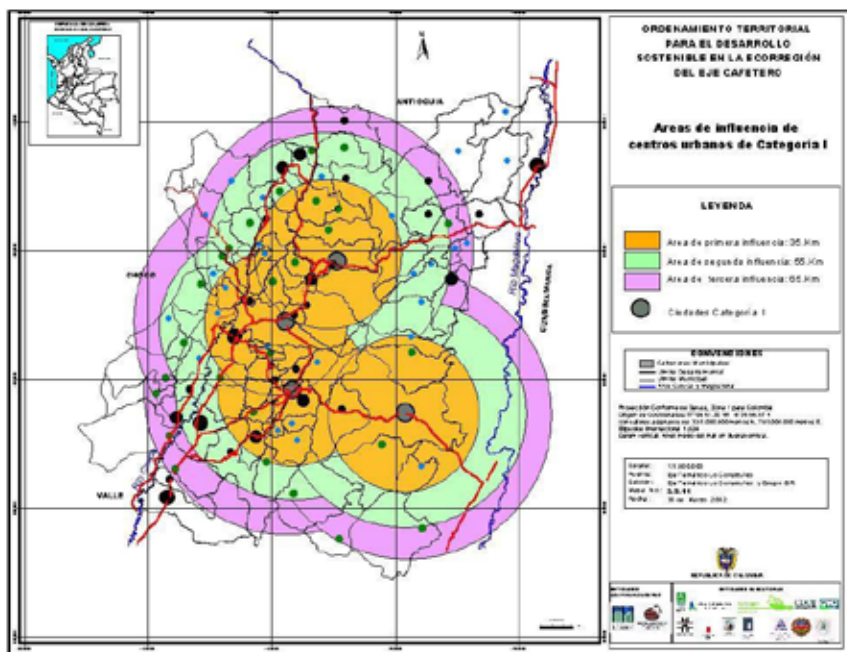


Figura 3. Desequilibrios territoriales. Ecorregión Eje Cafetero.

La Ecorregión tiene grandes potencialidades geoestratégicas, con pluralidad étnica y cultural y una amplia oferta geográfica, de clima, paisaje y biodiversidad.

Acorde con la zonificación de uso potencial del suelo (Ver Figura 4), el uso forestal es el principal potencial en términos de área, abarcando el 54% del territorio. Los usos agrícolas representan el 21%. Los sistemas agroforestales suman 20% y las áreas de vocación para la ganadería (extensiva e intensiva) configuran solo el 4% del territorio (Ver cuadro 2).

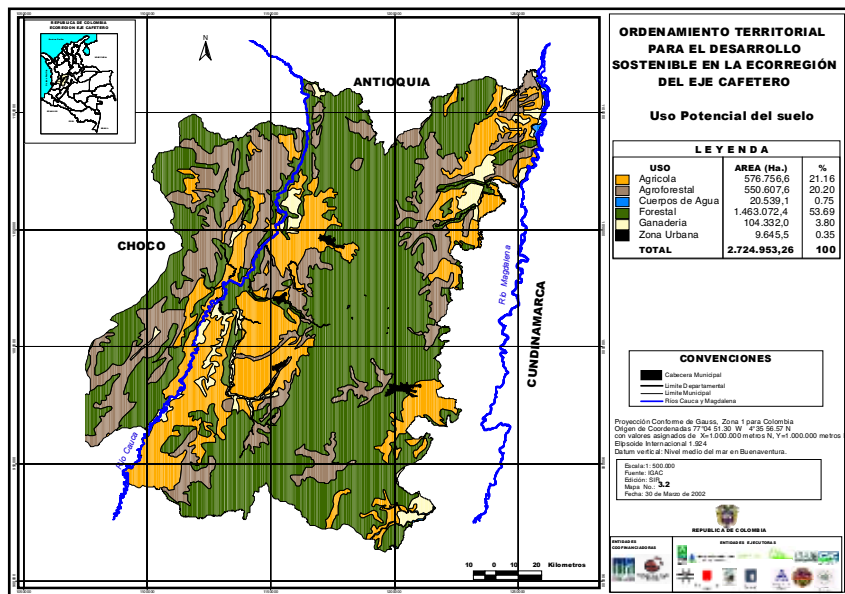


Figura. 4. Uso potencial del suelo. Ecorregión Eje Cafetero.

Cuadro 2. Uso actual y potencial del suelo. Ecorregión Eje Cafetero. 2002

Usos	Actual (ha)	(%)	Potencial (Ha)	%
Agrícola	819.664	30.1	576.757	21.0
Forestal (protector y productor).	513.823	18.9	1.436.072	54.0
Agroforestal	---	---	550.608	20.0
Ganadera	1'384.426	49.0	104.332	4.0
Cuerpos de agua	20.539	1.0	20.539	1.0
Zonas urbanas	9.645	0.3	9.645	0.3
Total	2.724.953	100	2.724.953	100

Pero más allá de la zonificación de uso potencial del suelo, la cultura, historia natural, economía y desarrollo tecnológico, imbricados en el territorio y su interacción con el país y el mundo, señalan la existencia de grandes potencialidades en los siguientes sectores:

- Agricultura ecológica (productos orgánicos, ecológicos, de origen, sociales).
- La agroindustria (muebles, trilla de café, lácteos, otros).
- Paisaje (biodiversidad) y turismo (cultural, rural, agroturismo, ecoturismo).
- Biodiversidad y aprovechamiento de toda la biomasa. (Biocomercio y mercados verdes).
- Prestación de servicios en educación y salud.
- La protección y conservación del patrimonio ambiental natural, cívico institucional y socio cultural de la Ecorregión.

Apuesta de futuro en términos del desarrollo sostenible

La distribución de los recursos naturales y de los bienes y servicios, amerita el reconocimiento del territorio como la plataforma del desarrollo, y desde allí la articulación con los diferentes procesos de transformación. Un modelo que trabaje lo urbano a partir de su interacción con lo rural y lo regional, articulando las potencialidades del desarrollo de cada territorio al sistema educativo y al desarrollo de la ciencia y la tecnología. Un nuevo modelo consonante con lo que somos, queremos ser y debemos ser los principales actores en ejercicios participativos han consigné la visión de futuro para el Eje Cafetero para los próximos diez años así:

“Una región, con integración, arraigada en sus culturas, socialmente equitativa, diversificada en su producción, sostenible y competitiva, en paz y segura, planificada con base en sus potencialidades territoriales y valores ambientales, hábil en la concertación de prioridades regionales, ambientalmente protegida, biodiversa y con una sólida infraestructura para la conectividad regional. Para un *ambiente protegido* la región hará un uso sostenible de los recursos naturales y acertada valoración de los bienes y servicios ambientales, asegurando el recurso hídrico en cantidad y calidad, conservando su biodiversidad mediante un sistema regional de áreas protegidas eficaz y sistemas de producción amigables con la naturaleza, diseñando infraestructuras que reconocen y se adaptan a las restricciones ambientales en los procesos de ocupación y desarrollo territorial, con capacidad para la prevención y atención de desastres. En su *cultura, identidad y pertenencia* el Eje Cafetero será una región fundamentada en su gente y el ambiente, con capacidad de valoración de su riqueza cultural y de su entorno ambiental, expresando un tejido social con valores cívicos, tolerancia, integración y respeto por la diferencia, protectora de los valores humanos y la vida, con permanencia”.

En cuanto a la conservación de la biodiversidad, se busca que en el año 2025, la Ecorregión del Eje Cafetero cuente con un sistema de áreas de conservación legitimado socialmente donde la biodiversidad de la región esté satisfactoriamente representada y donde persisten a largo plazo los elementos que lo integran, los procesos ecológicos y evolutivos que los sustentan y los servicios ambientales que brindan a las comunidades.

La gestión para el desarrollo sostenible regional debe conducir, entre otras, al incremento de la capacidad de autorregulación de los ecosistemas; la protección de la biodiversidad; disminución de los conflictos de uso del suelo y reducción significativa en el uso de plaguicidas y fertilizantes químicos contaminantes.

La comunidad de la Ecorregión del Eje Cafetero debe potenciar las tendencias positivas de uso del suelo que favorezcan el modelo y visión futura del territorio, integrando debidamente las particularidades y especificidades de los diferentes ecosistemas y sectores sociales, económicos y culturales que lo conforman,

mediante actividades productivas sostenibles. En su definición juega papel fundamental la plataforma natural de la Ecorregión así como la voluntad y opciones de cambio real de los actores. (ver Figura 5).

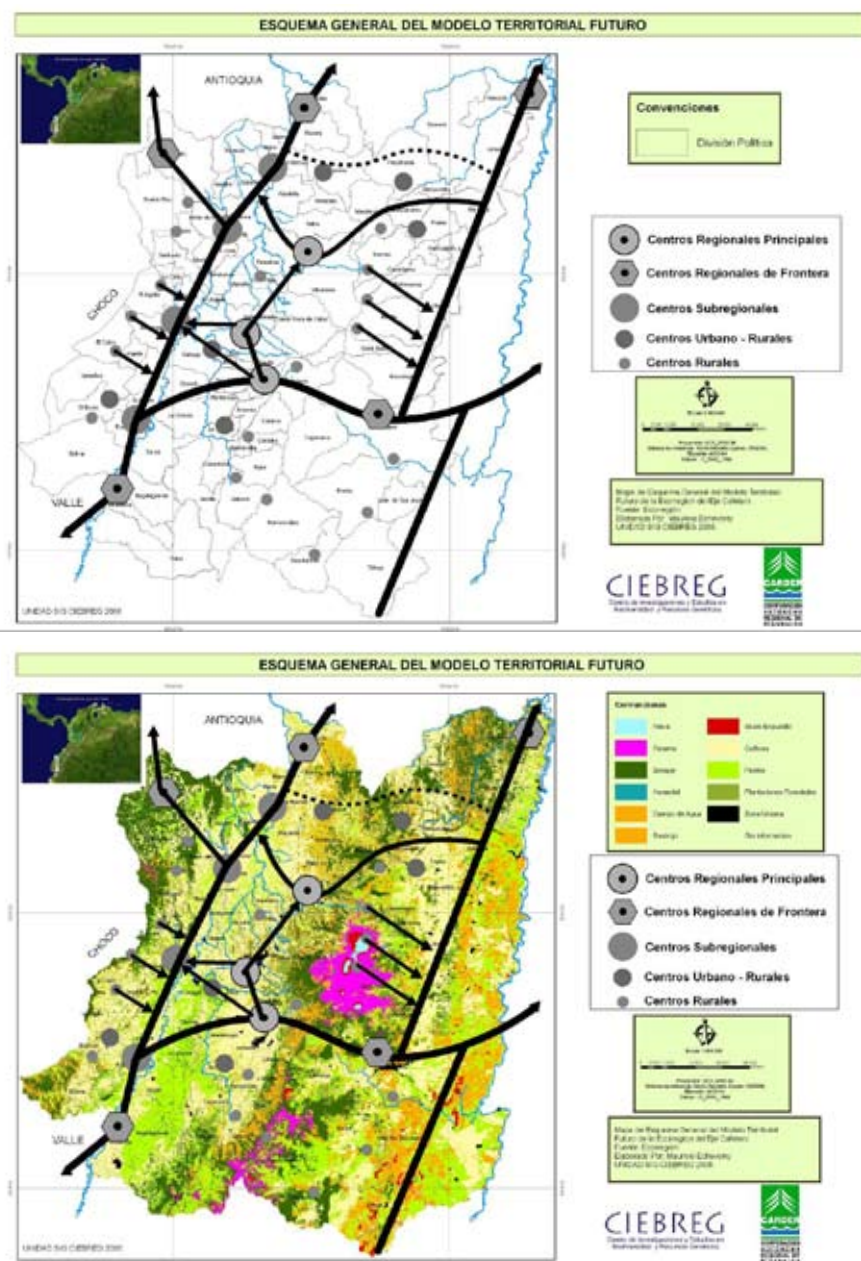


Figura 5. Modelo territorial futuro. Ecorregión Eje Cafetero.

La gestión de la Agenda

La Agenda a través de un proceso de concertación con los diferentes actores del desarrollo regional priorizó nueve Líneas Estratégicas sobre las cuales debe girar o encauzarse el desarrollo de la Ecorregión del Eje Cafetero; estas Prioridades Regionales son:

- Manejo integral del agua
- Planificación y ordenamiento ambiental del territorio
- Reconversión sistemas productivos rurales
- Producción más limpia
- Gestión ambiental urbana
- Consolidación de un sistema regional de áreas protegidas (SIRAP)
- Conectividad y coordinación
- Gobernabilidad y convivencia pacífica

El proceso de construcción social de la Agenda avanza a través de dos escenarios de concertación tales como:

El Comité ampliado de la Ecorregión Eje Cafetero, bajo la coordinación de Alma Mater, y el Convenio de las AUTORIDADES AMBIENTALES (MAVDT, UASPNN, CARDER, CORPOCALDAS, CRQ, CVC, CORTOLIMA), que consta de un Comité Directivo, un Comité Técnico, y una Secretaría Técnica (Ver Figura. 6). Esta instancia de coordinación está operando plenamente en el marco de los Planes de Acción de las Corporaciones para el período 2007- 2009, y se han priorizado los siguientes frentes de acción de carácter regional:



Figura 6. Esquema de administración de la Agenda Ecorregión

- Manejo integral del agua

Alrededor de la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas compartidas. Se cuenta con el plan formulado y adoptado para la cuenca del río La Vieja, y en proceso de formulación la cuenca del río Campo Alegre. Igualmente, para el caso de Risaralda se adelanta la ordenación de las cuencas de los ríos Otún y Consota. Énfasis especial se realiza en la implementación del plan de manejo del parque Nevados y su zona amortiguadora, especialmente a través de la restauración del área afectada por el incendio de 2006. Igualmente se ha logrado la declaratoria de la laguna del Otún como sitio RAMSAR, gracias al trabajo del grupo técnico del sistema regional de áreas protegidas (SIRAP), con el liderazgo de la CARDER, WWF, y el apoyo de Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Se ha priorizado en el ámbito regional continuar con la ordenación de la cuenca del río Risaralda, si se tiene en cuenta los conflictos de carácter minero ambiental y las propuestas de macroproyectos que se han planteado.

- Planificación y ordenamiento ambiental del territorio

En el presente año está operando esta mesa regional bajo la coordinación de la CRQ, donde se busca unificar criterios alrededor de los referentes ambientales para los POTs, los Planes Parciales, el establecimiento de densidades urbanas en el suelo rural, y su adecuada articulación con los planes de ordenación y manejo de cuencas que se están adelantando.

- Reconversión socioambiental de sistemas productivos

En esta línea se han priorizado las principales actividades actuales y potenciales a nivel rural:

- Reconversión socioambiental de la ganadería, donde se pretende consolidar el núcleo Eje Cafetero y Alto Cauca, como parte del proyecto nacional de reconversión, y se aspira a ejecutar el 5% de la meta nacional, con la participación de las CARS, FEDEGAN, Ministerios de Ambiente y Agricultura, Fondo GEF-BM, y la Fundación CIPAV entre otros.
- Paisaje Cultural Cafetero como patrimonio cultural de la humanidad; proyecto de declaratoria que está siendo apoyado por las CARS, bajo el liderazgo del Ministerio de Cultura, Federación Nacional de Cafeteros y Universidades regionales.
- Manejo sostenible de bosques con énfasis en Guadua en la Ecorregión del Eje Cafetero, ejecutado con la cooperación técnica de la GTZ, que dio lugar a la cooperación de la Unión Europea con el proyecto de Gobernanza

forestal denominado Bosques- FLEGT, el cual tiene incidencia en Risaralda, Quindío, Tolima y Norte de Santander, adelantado bajo la coordinación de la CARDER.

- Bajo el liderazgo del Instituto Alexander von Humboldt, las CARs del Eje Cafetero participarán de un proyecto de biocomercio para los países de Perú, Ecuador y Colombia, que contará con el apoyo del Fondo GEF- BM.
- A partir de la Agenda ambiental firmada entre la CARDER y el Comité de Cafeteros en Risaralda, se busca fortalecer la caficultura sostenible, en todas sus expresiones , a nivel de la Ecorregión Eje cafetero.

- **Producción más limpia**

Se reconoce diversas iniciativas de gestión a través de Convenios y Agendas de producción más limpia con sectores productivos, donde se destacan los convenios con los sectores porcícola, fiquero, y panelero, y las Agenda Ambientales con la ANDI Seccional Risaralda- Quindío, y con el Comité de Cafeteros de Risaralda. El Centro de Producción mas Limpia de la UTP es un importante apoyo en las labores de capacitación, extensión y gestión que se están desarrollando.

Desde la Agenda se quiere liderar un Nodo Regional para la mitigación del cambio climático y la gestión de proyectos MDL. Para tal efecto, está operando una mesa temática específica, y se ha avanzado en la formulación y gestión de un proyecto MDL para la cuenca del río La Vieja y el corredor de Alta Montaña Nevados- las Hermosas.

- **Gestión ambiental urbana**

Es una de las líneas con menores niveles de desarrollo, y se reconoce la necesidad de avanzar en una propuesta regional orientada hacia una gestión del hábitat sostenible. Como un insumo importante, producto del plan de acción ambiental de la reconstrucción del Eje cafetero con el FOREC, se formularon los lineamientos regionales para una gestión regional del riesgo en la Ecorregión. Desde este año se pondrá en marcha una mesa temática para la gestión integral del riesgo, bajo la coordinación de CORPOCALDAS, por sus reconocidos avances en el tema.

- **Consolidación de un sistema regional de áreas protegidas en la Ecorregión Eje Cafetero (SIRAP-EC).**

El proceso SIRAP Eje Cafetero es un escenario de cooperación interinstitucional donde la principal estrategia ha sido la concertación y el trabajo conjunto entre las Corporaciones Autónomas Regionales de los cinco departamentos de la Ecorregión del Eje Cafetero (Caldas, Risaralda, Quindío, Tolima y Norte del Valle del Cauca), la Unidad Administrativa del Sistema de Parques Nacionales

Naturales, Organizaciones No Gubernamentales (WWF, WCS, Red de reservas de la sociedad civil, entre otros), que bajo la secretaría técnica de la CARDER, trabajan con el objeto de mantener una muestra representativa de ecosistemas y especies a través de la generación de mecanismos de manejo del territorio, que permitan disminuir las presiones sobre las áreas protegidas existentes y favorecer la conectividad entre los ecosistemas remanentes. De igual manera el SIRAP E.C. pretende articular las iniciativas regionales y locales de conservación y asegurar a largo plazo la oferta de bienes y servicios ambientales.

Este proceso ha aportado elementos de decisión entorno a la conservación y manejo de la biodiversidad de la región y su incidencia en el desarrollo regional y nacional siendo uno de los procesos regionales más avanzados del país.

Principales logros (ver Figura 7):

- Mecanismo de centralización de información y dinamización del SIRAP (Secretaría Técnica).
- Levantamiento de línea base: áreas protegidas existentes (creadas legalmente en diferentes categorías, incluyendo predios adquiridos, según lo reportado por cada autoridad ambiental), centralización de la información cartográfica y temática (SIR).
- Formalización de la integración a través de acuerdos regionales.
- Listado de especies focales en los grupos de aves, plantas, anfibios, mamíferos, peces.
- Selección de áreas prioritarias para la conservación.
- Arreglos internos en el SIRAP E.C.: Sistemas Departamentales de Áreas Protegidas (Risaralda, Quindío, Valle del Cauca), Sistemas Municipales de Áreas Protegidas, Sistemas Locales de Áreas Protegidas, Zonas Amortiguadoras de Parques Nacionales Naturales.
- Base de datos en biodiversidad.
- Protocolo para la elaboración de planes de manejo y conservación de especies focales.
- Planes de manejo y conservación de la pava caucana (*Penelope perspicax*) y mono aullador (*Allouata seniculus*).

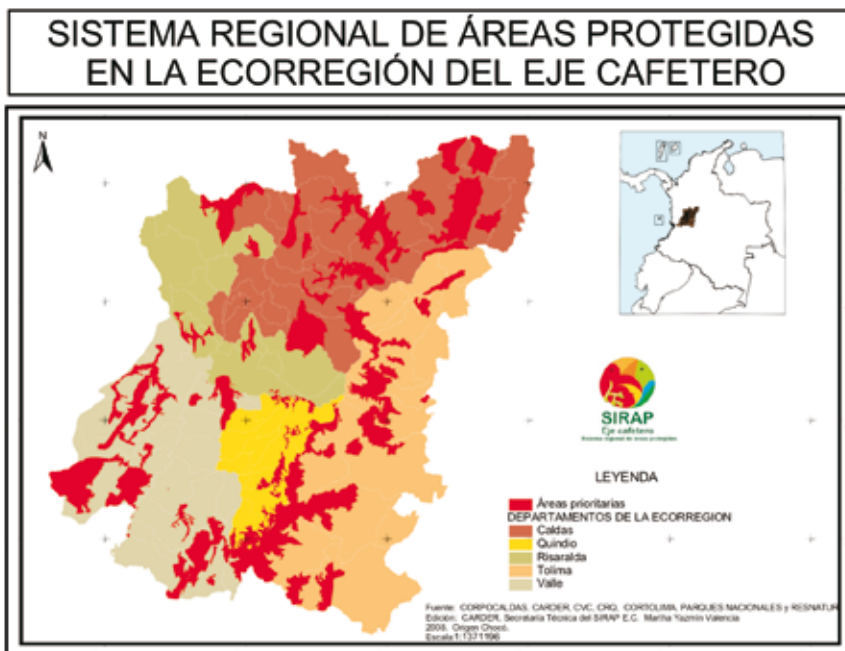


Figura 7. Principales logros del SIRAP EC. Identificación de áreas prioritarias.

- Conectividad y coordinación

Se ha consolidado un Sistema de Información Regional (SIR), cuyo nodo central opera en la Universidad Tecnológica de Pereira. Este debe ser fortalecido como instrumento al servicio del desarrollo sostenible, capaz de articular infraestructuras de datos espaciales a escala local, nacional e internacional.

Énfasis especial deberá tenerse alrededor de la propuesta de consolidar una Agenda regional de ciencia, tecnología e innovación como instrumentos vitales para el desarrollo económico y social de la Ecorregión.

En lo relacionado con la coordinación, se ha focalizado su accionar en la consolidación de los SISTEMAS DE GESTION AMBIENTAL MUNICIPAL (SIGAM), bajo los lineamientos establecidos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; y con el liderazgo de las respectivas Corporaciones Autónomas Regionales en sus áreas de jurisdicción.

- Gobernabilidad y convivencia pacífica

Constituye una nueva línea de trabajo en la agenda, y su desarrollo depende en mayor medida del aporte que realicen otros actores diferentes a las CARs.

El CIEBREG y la Agenda de Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Eje Cafetero

Cuando se revisa la concepción de la Agenda , en términos de lo que plantea el enfoque de Bosques Modelo, “El propósito de la gestión territorial de recursos es optimizar capacidad del territorio para proveer en forma sostenible bienes y servicios ecosistémicos para el bienestar humano, a través de una COGESTION TERRITORIAL ADAPTATIVA, que involucre:

- Gobernanza ambiental efectiva
- Construcción de visión compartida
- Mecanismos financieros sostenibles
- Manejo adaptativo
- Alianzas con sector público y privado (campos 2007).

Es un concepto que tiene implícito una apuesta alrededor de la ciencia, la tecnología y la innovación para convertir la ventaja comparativa de la ecorregión (bienes y servicios ambientales), en ventaja competitiva para el desarrollo territorial sostenible. Esto pone de manifiesto el reto del CIEBREG, y la importancia de que este Centro se constituya en el principal aliado de la Agenda Ecorregión para el conocimiento y uso de la biodiversidad. La participación del CIEBREG en procesos ecorregionales o departamentales como los procesos de ordenación de cuencas, el apoyo al proyecto MDL Río La Vieja, la participación en los proyectos piloto de pago por servicios ambientales, la ordenación y manejo de bosques naturales en el Pacífico Biogeográfico Risaraldense, y el apoyo a Risaralda para la definición de su territorio como Bosque Modelo, entre otros, denotan que este Centro de investigación ha entendido la magnitud de la tarea, y está intentando responder a los requerimientos y necesidades de los actores regionales. Son entonces importantes los resultados obtenidos en esta primera etapa de trabajo, pero mayores los retos para los próximos años; y en ese sentido los actores de la ecorregión esperamos un Centro de investigación consolidado y trabajando mancomunadamente en la búsqueda de conocimiento, respuestas y propuestas de desarrollo sostenible.

Referencias

Ecorregión Eje Cafetero, Territorio de Oportunidades. 2002 Convenio CARDER-FONADE (Ministerio de Ambiente) y Convenio Alma Mater- FOREC, Pereira.

Agenda actualizada para el desarrollo sostenible de la ecorregión Eje Cafetero, Colombia, 2007- 2019. 2007 CARDER, CORPOCALDAS, CRQ, CORTOLIMA, CVC, ALMA MATER, Pereira.

Resumen Sistema Regional de Areas Protegidas del Eje Cafetero Colombiano EC. 2007 CARDER, Pereira.

Campos, J. J. 2007. Bosques Modelo. CATIE, Costa Rica.

Fisiología de semillas de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don. ex Steud (Dinde)



Fondo.
Árbol de Dinde.

Foto 1.
Embrión de semillas de Dinde.

Fotografías: Kelly Jiménez

Fisiología de Semillas de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don. ex Steud (Dinde)

Jiménez-L, K. E., Escobar-T. W., Ramírez-S, C.
Investigadores Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos
Genéticos, CIEBREG
Pontificia Universidad Javeriana
Unidad de Biotecnología Vegetal. Facultad de Ciencias.
Cra. 7 No. 43-82 Bogotá, Colombia.
e-mail:kellyejl@javeriana.edu.co, escobarw@javeriana.edu.co, cramirezs@
javeriana.edu.co

Abstract

Maclura tinctoria (dinde), is a highly valuable native forest tree widely distributed in Colombia, that has experienced a population decline at La Vieja river basin.

Seed physiology and sexual propagation studies were done in order to support conservation and ecological restoration programmes. Firstly, a morphological fruit and seed description was done to identify fruit maturity degrees. Secondly, physical and physiological characterizations were made based on imbibition curves, seeds moisture content, viability, and germination responses in nursery conditions.

Germination indexes were calculated in relation to fruit maturity degree, pre-germinative treatments applied to the seeds and storage conditions. The emergence of the hypocotile hook was used as the germination criterion. The number of germinated seeds in each repetition was registered at least during 30 days. The results were expressed as: germination capacity (GC), germination rates R_{50} , R_{50} , and also the germination rate index (GRI). Additionally, we analyzed also the peak value (PV) and the media daily germination (MDG) and the germination value (GV).

M. tinctoria has an aggregated fruit with flat and brown seeds which accompanied by another morphological traits were useful to describe and identify three fruit maturity degrees: A (taken from the soil), B (taken from the tree branches) and C (less mature). In addition, the moisture content determination was adequate as an indicator of seed maturity degree. The best responses in terms of percentages and germination rates were obtained for seeds obtained from A and B compared to C fruits. It was also clear that seeds obtained from B fruits had higher germination and speed responses, which can be attributed to better physiological seed quality traits.

The germination capacity was influenced by the storage and seeds treatments applied. Some procedures such as boiling water caused seed injuries and the water immersion did not improve the germination responses.

Keywords: forestry species, germination index, maturity degree of fruits and seeds, moisture content, seed viability.

Resumen

Maclura tinctoria (dinde), es una especie forestal nativa, de alto valor comercial y amplia distribución en Colombia. En los últimos años se ha presentado una reducción de las poblaciones de dinde en la Cuenca del río La Vieja.

Se realizaron estudios de fisiología de semillas y propagación sexual con el fin de apoyar programas de conservación y restauración ecológica. Primero, se realizó la descripción morfológica de frutos y semillas para identificar los grados de madurez de los frutos y posteriormente se realizó una caracterización física y fisiológica basada en curvas de imbibición, contenido de humedad de la semilla, viabilidad y respuestas de germinación en condiciones de vivero.

Los índices de germinación fueron calculados en relación al grado de madurez de los frutos, tratamientos pregerminativos aplicados a las semillas y condiciones de almacenamiento. La emergencia del gancho del hipocotilo fue tomado como el criterio de germinación. Se registró el número de semillas germinadas en cada repetición durante 30 días. Los resultados fueron expresados como: Capacidad germinativa (GC), Tasas de germinación R_{50} y $R_{50'}$, e índice de la tasa de germinación (GRI). Adicionalmente, se analizó el valor pico (PV), la germinación media diaria (MDG) y el valor de germinación (GV).

M. tinctoria presenta infrutescencias con semillas planas y de color café, que acompañadas de otras características morfológicas fueron útiles para describir e identificar tres grados de madurez del fruto: A (tomado del suelo), B (tomado de las ramas de los árboles), C (menos maduro). Adicionalmente, la determinación del contenido de humedad fue un indicador importante para establecer el grado de madurez de las semillas. Las mejores respuestas en términos de porcentajes y tasas de germinación fueron obtenidas de las semillas extraídas de frutos A y B comparadas con frutos C. Fue también claro que las semillas extraídas de frutos B presentan mayor capacidad germinativa y velocidad de germinación, lo cual puede ser atribuido a mejores características fisiológicas y de calidad de la semilla.

La capacidad germinativa fue influenciada por el almacenamiento y los tratamientos aplicados a las semillas. Algunos procedimientos como la inmersión en agua en ebullición causan daños a la semilla y la inmersión en agua a temperatura ambiente no mejora las respuestas de germinación.

Palabras clave: especies forestales, contenido de humedad, índices de germinación, grado de madurez de frutos y semillas, viabilidad.

Introducción

Maclura tinctoria (L.) D. Don. ex Steud. (dinde) es una especie forestal de alto valor comercial, que se utiliza como recurso maderero, industrial y medicinal. En décadas pasadas se generó la sobreexplotación de la especie en la cuenca del río La Vieja que cubre los departamentos del Valle del Cauca y Quindío (Calle et al. 2006).

El trabajo corresponde a una actividad en el marco del centro de excelencia Colciencias “CIEBREG” que pretende definir estrategias de conservación, manejo de la biodiversidad y valoración de los servicios ambientales en la Región Cafetera Central. En esta región se reconoce la presencia productiva y funcional de diferentes especies vegetales de interés económico tales como *Maclura tinctoria* (L.) D. Don. ex Steud. La baja abundancia de dinde ha tenido impactos a nivel ecológico por la pérdida de poblaciones naturales y socio-económicos debido a la reducción de un recurso utilizado tradicionalmente por los productores.

Existen pocos estudios relacionados con la fisiología de las semillas de esta especie, lo cual limita el desarrollo de un procedimiento de propagación sexual que facilite su utilización por agricultores y entidades de fomento forestal. En este artículo se presenta una contribución al conocimiento de la fisiología de semillas y de la propagación por vía sexual de *M. tinctoria*.

Materiales y Métodos

Los frutos de dinde se colectaron de individuos ubicados en los municipios de Algeciras y La Plata (Huila, Colombia). Se realizó la descripción morfológica de los frutos, teniendo en cuenta la forma, consistencia y color, y para las semillas, con base en características de la testa y del embrión.

Se realizaron análisis de calidad física y fisiológica con base en pruebas de germinación. La calidad física incluyó pruebas de contenido de humedad, imbibición y viabilidad.

Para el contenido de humedad se tomaron tres repeticiones de 15 semillas, se pesó cada repetición y posteriormente se llevaron al horno de secado a una temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} + 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 17 horas, finalmente se registró el peso fresco final de cada repetición para calcular el contenido de humedad. Para la curva de imbibición se estableció el peso seco inicial de las 15 semillas de cada repetición, se pusieron en agua destilada y cada hora se registró el peso fresco

hasta que la curva se estabilizó. Para la prueba de viabilidad, se utilizó el mismo número de semillas, las cuales se colocaron en una solución de tetrazolio al 0.1 % e incubaron a una temperatura de 30-35 °C, en completa oscuridad por un período de 48 horas. Luego se realizó la observación de los patrones de coloración y se determinaron los porcentajes de viabilidad (embriones viables y no viables) (Rodríguez & Nieto, 1999).

Las pruebas de germinación se realizaron en los viveros de la Estación Bambusa, propiedad de GEOAMBIENTE Ltda., ubicada en el municipio de Pacho, Cundinamarca a una altura de 1350 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 24 °C y humedad relativa del 65%. Se consideraron diferentes tratamientos relacionados con el grado de madurez del fruto y tiempo de almacenamiento de las semillas al ambiente. Para cada tratamiento (Cuadro 1), se tomaron cuatro repeticiones de 36 semillas cada una y las lecturas se realizaron cada tres días con base en la emergencia del gancho del hipocotilo durante un período de 30 días (ISTA 2006). Con estos datos se calcularon los índices de germinación GC (capacidad de la germinación), R50, R50', GRI (índice de la tasa de germinación), MDG (germinación media diaria), PV (valor pico) y GV (valor de la germinación).

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en las pruebas de germinación.

	Descripción	Tratamiento
Grado de madurez	Semillas de frutos en grado de madurez A	A
	Semillas de frutos en grado de madurez B	B
	Semillas de frutos en grado de madurez C	C
Tratamientos pre-germinativos	Semillas de fruto A imbibidas 12 horas en agua a temperatura ambiente.	A12H
	Semillas de fruto A imbibidas 24 horas	A24H
	Semillas de fruto A imbibidas 36 horas	A36H
	Semillas de fruto A imbibidas de 15 segundos en agua en ebullición	A15S
	Semillas de fruto A imbibidas 30 segundos	A30S
	Semillas de fruto A imbibidas 60 segundos	A60S
	Semillas de fruto B imbibidas 12 horas.	B12H
	Semillas de fruto B imbibidas 24 horas	B24H
	Semillas de fruto B imbibidas 36 horas	B36H
	Semillas de fruto B imbibidas 15 segundos	B15S
	Semillas de fruto B imbibidas 30 segundos	B30S
	Semillas de fruto B imbibidas 60 segundos	B60S
Almacenamiento al ambiente	Semillas de fruto A almacenadas 6 horas	A6H
	Semillas de fruto A almacenadas 3 días	A3D
	Semillas de fruto A almacenadas 8 días	A8D
	Semillas de fruto B almacenadas 6 horas	B6H
	Semillas de fruto B almacenadas 3 días	B3D
	Semillas de fruto B almacenadas 6 días	B8D

En la descripción morfológica se realizó un análisis descriptivo y la evaluación de germinación se realizó bajo la estructura de un diseño completamente al azar, acompañado de análisis de correlación, análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de Duncan. La información fue analizada con el Statistical Analysis System (SAS) mediante el procedimiento de modelos lineales (GLM).

Resultados y Discusión

Descripción morfológica de frutos y semillas

Los frutos con grado de madurez A fueron colectados en el suelo junto a los árboles de *M. tinctoria*, de color verde, forma ovalada con diámetro entre 14-16 mm, consistencia blanda, olor fuerte, reducida pilosidad en su superficie y con 30 a 55 semillas. Los frutos de grado de madurez B fueron colectados en las ramas de los árboles de *M. tinctoria*, de color verde, forma más o menos ovalada con diámetro entre 12 a 15mm, consistencia no tan firme, sin olor característico, superficie pilosa y con 30 a 55 semillas. Los frutos con grado de madurez C fueron colectados en las ramas de los árboles de *M. tinctoria*, de color verde, forma redonda con diámetro menor a 10mm, consistencia firme, sin olor característico, superficie bastante pilosa y 30 a 35 semillas (Figura 1).

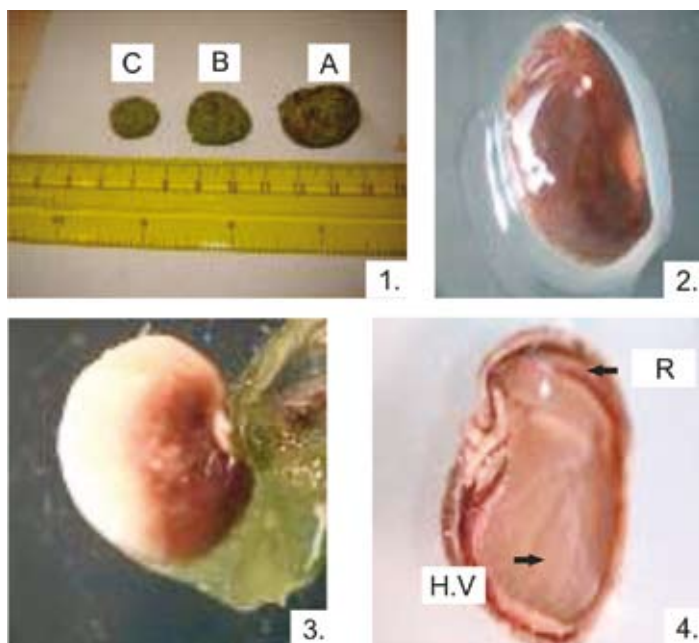


Figura 1. 1. Grados de madurez del fruto; 2. Vista frontal de la semilla de frutos A o B; 3. Vista frontal de la semilla de frutos C; 4. Embrión de la semilla: R (radícula) y H.V (haces vasculares).

Las semillas de los frutos con grado de madurez A y B miden alrededor de 4 mm de longitud, de forma elíptica, testa de color castaño oscuro y consistencia dura. El embrión es total (no posee endospermo) y según la posición pertenece a la división axial (ubicado en el eje central de la semilla) y a la subdivisión folial (cotiledones expandidos). La forma es curva (doblado en el eje hipocotilo-radícula). Presenta cotiledones acumbentes (uno sobre otro) de color blanco, consistencia carnosa

y sistema vascular representado por tres venas vasculares. La radícula es visible, de color blanco y está ubicada en medio de los bordes de los cotiledones (Figura 1). Las semillas de fruto C miden alrededor de 2 mm de longitud, de color blanco pálido a café claro, con dos cotiledones y sin testa definida.

El crecimiento de un fruto puede ser medido por los cambios de forma y tamaño a través del tiempo. El tamaño final de los frutos está determinado por procesos de división celular y elongación celular (Azcón-Bieto & Talón, 1993). Se presume entonces que los frutos de A y B se aproximan a la forma y tamaño final del fruto (ovalada y diámetro de 12 a 16 mm) en comparación al fruto C con forma redonda y diámetro menor de 10 mm.

El fruto A presenta la consistencia más blanda, el B consistencia media y el C consistencia dura. A medida que madura el fruto se pueden presentar cambios en la consistencia del pericarpio, producidos por el ablandamiento de la pared celular, pérdida de turgencia y degradación de productos de reserva. Por esto se podría afirmar que los frutos A y B son más maduros en comparación con el fruto C (Azcón-Bieto & Talón, 1993).

Adicionalmente, se presentan cambios morfológicos entre las semillas de los grados de madurez del fruto A y B con respecto a C. Durante la maduración de la semilla se producen cambios como el crecimiento del 80% de la semilla, debido a la toma de agua y nutrientes desde la planta madre a través del funículo dando lugar a: cotiledones, radícula, endospermo y cubiertas seminales (histodiferenciación). Finalmente, se produce la elongación celular y acumulación de reservas en los tejidos de almacenamiento (alcanzando el máximo peso seco) para luego desprenderse de la planta madre (Kermode, 1995; Berry & Bewley, 1991). Se puede considerar que las semillas del fruto C se encuentran en pleno proceso de histodiferenciación pues la formación de cubiertas seminales no ha culminado; mientras, las semillas del fruto A y B se podrían encontrar en un grado de desarrollo más avanzado donde se presume que el proceso de histodiferenciación se ha completado y han alcanzado su máximo peso seco (Kermode, 1995; Berry & Bewley, 1991).

En resumen, existen diferencias morfológicas con base en los descriptores morfológicos de los frutos de *M. tinctoria* estableciendo claramente tres grados de madurez diferenciados: A (maduro), B (premaduro) y C (inmaduro). Los criterios morfológicos de mayor importancia para la definición de dichos grados corresponden a forma, tamaño y consistencia del fruto.

Efecto de los grados de madurez del fruto sobre la respuesta germinativa de las semillas.

El contenido de humedad en las semillas fue de 20.4% en frutos A, 21.2% en frutos B y 27.4% en frutos C. Las semillas de frutos A y B no presentan una

diferencia notoria en el contenido de humedad con respecto a C.

Las semillas del fruto C, presentan un elevado contenido de agua; sin embargo cuando éstas alcanzan la madurez fisiológica (máximo peso seco) dicho contenido empieza a disminuir rápidamente. De acuerdo con esto, se presume que las semillas de frutos en estado A y B presentan un grado de madurez mayor con respecto a C; esta condición afectó la toma de agua de las semillas en la prueba de imbibición (Sinniah *et al.* 1998 citado por Romero, 2000; Ruiz *et al.* 2003).

En la prueba de imbibición, se observó que las semillas que absorbieron mayor cantidad de agua en el tiempo fueron las de frutos A con un peso seco inicial y peso fresco final de 0.05 g y 0.06 g respectivamente, seguido por semillas de frutos B con 0.05 g y 0.06 g y por último, las semillas de frutos C con un peso de 0.03 g y 0.04 g (Figura 2).

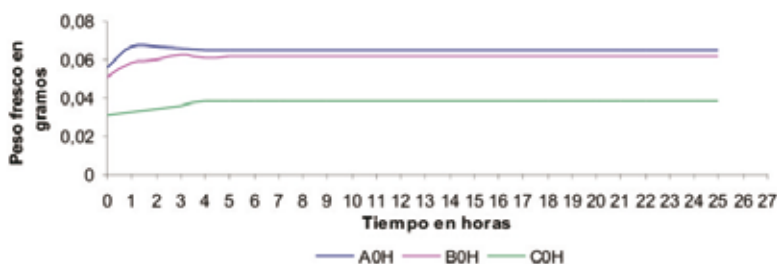


Figura 2. Curva de imbibición para semillas procedentes de frutos con grado de madurez A, B y C.

Se identificaron 7 patrones de coloración de tetrazolio en la prueba de viabilidad. Los embriones de *M. tinctoria* de las semillas de frutos A presentaron un porcentaje de viabilidad del 75.5%, las semillas de frutos B de 60.0% y las semillas frutos C no fueron viables (Cuadro 2).

La viabilidad de las semillas de un fruto puede variar de acuerdo con su grado de madurez. En este caso se observa que la viabilidad de las semillas de frutos A y B (74.1 - 63.4%) de *M. tinctoria* es mucho mayor con respecto a las semillas del fruto C (0%) lo cual es soportado por las características morfológicas de cada grado descrito.

Cuadro 2. Patrones de viabilidad de las semillas de *M. tinctoria*

Descripción	Viabilidad	Porcentaje por grado de madurez			Esquema
		A	B	C	
Embrión sin teñir	No Viable	24.4%	28.9%	100%	
Cotiledones y radícula completamente teñidos.	Viable	57.8%	46.7%	0%	
Cotiledones parcialmente teñidos (- del 50%) y radícula sin teñir.	No Viable	0%	2.22%	0%	
Cotiledones totalmente teñidos y radícula sin teñir.	No Viable	0%	0%	0%	
Cotiledones parcialmente teñidos (- del 50%) y radícula teñida totalmente.	Viable	11.1%	6.67%	0%	
Cotiledón parcialmente teñido (-del 50%) y radícula parcialmente teñida (- del 50%).	Dudosa	0%	6.67%	0%	
Cotiledón parcialmente teñido (+ del 50%) y radícula parcialmente teñida (+ del 50%).	Viable	6.67%	6.67%	0%	
Dañadas y Vacías	No Viable	0%	2.22%	0%	

En la curva de germinación (Figura 3) se pueden observar tres fases definidas: la primera, que comprende el período entre la siembra y el inicio de la germinación en semillas de frutos A y B se inicia a los 10 días después de la siembra (DDS). La segunda fase muestra un aumento rápido en la germinación y corresponde al período en el que germina la mayor parte de semillas, en semillas extraídas de frutos A y B ocurre entre los 10 y 16 DDS y la tercera fase es de estabilización y ocurre después de los 19 DDS.

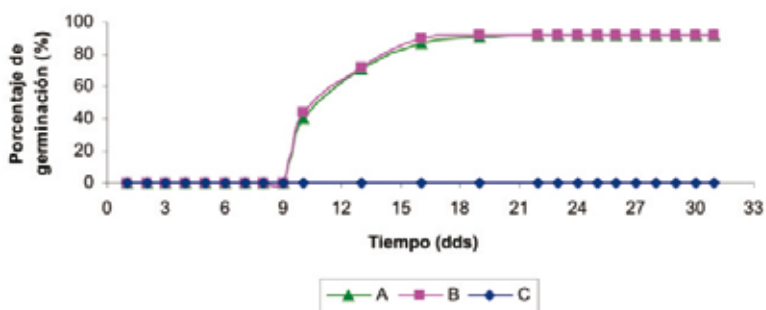


Figura 3. Curva de germinación para semillas procedentes de frutos con grado de madurez A y B.

De acuerdo al comportamiento de las semillas de frutos A y B en la curva de germinación, se podría considerar que éstas han adquirido el máximo poder germinativo y que presentan buen vigor el cual se podría atribuir en parte a la acumulación de reservas en las semillas (Czabator, 1962; Gold et al. 2004).

Mediante ANOVA se demostró que las semillas de los diferentes grados de madurez del fruto presentan diferencias significativas para todos los índices de germinación. De otra parte, el índice GC tiene un alto coeficiente de correlación con los otros índices y puede explicar el efecto de la madurez del fruto sobre la respuesta germinativa en las condiciones de este estudio.

Las semillas de los diferentes grados de madurez del fruto presentan diferencias significativas para todos los índices de germinación. De otra parte, el índice GC tiene un alto coeficiente de correlación con los otros índices y puede explicar el efecto de la madurez del fruto sobre la respuesta germinativa en las condiciones de este estudio.

En semillas de frutos A o B la respuesta germinativa fue similar; mientras, las semillas de frutos C no germinaron. Esto se puede afirmar considerando los resultados de los distintos índices de germinación (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores de los índices de germinación para las semillas procedentes de frutos con grado de madurez A, B y C.

TRATAMIENTO	Índices de germinación						
	GC **	R50 ** (DDS)	R50' ** (DDS)	GRI **	PV **	MDG **	GV **
A	91.7 (A)	12 (A)	12 (A)	7.62 (A)	5.65 (A)	2.96 (A)	16.7 (A)
B	91.7 (A)	12 (A)	11 (A)	7.33 (A)	5.88 (A)	2.96 (A)	17.4 (A)
C	0 (B)	0 (B)	0 (B)	0(B)	0(B)	0(B)	0 (B)

* = Significancia (P<0.05), ** = Significancia (P<0.01).

Si bien las semillas de frutos A y B mostraron diferencias morfológicas, se relacionan en cuanto a calidad física y respuesta germinativa, puesto que las semillas registraron una alta viabilidad que garantizó una buena germinación (91.7%) y velocidad de germinación para semillas de frutos A y B (Alarcón et al. 2001; Gold et al. 2004). Por ello, en estos frutos se pueden obtener las semillas de mejor calidad en comparación con C donde se encuentran semillas inmaduras que no germinan.

Efecto de diferentes tiempos de almacenamiento al ambiente sobre la respuesta germinativa de las semillas procedentes de frutos con grados de madurez A y B.

El contenido de humedad de las semillas procedentes de los frutos con grado de madurez A y B fue diferente en todos los periodos de almacenamiento: semillas sin almacenar fue de 20.4 y 21.1%; en las semillas almacenadas por periodos de 6 horas fue de 16.9 y 20.2%; en periodos de almacenamiento de 3 horas fue de 8.03 y 7.99% y en el periodo de almacenamiento de 8 horas fue de 4.08 y 4.31% respectivamente.

El contenido de humedad en semillas del fruto A almacenadas en diferentes tiempos es más bajo (4.08-20.4%) con respecto a las semillas del fruto B

almacenadas (4.31-21.1%); la madurez fisiológica del fruto es el momento del desarrollo donde la semilla tiene el máximo peso seco alcanzando un contenido de humedad relativamente bajo; en este punto las semillas generalmente presentan coincidencia con respecto a alta viabilidad y vigor (tasa y germinación de semillas, crecimiento y desarrollo de plantas y posibilidad de almacenamiento). El cambio en el contenido de humedad a través del tiempo de almacenamiento se puede atribuir a diferencias en la humedad relativa y la temperatura del medio con el fin de encontrar un punto de equilibrio con el medio (Ramírez, 1994; Salinas et al. 2001; Ruiz et al. 2003; Gold et al. 2004).

En la prueba de imbibición, las semillas procedentes de frutos con grado de madurez A absorbieron más agua en el tiempo con respecto a las semillas de frutos de tipo de madurez B. En semillas de frutos A el peso seco inicial y peso fresco final fue de 0.05 g y 0.06 g respectivamente, para semillas de frutos B fue de 0.05 y 0.06 g, en A6H fue de 0.05 y 0.07 g, en A3D fue de 0.04 y 0.06 g, en A8D fue de 0.04 y 0.06 g, en B6H fue de 0.04 y 0.06 g, en B3D fue de 0.05 y 0.06 g y en B8D fue de 0.04 g y 0.06 g (Figura 4).

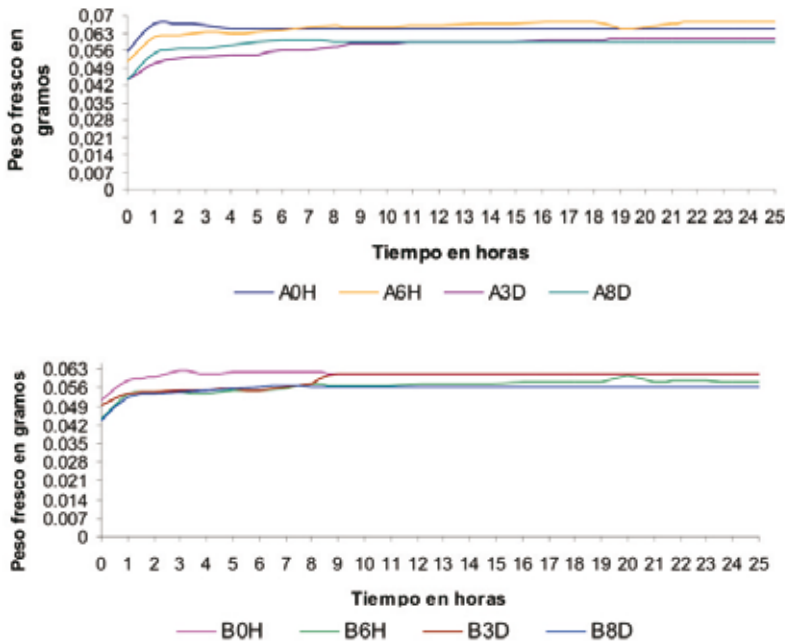


Figura 4. Curvas de imbibición para semillas procedentes de frutos con grado de madurez A y B almacenadas al ambiente.

En la prueba de viabilidad, los embriones de *M. tinctoria* en semillas sin almacenar A0H y B0H presentaron porcentajes de viabilidad del 75.5 y 60% respectivamente,

A6H y B6H de 51.1 y 88.9%, A3D y B3D de 37.8 y 77.8% y A8D y B8D de 33.3 y 53.3%.

Para la mayoría de tratamientos, la tendencia de la curva se ajusta al tipo sigmoideal, caracterizada por presentar 3 fases: una fase logarítmica, en la cual el tamaño del órgano o estructura aumenta en forma exponencial con el tiempo; una fase lineal, en la cual el aumento de tamaño es constante, y la fase estacionaria, en la cual la tasa de crecimiento es mínima a medida que se alcanza la madurez fisiológica (Squire, 1994). En todos los tratamientos, la primera fase tiene una duración aproximada de 10 días; la segunda fase, en el tratamiento B3D se produce entre los 10 y 13 DDS, para B6H, B3D, A6H y A8D se alcanza entre los 7 y 16 DDS, para A0H y B0H se produce entre los 10 y 16 DDS y para B8D se produce entre los 10 y 19 DDS; y la tercera fase para el tratamiento A3D se produce 13 DDS, para los tratamientos A0H, B0H, B6HA, B3D, A6H y A8D se produce después de 16 DDS y para B8DA se produce después de 19 DDS (Figura 5).

En la curva de germinación, se observa que existe un efecto asociado con el grado de madurez del fruto y de los periodos de almacenamiento al ambiente sobre la germinación de semillas de *M. tinctoria*. La calidad de las semillas disminuye con el tiempo dependiendo de las condiciones ambientales, del manejo y del tiempo de almacenamiento (Salinas *et al.* 2001). Se puede afirmar que las semillas del fruto A conservan la calidad más que las semillas de frutos B.

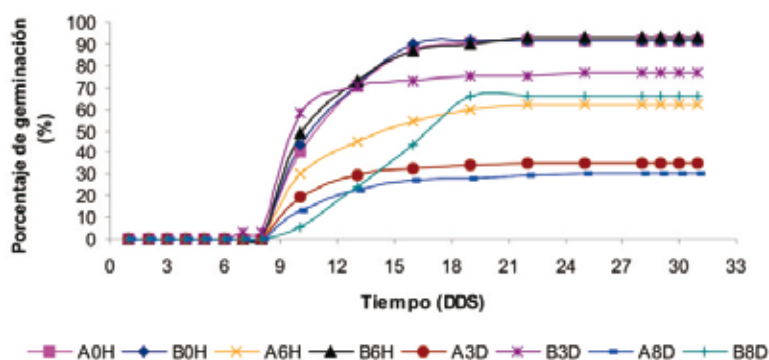


Figura 5. Curvas de germinación para semillas procedentes de frutos con grado de madurez A y B almacenadas.

El ANOVA muestra que las semillas de frutos A y B almacenadas al ambiente en diferentes tiempos presentan diferencias significativas en todos los índices (Cuadro 4). Además, GC, R50 y R50' según el análisis de correlación, pueden explicar el efecto del almacenamiento al ambiente en la respuesta germinativa de las semillas en las condiciones evaluadas.

Cuadro 4. Valores de los índices de germinación para las semillas procedentes de frutos con grado de madurez A y B bajo algunos tiempos de almacenamiento al ambiente.

TRATAMIENTO	GC	R50 (DDS)	R50' (DDS)	GRI	PV	MDG	GV
A0H	91.7 (A)	16 (A)	12 (B)	7.62 (A)	5.65 (A)	2.96 (A)	16.7 (A)
A6H	61.8 (B)	12 (B)	12 (B)	5.24 (B)	3.58 (B)	1.99 (B)	7.22 (C)
A3D	34.7 (C)	0	11 (B)	2.53 (C)	2.24 (C)	1.12 (C)	2.56 (D)
A8D	29.9 (C)	0	12 (B)	2.48 (C)	1.77 (C)	0.96	1.72 (D)
B0H	91.7 (A)	12 (B)	12 (B)	7.33 (AB)	5.88 (A)	2.96 (A)	17.4 (A)
B6H	93.1 (A)	16 (A)	11 (B)	7.17 (AB)	5.67 (A)	3.0 (C)	17.1 (A)
B3D	76.4 (AB)	12 (B)	11 (B)	8.96 (A)	5.13 (A)	2.46 (AB)	12.9 (B)
B8D	65.9 (B)	16 (A)	16 (A)	7.33 (AB)	3.47 (B)	2.13 (B)	7.96 (C)

Las semillas de los tratamientos A0H, B0H y B6H según el resultado de GC, GRI, PV, MDG y GV presentan una respuesta germinativa similar. Las semillas almacenadas de frutos A tienen una respuesta germinativa mucho menor (29.9-91.7%) que las del fruto B (65.97-93.06%).

La capacidad de germinación de semillas procedente de frutos con grado de madurez A va de 29.9 a 91.7% y en frutos tipo B de 65.9 a 93.1%. Los frutos A fueron recogidos del suelo y se desconoce cuánto tiempo transcurrió desde que se desprendieron del árbol hasta que fueron colectados, por lo que las semillas pudieron sufrir procesos de envejecimiento que afectaron la viabilidad, el potencial de almacenamiento y la capacidad germinativa (Gold et al. 2004). De hecho se presume, que en semillas del fruto A estos procesos estaban más avanzados que en B (colecta de frutos en el árbol) afectando la respuesta germinativa de las semillas a través del tiempo de almacenamiento (Gold et al. 2004). El almacenamiento al ambiente afecta la respuesta germinativa y viabilidad de las semillas extraídas de frutos A y B. En este sentido las semillas de fruto B conservan la respuesta germinativa hasta por 6 horas de almacenamiento a diferencia de las semillas de frutos A.

Efecto de los tratamientos sobre la respuesta germinativa de las semillas procedentes de los grados de madurez del fruto (A y B).

En la prueba de viabilidad, los embriones de dinde de las semillas de frutos A y B bajo un tratamiento de inmersión en agua corriente por 12 horas presentaron porcentajes de viabilidad del 13.3% y 62.2% respectivamente. En las semillas imbibidas 24 horas, el porcentaje de germinación de las semillas A fue de 46.6% y de las semillas B fue de 66.6%. En las semillas imbibidas por periodo de 36 horas el porcentaje de germinación fue de 39.9% y 73.2%, respectivamente para semillas procedentes de frutos A y B. Las semillas de frutos con grados de madurez A y B en inmersión en agua en ebullición no fueron viables.

La hidratación de las semillas es esencial en la activación del metabolismo ya que se reanuda la actividad respiratoria, la cual es proporcional al aumento de

la hidratación de los tejidos de la semilla. En la prueba de tetrazolio, los iones de hidrógeno se transfieren a las sales de tetrazolio y éstas se reducen a una formación insoluble y coloreada (rojo) que tiñe los tejidos vivos (los que respiran) (Delouche *et al.* 1971; Bewley, 1997; Copeland & McDonald, 1995). Esto podría indicar que las semillas sumergidas por 24 horas (24H) y 36 horas (36H) presentan mayor actividad respiratoria incrementando la difusión del color sobre el tejido vivo y el aumento del porcentaje de viabilidad con respecto a semillas sumergidas por 12 horas (12H) sin importar el grado de madurez.

La curva de germinación para estos tratamientos (Figura 6) muestra que la primera fase para todos los tratamientos de imbibición en agua a temperatura ambiente, tiene una duración de 7 días. La segunda fase corresponde al período en el que germina la mayor parte de semillas, en los tratamientos B24H Y B36H se produce entre los 7 y 16 DDS mientras que para los tratamientos A12H, B12H, A24H y A36H se alcanza entre los 7 y 19 DDS. Para los tratamientos control A0H y B0H la germinación inicia a los 10 DDS y la segunda fase se produce entre los 10 y 16 DDS.

La tercera fase para los tratamientos A0H, B0H, B24H y B36H se produce después de 16 DDS mientras que para los tratamientos B12H, A12H, A24H y A36H se produce a los 19 DDS.

En general los tratamientos A12H, A36H y A24H presentaron los porcentajes más bajos de germinación en comparación con los tratamientos B0H, A0H, B12H, B24H y B36H, los cuales presentaron mejores porcentajes de germinación, esto se puede explicar teniendo en cuenta que el grado de madurez de los frutos se relaciona de manera importante con el porcentaje de germinación de las semillas de dinde, siendo mejor la respuesta germinativa para semillas procedentes de frutos con grado de madurez B.

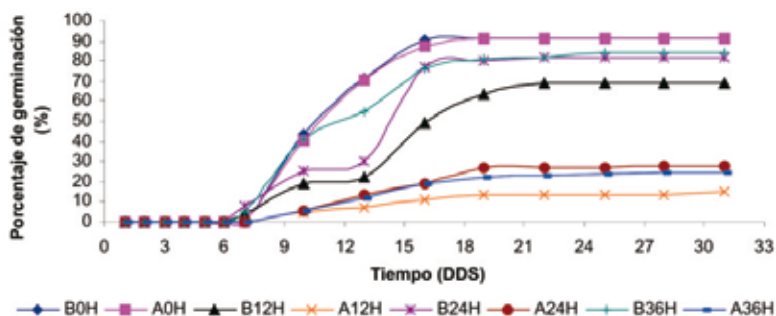


Figura 6. Curvas de germinación para semillas de frutos A y B tratadas con inmersión en agua a temperatura ambiente.

Al estudiar la germinación, el ANOVA mostró que las semillas procedentes de frutos con grado de madurez A y B tratadas con inmersión en agua presentan

diferencias significativas en los índices GC, GRI, MDG, PV y GV (Cuadro 5). Además, el índice GC y R50' según el análisis de correlación, puede explicar el efecto de los tratamientos pregerminativos en la respuesta germinativa.

Cuadro 5. Valores de los índices de germinación para semillas procedentes de frutos con grado de madurez A y B sometidas a tratamientos pregerminativos.

TRATAMIENTO	GC	R50 (DDS)	R50' (DDS)	GRI	PV	MDG	GV
A0H	91.7 (A)	12	12 (B)	7.62 (B)	5.65 (A)	2.96 (A)	16.7 (A)
A12H	15.3 (D)	0	14 (AB)	1.43 (B)	0.80 (D)	0.49 (D)	0.41 (D)
A24H	27.8 (C)	0	16 (A)	2.87 (C)	1.39 (D)	0.89 (C)	1.36 (D)
A36H	24.3 (CD)	0	14 (AB)	2.45 (CD)	1.31 (D)	0.78 (CD)	1.06 (D)
B0H	91.7 (A)	12	12 (B)	7.32 (B)	5.87 (A)	2.96 (A)	17.4 (A)
B12H	69.4 (B)	18	16 (A)	8.05 (B)	3.36 (C)	2.24 (B)	7.84 (C)
B24H	81.9 (A)	16	15 (A)	9.39 (A)	4.82 (B)	2.64 (A)	12.7 (B)
B36H	84.0 (A)	14	12 (B)	9.75 ((A)	4.77 (B)	2.71 (A)	13.2 (B)

Las semillas de los tratamientos A0H y B0H presentan una respuesta germinativa similar según el resultado de los índices. Se observa además, que la capacidad y velocidad de germinación (R50 y PV) es menor en las semillas de frutos B con respecto a semillas de frutos A (Cuadro 5). Las semillas tratadas con inmersión en agua en punto de ebullición no germinaron.

La inmersión de semillas en agua es utilizada para uniformizar y acelerar la velocidad de germinación ya que la imbibición participa en la activación metabólica y en el inicio de procesos como respiración y movilización de reservas, procesos fundamentales para la germinación. Las semillas sumergidas por 24H y 36H presentan mejor velocidad de germinación que las semillas sumergidas por 12H (Azcón-Bieto & Talón, 1993; Bewley, 1997; García-Fayos *et al.* 2001; Perez-Castro *et al.* 2003; SIRE: CONABIO-PRONARE, 2003).

Sin embargo, según los índices de germinación los tratamientos pregerminativos aplicados a las semillas no mejoran la respuesta germinativa (inmersión en agua a temperatura ambiente y agua en punto de ebullición) en comparación a semillas de frutos recién colectados, los cuales sin ningún tratamiento pregerminativo obtuvieron la mejor respuesta germinativa.

Las semillas tratadas con inmersión en agua en ebullición no germinaron, esto se pudo deber a que la alta temperatura incidió negativamente en la permeabilidad e integridad de las membranas y produjo muerte celular en cotiledones y radícula, impidiendo la germinación de las semillas (Bhattacharjee & Mukherjee, 1998).

Conclusiones

La forma, tamaño y consistencia del fruto permitieron definir tres grados de madurez del fruto: A (maduro), B (premaduro) y C (inmaduro).

Las semillas procedentes de frutos de los grados de madurez A y B de *M. tinctoria* presentan diferencias en la respuesta germinativa con respecto a semillas de frutos C.

Los tratamientos pre-germinativos aplicados a las semillas no mejoran la respuesta germinativa (inmersión en agua a temperatura ambiente y en agua a punto de ebullición).

El almacenamiento al ambiente afecta la respuesta germinativa, viabilidad y calidad de las semillas extraídas de frutos A y B. En este sentido las semillas de frutos A se ven más afectadas que las del fruto B cuya capacidad germinativa se mantiene hasta por 6 horas de almacenamiento al ambiente.

Agradecimientos

Los autores reconocen el apoyo logístico y financiero de la Pontificia Universidad Javeriana, así como de la empresa GEOAMBIENTE Ltda., por permitirnos realizar los ensayos de propagación en los viveros de su Centro de Producción en Pacho (Cundinamarca, Colombia). Adicionalmente, agradecemos a Loyla Rodríguez, colega de la UBV por su colaboración en la revisión del manuscrito.

Referencias

Alarcón, A., J. J. Almaraz., R. Ferrera-Cerrato., M. González-Chávez., M. E. Lara., Ma. J. Manjares., R. Quintero & S. Santamaría. 2001: Manual: Tecnología de hongos micorrízicos en la producción de especies forestales en vivero. R. Ferrera-Cerrato, A. Alarcón y M.E. Lara H. (eds). Colegio de Postgraduados, Montecillo. SEMARNAT-PRONARE. México. pp. 98

Azcón-Bieto, J & M. Talón. 1993: Fisiología y bioquímica vegetal. Editorial Interamericana Mc. Graw-Hill. Primera Edición. Madrid. pp. 581.

Bhattacharjee, S. & Mukherjee, A K. 1998: The deleterious effects of high temperature during early germination on membrane integrity and subsequent germination of *Amaranthus lividus*. Zürich, Switzerland. International Seed Testing Association. Vol.26: (1): 1-8.

Berry, T & Bewley J.D. 1991: Seeds of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) which develop in a fully hydrated environment in the fruit switch from a developmental to a germinative mode without a requirement for desiccation. En: Planta. Vol 186: 27-34.

Bewley J. D. 1997: Seed germination and plant dormancy. In: Plant Cell Vol 9: 1055-1066.

Calle, Z., L. E. Martínez. & L. Piedrahita. 2006: Informe de avance: Estudios de vegetación en fincas del Proyecto Enfoques Silvopastoriles. CIEBREG-CIPAV. Colombia. pp. 30.

Copeland, A. D. & M.B. Mc Donald (Ed.). 1995: Principles of seed science and technology. Third Edition. Kluwer Academic Publishers Boston. pp. 369.

Czabator, F. 1962: Germination value: an index combining speed and completeness of pine seed germination. In: Forest science Vol 8 (4): 386-396 p.

Deloche, J., R. Wayne., M. Raspet & M. Lienhard. 1971: Prueba de viabilidad de la semilla con tetrazol. Primera Edición. Centro regional de ayuda técnica, Agencia para el desarrollo internacional. México/Buenos Aires. pp.71.

Fosket, D. 1994: Plant growth and development. Academic Press. San Diego. pp 350.

García-Fayos, P., J. Gulias., J. Martínez., A. Marzo., J.P. Melero., A. Traveset., P. Veintimilla., M. Verdú., V. Cerdan., M. Gasque & H. Medranoz. 2001: Bases ecológicas para la recolección, almacenamiento y germinación de semillas de especies de uso forestal en la Comunidad Valenciana. Banc de Llavors Forestals (Consellería de Medi Ambient, Generalitat Valenciana). Valencia. pp. 82.

Gold. K., P. León-Lobos. & M. Way. 2004: Manual de recolección de semillas de plantas silvestres para almacenamiento a largo plazo y restauración ecológica. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena. Chile. Boletín INIA N° 110. pp. 62.

International Seed Testing Association (ISTA) 2006: International rules for seed testing. Bassersdorf, Switzerland. pp. 267.

Kermode, A.R. 1995: Regulatory mechanisms in the transition from seed development to germination: interactions between the embryos and the seed environment. In: Kigel, J.; Galili, G. (Ed.) Seed development and germination. Marcel Dekker. New York. pp. 273-332.

Perezo-Castro, R., M. Ramírez-Villalobos., A. Ballesteros & G. Rivero. 2003: Tiempo de remojo y profundidad de siembra en semillas del patrón níspero criollo (*Manilkara zapota* (Van Royen) (Jacq) Gill) Sapotaceae. En: Rev. Fac. Agron. (LUZ) Vol 20: 10-20 pp.

Ramírez, C.A. 1994: Determinación de la madurez fisiológica de semillas en tres genotipos de frijol arbustivo adaptadas a clima frío. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Bogotá. pp. 83.

Rodríguez, R.J. & R.V. Nieto. 1999: Investigación en semillas forestales nativas. CONIF: Serie Técnica N° 43. Santa fe de Bogotá. Colombia. pp. 89.

Romero, N.P. 2000: Evaluación del efecto de algunos factores físicos y químicos sobre la germinación de las semillas de tres especies de *Passiflora* *P. edulis*, *P. mollissima* y *P. ligularis*. Tesis de Pregrado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias Básicas. Bogotá. pp.204.

Ruiz, M., M.A. Pérez., J.A. Arguello & F.J. Babinec. 2003: Madurez fisiológica de la semilla de *Bromas auleticus* Trin. (Cebadilla Chaqueña). En: RIA Vol 32(2): 3-20 pp.

Salinas, A.R., A.M. Yoldjan., R.M Craviotto & V. Bisaro. 2001: Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soja. En: Pesq. Agropec. Bras. Vol 36(2): 371-379 pp.

SIRE: CONABIO-PRONARE. 2003: Catalogo web de especies forestales: *Swietenia macrophylla* King [En línea]: <www.conafor.gob.mx/portal/docs/secciones/bosquedes/Fichas%20Tecnicas/Swietenia%20macrophylla.pdf>.



Fisiología de Semillas y Propagación Sexual de *Magnolia hernandezii* (Molinillo)



Fondo.
Árbol de molinillo.

Foto 1.
Plántulas de molinillo.

Foto 2.
Fruto *Magnolia hernandezii* (Molinillo).

Fotografías: Licel Peña

Fisiología de Semillas y Propagación Sexual de *Magnolia hernandezii* (Molinillo)

Peña L, J., Ramírez-S, C., Escobar-T. W.

Investigadores Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos, CIEBREG

Pontificia Universidad Javeriana, Campus Bogotá.

Unidad de Biotecnología Vegetal –UBV. Facultad de Ciencias.

Cra. 7 No. 43-82 Bogotá, Colombia.

e-mail: pena-l@javeriana.edu.co, cramirezs@javeriana.edu.co, escobarw@javeriana.edu.co

Abstract

Magnolia hernandezii (“Molinillo” also “Copachi”), is a native forest tree scarcely founded in Valle, Quindío, Risaralda and Antioquia departments in Colombia. Its distribution is restricted to areas highly conserved. In spite of that, this tree is considered in risk of extinction because of the non-sustainable use added to high rates of forest destruction.

In addition it has been described that Magnoliaceae seeds have germination problems related to mechanical and morphophysiological dormancy as well as hard coats and underdeveloped seed embryos.

Seed physiology and sexual propagation studies were done in order to support production and conservation of high valuable forest trees of *Magnolia hernandezii* (“Molinillo”). Initially, a morphological fruit and seed description of fruits collected in the “Reserva Forestal de Bremen” (Quindío- Colombia) were done in order to identify fruit maturity degrees. Secondly, physical and physiological characterization were made based on imbibition curves, seeds moisture content, viability and germination responses in nursery conditions by using different substrates. Finally, we analyzed the effect based on growth and development responses for defining transplant criteria on nursery conditions.

Germination indexes were calculated related to fruit maturity degree, pre-germinative treatments applied to the seeds and storage conditions. The emergency of hypocotile hook was the germination criterion. The number of germinated seeds in each repetition was registered during 180 days. The results were expressed as: germination capacity (GC), germination rates R_{50} , R_{50} and also the germination rate index (GRI). Additionally, we analyzed also the peak

value (PV) and the media daily germination (MDG) and the germination value (GV). Nursery conditions plantlet behavior was monitored according parameters described for quantitative plant growth and development analysis as follows: leaf area ratio (RAF), leaf mass ratio (RPF), specific leaf area (AFE) and root mass ratio (RMR).

The germination capacity was particularly influenced by some factors above mentioned. It was demonstrated that storage environment and treatments applied to the seed are related to percentages and germination rates of *M. hernandezii* ("Molinillo"). On the other hand, two leaflets plants plus soil- humus (3:1) as a substrate are the best combination for transplanting in nursery conditions in order to produce plant material of *M. hernandezii* for propagation and conservation purposes.

Keywords: forestry species, fruits and seeds maturity degree of, germination index, moisture content, viability.

Resumen

Magnolia hernandezii (Molinillo ó Copachí) es un árbol maderable endémico de Colombia distribuido en los departamentos del Valle, Quindío, Risaralda y Antioquia. Su presencia está restringida a áreas altamente conservadas, sin embargo es considerada una especie en riesgo de extinción debido al uso no sostenible y a las altas tasas de destrucción de los bosques nativos.

Además de esto, se ha descrito que las semillas de las Magnolias presentan problemas en su germinación relacionados con la presencia de una dormancia mecánica o mofofisiológica impuesta por la dureza de sus cubiertas y la presencia de embriones poco desarrollados.

Con el fin de apoyar la producción y conservación de *Magnolia hernandezii* (Molinillo) se realizaron estudios en fisiología de semillas y propagación sexual; inicialmente los frutos colectados en la "Reserva Forestal de Bremen" (Quindío, Colombia) fueron descritos morfológicamente para determinar diferentes grados de madurez. Posteriormente se realizó una caracterización física y fisiológica basada en curvas de imbibición, contenido de humedad, viabilidad y respuesta germinativa bajo condiciones de vivero en diferentes sustratos.

Finalmente se analizó el efecto del estado de desarrollo al momento del trasplante sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se definió como criterio de germinación la emergencia del gancho del hipocótilo y se registro el número de semillas germinadas durante 180 días.

Los resultados fueron expresados con base a los índices de germinación: Capacidad germinativa (GC), valor pico (PV), germinación media diaria (MDG),

valor germinativo (GV) y tasas de germinación R_{50} , R_{50} y GRI. El comportamiento de las plantas bajo condiciones de vivero fue evaluado de acuerdo con parámetros descritos para el análisis cuantitativo de crecimiento y desarrollo con base a los índices: Relación de área foliar (RAF), relación de peso foliar (RPF), área foliar específica (AFE) y relación de masa radical (RMR).

Las pruebas de germinación indicaron que los factores evaluados inciden sobre la respuesta germinativa de las semillas principalmente tratamiento pregerminativo y el almacenamiento. Por otro lado, las plantas trasplantadas con dos folíolos a una mezcla de tierra – humus (3:1) fueron las que presentaron mejor respuesta en el crecimiento y desarrollo de acuerdo con los índices evaluados. Los resultados obtenidos en este estudio constituyen una base importante para programas de propagación y conservación de *Magnolia hernandezii* (Molinillo).

Palabras clave: árboles maderables, contenido de humedad, índices de germinación, grado de madurez de frutos y semillas, propagación en vivero.

Introducción

Magnolia hernandezii (Molinillo o Copachí) es un árbol maderable endémico de la cuenca del Río Cauca y alrededores. Su área de distribución abarca desde las laderas de las Cordilleras Occidental y Central de Colombia, se distribuye entre los 1700 y los 2200 m.s.n.m., en los departamentos del Valle, Quindío, Risaralda y Antioquia, su presencia es bastante discontinua y está restringida tan sólo a unas pocas localidades donde aún se conserva el bosque primario (Calderón, 2004; Velásquez y Serna, 2005).

El uso no sostenible y las altas tasas de destrucción y fragmentación de los bosques nativos, los cuales han sido remplazados por potreros, cultivos de café y plantaciones de eucalipto, han hecho que en la actualidad el Molinillo se encuentre en riesgo de extinción (Calderón, 2004; Velásquez y Serna, 2005).

Por otro lado, se ha descrito que las semillas de Molinillo, y en general de las magnolias, presentan una baja capacidad germinativa, probablemente como consecuencia de una dormancia mecánica y/o morfofisiológica impuesta por el endospermo, la impermeabilidad y dureza de las cubiertas y la presencia de embriones poco desarrollados, lo que dificulta las actividades de conservación y propagación de esta especie (Mejía, 1990).

Por tal razón, es necesario establecer metodologías que contribuyan al conocimiento y manejo de la fisiología de la germinación de semillas y la propagación sexual de *Magnolia hernandezii*, que se constituyan en una base para programas de propagación y conservación de la especie.

Materiales y métodos

El material vegetal (frutos, semillas) se colectó en la Reserva Forestal de Bremen, ubicada en el departamento del Quindío (Colombia) entre los municipios de Circasia y Filandia a los 1.500 y 2.100 m de altitud sobre la vertiente occidental de la cordillera Central de los Andes (04°40'27"N 75°37'56"O), con una precipitación media anual de 2000 mm, una evapotranspiración media anual de aproximadamente 1000 mm, humedad relativa del 80% y temperatura promedio de 20°C. Las pruebas de germinación y crecimiento se realizaron en el centro de producción de Geoambiente ubicado en el municipio de Pacho (Cundinamarca) y las pruebas de laboratorio se desarrollaron en la Unidad de Biotecnología Vegetal, del Departamento de Biología de la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá.

El estudio de propagación sexual consideró dos etapas: en la primera se evaluó el efecto del grado de madurez de los frutos, los tipos de sustratos, el periodo de almacenamiento y tratamientos pregerminativos sobre la germinación de las semillas de *M. hernandezzi* y en la segunda etapa se evaluó el efecto del tipo de sustrato y el estado de desarrollo de las plantas al momento del transplante sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas de *M. hernandezzi* bajo condiciones de vivero.

Primera Etapa: Estudios de fisiología de semillas y propagación

En esta etapa se aplicó el diseño experimental completamente al azar, los factores a evaluar fueron: grado de madurez de los frutos (M), tipo de sustrato (S), tiempo de almacenamiento (A) y tratamiento pregerminativo (T). Los frutos de Molinillo colectados en la zona cafetera central de Colombia fueron caracterizados y separados en dos grados de madurez teniendo en cuenta su color. Así, las semillas con sarcotesta naranja y testa amarilla de frutos color verde – café fueron consideradas como el grado de madurez 1 (M1) y las semillas con sarcotesta roja y testa negra de frutos color café fueron consideradas como el grado de madurez 2 (M2). Posteriormente, las semillas fueron sometidas a los siguientes tratamientos pregerminativos: semillas completas (sin escarificación) con 24 horas de inmersión en agua (T1), semillas escarificadas con 24 horas de inmersión en agua (T2) y semillas completas sin inmersión en agua (T3). Una vez aplicados los tratamientos pregerminativos se realizó la siembra en bandejas de germinación con los sustratos turba (S1), tierra (S2) y una mezcla de tierra - arena (1:1) (S3), utilizando 3 repeticiones de 30 semillas cada una para los diferentes tratamientos (Cuadro 1).

Cuadro I. Tratamientos evaluados en la primera etapa de propagación sexual de *M. hernandezii* (Molinillo).

NIVELES DEL FACTOR DE DISEÑO	FACTOR DEL DISEÑO				Tratamiento
	Grado de madurez (M)	Sustrato (S)	Almacenamiento (A)	Tratamiento pregerminativo (T)	
Fruto (M1)	Turba (S1)	0 días (A1)	Completas + inmersión en agua (T1)	M1S1A1T1	
			Escarificación + inmersión en agua (T2)	M1S1A1T2	
			Completas + inmersión en agua (T1)	M2S1A1T1	
			Escarificación + inmersión en agua (T2)	M2S1A1T2	
			Completas sin inmersión en agua (T3)	M2S1A1T3	
			Completas + inmersión en agua (T1)	M2S2A1T1	
	Tierra (S2)	0 días (A1)	Escarificación + inmersión en agua (T2)	M2S2A1T2	
			Completas sin inmersión en agua (T3)	M2S2A1T3	
			Completas + inmersión en agua (T1)	M2S3A1T1	
			Escarificación + inmersión en agua (T2)	M2S3A1T2	
			Completas sin inmersión en agua (T3)	M2S3A1T3	
			Tierra – Arena (S3)	0 días (A1)	Escarificación + inmersión en agua (T2)
Completas sin inmersión en agua (T3)	M2S1A3T2				
30 días ambiente(A2)	Escarificación + inmersión en agua (T2)	M2S1A2T2			
30 días nevera (A3)	Escarificación + inmersión en agua (T2)	M2S1A3T2			
30 días ambiente(A2)	Escarificación + inmersión en agua (T2)	M2S1A2T2			
30 días nevera (A3)	Escarificación + inmersión en agua (T2)	M2S1A3T2			

Para aplicar los tratamientos de almacenamiento, las semillas de *M. hernandezii* fueron previamente lavadas para remover la sarcotesta carnosa que las rodea y así evitar la presencia de hongos, posteriormente fueron colocadas sobre papel “kraft” por un período aproximado de 48 horas. Las semillas almacenadas bajo condiciones ambientales (21°C de temperatura y humedad de 47%) permanecieron sobre el papel “Kraft”, mientras que las semillas almacenadas en nevera fueron colocadas en bolsas plásticas herméticas y llevadas a una temperatura de 4°C., en ambos casos las semillas permanecieron almacenadas durante 30 días, transcurrido este tiempo fueron sembradas en bandejas de germinación en una mezcla de tierra – arena (1:1).

Además de las pruebas de germinación, para esta etapa del estudio se estimó el contenido de humedad de las semillas y se realizaron pruebas de viabilidad e imbibición.

- Curvas de imbibición:

Se utilizó una muestra de 45 semillas procedentes de cada grado de madurez escarificadas y completas, distribuidas en 3 repeticiones de 15 semillas cada una. Para cada una de las repeticiones se determinó el peso inicial en gramos, posteriormente las semillas fueron imbibidas en agua destilada estéril y durante cada hora se realizó el registro del peso fresco hasta cuando éste se estabilizó.

- Prueba de Viabilidad:

Se utilizó una muestra de 90 semillas por cada grado de madurez y por cada período de almacenamiento, distribuidas en 3 repeticiones de 30 semillas cada una. Las semillas se sumergieron en una solución de tetrazolio al 1% y se incubaron a una temperatura de 30 ± 2°C, en completa oscuridad. Para determinar el tiempo óptimo de incubación y el pretratamiento de acondicionamiento para las semillas, se realizaron ensayos preliminares, utilizando semillas completas, escarificadas e imbibidas por diferentes período de tiempo (12 y 24 horas). Igualmente se

realizaron observaciones cada 8 horas hasta que los embriones alcanzaron una tinción adecuada.

Para el análisis de la prueba de viabilidad se observó el embrión de cada una de las semillas y se realizó una descripción de los patrones de coloración, los embriones totalmente teñidos se tomaron como viables, las semillas vanas y sin teñir como no viables y el porcentaje de semillas parcialmente teñidas se comparó con los resultados de germinación para determinar su viabilidad, es decir, se tomaron como viables los patrones parcialmente teñidos cuya suma de porcentajes se acercó a los obtenidos en las pruebas de germinación (Bonner, 1984; Rodríguez & Nieto, 1999; Schmidt, 2000; ISTA, 2006).

- Contenido de Humedad

Para el análisis del contenido de humedad de las semillas de *M. hernandezzi* se utilizó una muestra de 45 semillas por cada grado de madurez, distribuidas en 3 repeticiones de 15 semillas cada una. Para cada repetición se determinó el peso inicial en gramos, posteriormente se incubaron a una temperatura de 103 ± 3 °C durante 17 horas y luego se colocaron en una cámara de desecación por un periodo 30 minutos con el fin de que se enfriaran, evitando la reabsorción de humedad atmosférica. Transcurrido este tiempo se determinó el peso seco en gramos para cada una de las repeticiones y se calculó el porcentaje de humedad de acuerdo con la formula propuesta por ISTA (2006):

$$\text{Contenido de Humedad (\%)} = \left[\frac{\text{peso fresco} - \text{peso seco}}{\text{peso fresco}} \right] \times 100$$

Segunda Etapa: Estudio de crecimiento y desarrollo en condiciones de vivero

Para el desarrollo de esta etapa del estudio, se realizó una investigación de tipo experimental aplicando la estructura de un diseño de parcelas divididas dispuestas en bloques completos al azar. Los factores evaluados fueron tipo de sustrato y estado de desarrollo de las plantas al momento de trasplante. Las plantas obtenidas en la primera etapa fueron trasplantadas de acuerdo con su estado de desarrollo (2 o 4 folíolos) a bolsas de polietileno de 15 x 25 cm, con diferentes sustratos tierra-humus (3:1) (TH) y tierra-humus-arena (2:1:1) (TAH). En total se trasplantaron 48 plantas por tratamiento, distribuidas en 3 repeticiones de 16 plantas cada una las cuales fueron ubicadas bajo condiciones de vivero.

Recolección y análisis de la información:

De acuerdo con lo establecido por el ISTA (2006) se definió como criterio de germinación la emergencia del gancho del hipocótilo. Las lecturas de germinación se iniciaron a los 15 días después de la siembra (DDS) y se registró el número de semillas germinadas para cada repetición por tratamiento con intervalos de 3 días.

Para evaluar la respuesta germinativa, se estudiaron los índices de germinación GC, R_{50} , R_{50} , GRI, PV, MDG y GV referidos por Thomson & Kassaby (1993) y Czabator (1962):

- Capacidad germinativa (GC), que expresa el porcentaje de semillas germinadas al final de la prueba con respecto al número de semillas puestas a germinar.
- Índice de la tasa de germinación (R_{50}), expresa la velocidad de germinación en términos del número de días requeridos para que germine el 50% de las semillas sembradas.
- Índice de la tasa de germinación (R_{50}), expresa la velocidad de germinación en términos del día en el cual ha germinado el 50% del total de semillas que germinó al final del periodo de observación.
- Índice de la tasa de germinación (GRI), expresa la velocidad de germinación de acuerdo con el total de número de semillas que germinan en un intervalo de tiempo, se determina con la fórmula: $GRI = G1/T1 + G2/T2 + G3/T3 + Gn/Tn$, donde G1 es el número de semillas germinadas en T1, T1 es el intervalo de tiempo entre T0 (día de la siembra) y T1 (primer conteo), T2 es el intervalo de tiempo entre el T1 y T2 (segundo conteo), Gn es el número de semillas germinadas entre tn-1 y tn y Tn es el tiempo en días al final del conteo.
- Valor pico (PV), expresa la velocidad de germinación como el máximo cociente derivado de la división del porcentaje de germinación en el número de días.
- Índice de germinación media diaria (MDG), expresa la germinación total en términos del número de semillas germinadas durante el tiempo total de la prueba. Este índice puede ser utilizado independientemente del tiempo que dure la prueba, es decir, incluso sin haberse alcanzado la germinación total del lote de semillas evaluadas (Czabator, 1962).
- Valor de la germinación (GV), combina la germinación media diaria con la velocidad de germinación (Czabator, 1962). Se obtiene mediante la formula: $GV = MDG \times PV$.

Las lecturas de crecimiento se realizaron cada 15 días durante 2 meses, tomando una muestra de 4 plantas al azar por repetición. En cada una de estas se registraron las variables de medición directa: peso seco aéreo y radical, número de hojas, altura y área foliar. En el análisis de crecimiento se trabajó con base a los índices RAF, RPF, RMR y AFE referidos por Lambers (1998); Radford (1976) y Hunt (1978) citados por Palomo *et al.* (2003):

- Índice de relación de área foliar (RAF): indica la utilización de asimilados en la fotosíntesis con base a la relación de área foliar total y el peso seco total de la

planta. Se determina a partir de la fórmula $RAF = AF/PS$, $cm^2 g^{-1}$ de PS, donde PS es el Peso Seco Total, AF es el Área Foliar de la planta.

- Índice de relación de peso foliar (RPF): determina la distribución de asimilados hacia las hojas y es un indicador de la frondosidad de la planta. Se determina con la fórmula $RPF = PSAF/PS$ donde PSAF es el Peso seco del área foliar y PS es el Peso Seco Total.
- Índice de relación de masa radical (RMR): determina la distribución de asimilados hacia la raíz. Se determina con la fórmula $RMR = PSR/PS$, donde PSR es el Peso seco de la raíz y PS es el Peso Seco Total.
- Área Foliar Específica (AFE): mide el grosor de la hoja y representa la superficie foliar por gramo de hoja. Se calcula mediante la fórmula $AFE = AF/PSAF$, donde AF es el Área foliar y PSAF es el Peso seco de las hojas.

Con los datos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar las diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, a partir de estos resultados se realizó una prueba de Duncan para comparar las semejanzas o diferencias entre las medias de los tratamientos de acuerdo a cada uno de los índices evaluados ($\alpha < 0.05$). Igualmente se evaluó la incidencia de los factores que componen dichos tratamientos y sus posibles interacciones sobre la respuesta germinativa, el crecimiento y desarrollo de las plantas de *M. hernandezii* (Molinillo) en las dos etapas del estudio. La información fue procesada con el programa Statistical Analysis System (SAS), utilizando el procedimiento de modelos lineales (GLM).

Resultados y discusión

Primera Etapa: Estudios de fisiología de semillas y propagación

- Curvas de imbibición:

Las curvas de imbibición para las semillas de *M. hernandezii* (Molinillo) procedentes de frutos con diferentes grados de madurez, muestran un patrón similar en la absorción de agua; en general, durante las primeras horas de imbibición se presentó la fase inicial en la que la entrada de agua a la semilla es rápida, debido a que el potencial hídrico del medio exterior es alto (0 Mpa) y en la semilla es muy bajo (< 0 Mpa), esta diferencia de potencial hídrico determina la entrada de agua a la semilla hasta cuando los dos potenciales se igualan y la toma de agua se estabiliza, produciéndose así la segunda fase de la imbibición (Besnier, 1989; Bewley & Black, 1994; Copeland & McDonald, 1995).

En la figura 1, se puede observar que las semillas (M1) escarificadas (E) y completas (C) no muestran una diferencia clara entre la primera y segunda fase de la imbibición,

lo que sugiere que estas semillas aún no han alcanzado su máximo peso seco o madurez fisiológica, por lo que el potencial hídrico al interior de las semillas es menos negativo y probablemente similar al del medio externo, contrario a lo que sucede en las semillas (M2), donde las curvas de imbibición muestran una clara y rápida toma de agua durante la primera hora, sin embargo, se puede observar que en las semillas escarificadas (E) la toma de agua es mayor durante la primera hora que en las semillas completas (C) e igualmente la diferencia entre el peso fresco final y el peso seco inicial para las semillas escarificadas (E) es mayor que para las semillas completas (C), lo que sugiere que la escarificación mecánica favorece la toma de agua por parte de las semillas de esta especie.

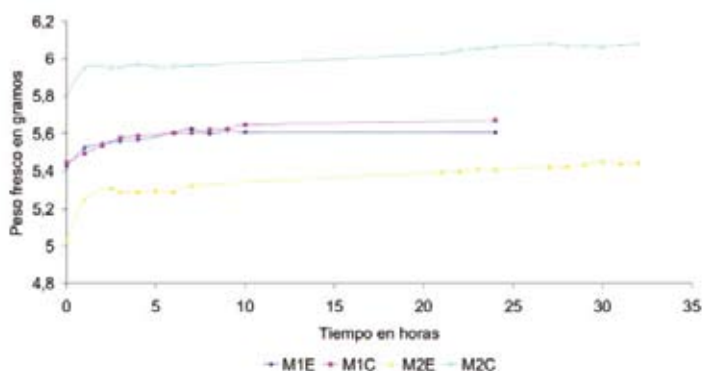


Figura 1. Curvas de imbibición para las semillas de *M. hernandezii* (Molinillo) con diferentes grados de madurez (M1 y M2) completas (C) y escarificadas (E).








- **Prueba de viabilidad:**

El tiempo óptimo de incubación en la solución de tetrazolio al 1% (temperatura de $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) para una adecuada tinción de los embriones de *M. hernandezii* fue de 20 horas, mientras que el pretratamiento de acondicionamiento que mejor resultó para facilitar la entrada de sales de tetrazolio al interior de la semilla y homogenizar la tinción de los embriones, consistió en hidratar las semillas por un período de 24 horas antes de sumergirlas en la solución. Los patrones de coloración obtenidos, indican que los embriones de *M. hernandezii* de semillas M2, presentaron un porcentaje de viabilidad del 92%, mientras que las semillas M1 presentaron una viabilidad del 100%.

Al comparar estos resultados con los porcentajes de germinación alcanzados por estas semillas, los cuales fueron del 90% y 61% respectivamente, se puede observar que los patrones de viabilidad descritos en el cuadro 2, son un estimativo de la germinación para las semillas M2; sin embargo, en el caso de las semillas M1 los porcentajes de viabilidad son superiores a los obtenidos en las pruebas de germinación, esta diferencia puede ser atribuida a una dormancia de tipo morfofisiológico impuesta probablemente por la presencia de embriones diferenciados pero no desarrollados completamente; en este tipo de dormancia

la germinación depende del tiempo de maduración del embrión y en este caso los embriones diferenciados de *M. hernandezii* no podrían germinar hasta alcanzar el desarrollo completo (Baskin & Baskin, 1998). Por otro lado, la prueba indica que las semillas de *M. hernandezii* pierden viabilidad en las condiciones de almacenamiento de este estudio (Cuadro 2).

Cuadro 2. Patrones de tinción para interpretar los resultados de la prueba de tetrazolio en semillas de *M. hernandezii* (Molinillo).

Clase	Descripción	Viabilidad	Porcentaje de viabilidad				Esquema
			M1*	M2*	M2A2*	M2A3*	
1	Semilla totalmente teñida. Tinción roja uniforme	Viable	24%	23%	4%	9%	
2	Semilla totalmente teñida. Tinción uniforme y clara	Viable		2%	11%	9%	
3	Endospermo parcialmente teñido (mas del 50%) cotiledones y radícula totalmente teñidos. Tinción roja uniforme	Viable	24%	28%	2%		
4	Endospermo parcialmente teñido (menos del 50%) cotiledones y radícula sin teñir.	Viable	48%		11%	11%	
5	Cotiledones y endospermo parcialmente teñidos (menos del 50%), radícula con tinción roja y uniforme	Viable	3%	23%			
6	Cotiledones y endospermo parcialmente teñidos (menos del 50%), radícula con tinción uniforme y clara	Viable		15%	2%		
7	Semilla sin teñir	No viables		9%	70%	71%	

*M1 = Semillas con sarcotesta naranja de frutos color verde – café frescas (sin almacenar);

*M2= Semillas con sarcotesta roja de frutos color café frescas; *M2A2= Semillas M2 almacenadas al ambiente; *M2A3= Semillas M2 almacenadas a 4°C.

- Contenido de Humedad:

En la figura 2, se muestran los contenidos de humedad en las semillas de *M. hernandezii* (Molinillo) procedentes de frutos con diferente grado de madurez y sometidas a diferentes períodos de almacenamiento. Se puede observar que las semillas M1 presentaron un contenido de humedad mucho mayor que las

semillas M2, probablemente debido a que las primeras aún no habían alcanzado su máximo peso seco, que es un parámetro fisiológico determinante de la madurez en las semillas (García, 1991; Bewley & Black, 1994). Estos resultados igualmente confirman que el color de la semilla para *M. hernandezii* puede ser un parámetro importante para determinar diferentes grados de madurez y sugiere que en el proceso de maduración de los frutos y semillas de esta especie se presentan cambios en el color, además de todos los eventos que suceden durante la maduración de los frutos en general que los hace más atractivos para los agentes dispersores (Aristizabal, 1992; Trujillo, 1997; Salazar, 2000).

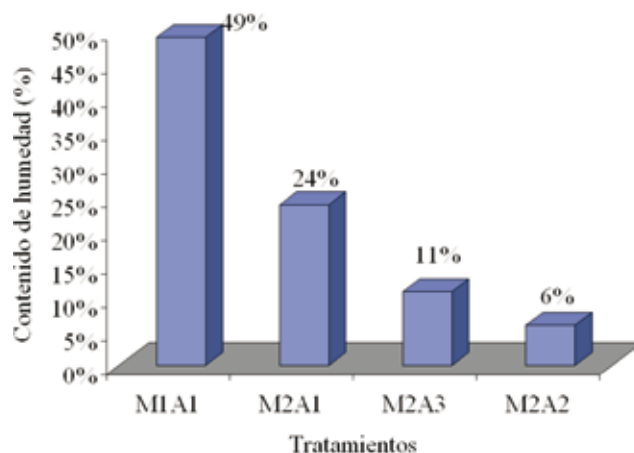


Figura 2. Contenidos de humedad para las semillas de *M. hernandezii* (Molinillo) con diferentes grados de madurez y almacenamiento.

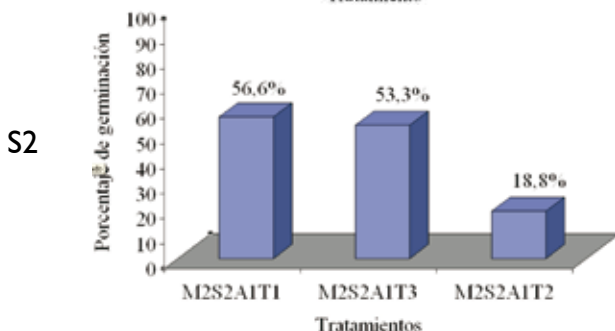
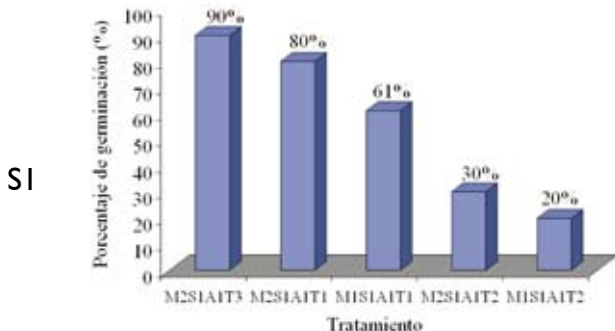
- Prueba de Germinación

De acuerdo con el análisis estadístico para los índices de germinación, los factores evaluados en este estudio tienen una incidencia significativa en la respuesta germinativa de las semillas de Molinillo. En general las semillas M2 presentaron mejor respuesta germinativa que las semillas M1, esta diferencia pudo darse debido a que probablemente las semillas M1 aún no habían alcanzado un óptimo grado de madurez fisiológica, lo que pudo incidir negativamente en la respuesta germinativa (Figura 3).

Por otro lado, los tratamientos con valores más altos para los índices GC, PV, MDG y GV y los valores más bajos para los índices R_{35} y R_{50} , fueron los tratamientos M2SIAIT1 y M2SIAIT3 los cuales están compuestos por el factor S1 (turba), lo que indica que este sustrato favorece la respuesta germinativa de las semillas de *M. hernandezii*, lo cual podría atribuirse a sus características físico-químicas, dentro de las que se destacan su reducida conductividad eléctrica, alta porosidad y retención de humedad (Bravo et al. 2006).

Por su parte, los tratamientos compuestos por el factor S2 (tierra) presentaron los valores más bajos para los índices GC, PV, MDG y GV y los mayores valores para los índices R_{35} y R_{50} , lo que sugiere que este sustrato incide negativamente sobre la respuesta germinativa, debido probablemente a que la tierra utilizada se compactó fuertemente lo que puede constituir una barrera para la emergencia del hipocótilo (Schmidt, 2000).

En cuanto el efecto que tuvo el tratamiento pregerminativo y el almacenamiento sobre la germinación de la semillas de Molinillo se puede decir que, de acuerdo con el análisis estadístico, estos dos factores son los que más inciden en la respuesta germinativa, puesto que las semillas almacenadas no germinaron durante el periodo de evaluación, lo que sugiere que las semillas de *M. hernandezii* podrían ser recalcitrantes toda vez que este tipo de semillas se caracterizan por su bajo potencial de almacenamiento debido a la sensibilidad que presentan a la desecación (Normah et al. 1997; Schmidt, 2000). Por su parte, los tratamientos con los valores más bajos para los índices GC, PV, MDG y GV y los mayores valores para los índices R_{35} y R_{50} , fueron los tratamientos compuestos por el factor T2 (escarificación mecánica), lo que indica que este tratamiento pre-germinativo incide negativamente en la respuesta germinativa de las semillas de *M. hernandezii* e igualmente de acuerdo con los resultados de la prueba de Duncan presenta diferencias significativas con T1 y T3 (semillas completas con y sin hidratación).



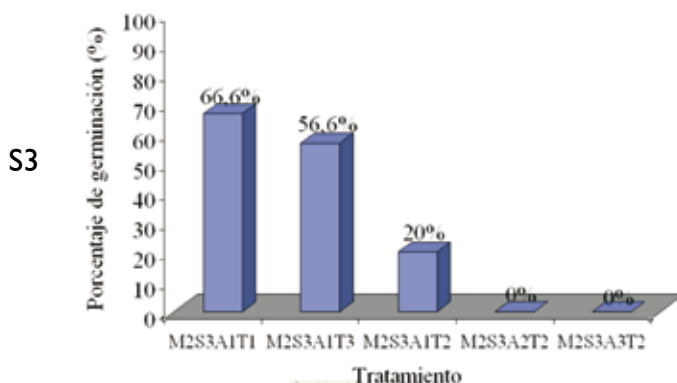


Figura 3. Porcentajes de germinación de las semillas de *M. hernandezii* (molinillo) en diferentes sustratos S1) turba, S2) tierra y S3) tierra-arena (1:1) con diferentes grados de madurez (M1 y M2) y diferentes tratamientos pregerminativos (T1, T2 y T3).

El efecto negativo de la escarificación puede deberse a daños mecánicos ocasionados al embrión en el momento de aplicar el tratamiento, esto también se pudo observar en pruebas de viabilidad realizadas con sales de tetrazolio a semillas previamente escarificadas, las cuales mostraron patrones de tinción con un color rojo intenso; de acuerdo a la interpretación de la prueba dada por el ISTA (2006) también puede ser un indicador de necrosis en el tejido y la tinción se da por el incremento en la actividad respiratoria; además, de acuerdo con lo descrito por Arango y Craviotto (2002), en estudios realizados en semillas de soya, estos tejidos por lo general muestran una textura blanda, lo que coincide con las observaciones hechas en el presente estudio para semillas de Molinillo escarificadas.

Crecimiento y desarrollo de las plantas de M. hernandezii durante la primera etapa

Las plantas obtenidas a partir del tratamiento M2SIAIT1 (semillas maduras completas sin hidratación, sembradas en turba), presentaron en promedio los valores más altos para los índices de crecimiento RAF, RPF y AFE, lo que sugiere que estas plantas presentan una alta capacidad fotosintética potencial y un bajo costo respiratorio con respecto a las plantas evaluadas en los demás tratamientos; sin embargo, de acuerdo al análisis estadístico estas diferencias no son significativas, lo que indica que el tiempo de evaluación empleado para este estudio no fue el suficiente para evidenciar cambios en el crecimiento y desarrollo de *M. hernandezii*, por otro lado, en el día 30 después de la germinación (ddg) se observa, para este mismo tratamiento, un incremento en el valor de RAF que luego disminuye considerablemente lo que sugiere un incremento de la biomasa total y por tanto un incremento del costo respiratorio puesto que este índice es una medida del balance entre la capacidad fotosintética potencial y el costo respiratorio potencial (Ramírez, 2003; Lambers et al. 1998). De igual forma los valores de RPF son más altos para el primer muestreo, en todos los tratamientos, debido probablemente a

que la planta puede estar traslocando asimilados a la formación de hojas las cuales constituyen el tejido asimilatorio (Lambers et al. 1998) (Figura 4).

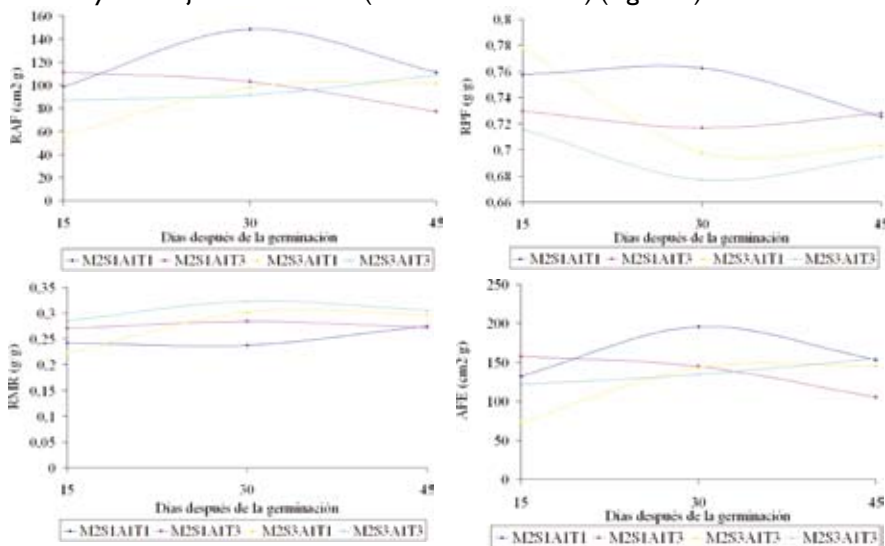


Figura 4. Comportamiento de los índices de crecimiento para las plantas de *M. hernandezii* (Molinillo).

Segunda Etapa: Estudio de crecimiento y desarrollo de las plantas de *Magnolia hernandezii* (Molinillo) en condiciones de vivero.

De acuerdo con el análisis estadístico el tratamiento que más favoreció el crecimiento de las plantas de *M. hernandezii* fue el tratamiento TH2F (plantas trasplantadas con dos folíolos a una mezcla de tierra humus (3:1)) debido a que este presentó en promedio los valores más altos para el índice RAF, que es una medida de balance entre la capacidad fotosintética y el costo respiratorio potencial, y el índice AFE que mide la densidad de hojas o su grosor relativo, lo que refleja que en este tratamiento las plantas presentan un área foliar mayor, aumentando así el área de intercepción de la luz y por tanto la fotosíntesis; lo que sugiere un aumento en la producción de asimilados que durante el crecimiento de las plantas en la fase vegetativa pueden ser invertidos en respiración de crecimiento para la formación de hojas, tallos y raíces. Igualmente de acuerdo con Lüttge (1997) y Lambers et al. (1998) citado por Ramírez (2003) la relación de área foliar (RAF) es un factor importante para explicar las bases fisiológicas de las variaciones en la tasa de crecimiento; puesto que en muchas especies una alta RAF le permite a la planta crecer más rápido (Figura 5).

En relación con el índice RPF todos los tratamientos muestran un comportamiento similar; en general durante el primer muestreo se presentaron los valores más altos, debido probablemente a que la planta destina asimilados a la formación de

hojas, en la medida que este es un índice que refleja la distribución de materia seca en las hojas (Lambers *et al.* 1998).

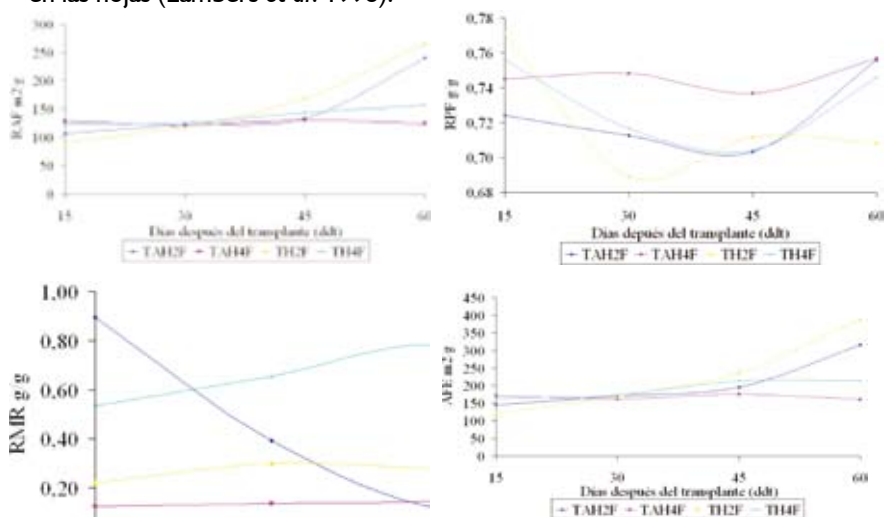


Figura 5. Comportamiento de los índices de germinación para las semillas de *M. hernandezii* (Molinillo).

Por otro lado, en el cuadro 3, se muestra el efecto de cada factor y sus interacciones (estado de desarrollo y sustrato) sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas de Molinillo, allí se puede observar que el sustrato incide significativamente en el índice RMR, lo que refleja la importancia del sustrato para el desarrollo de las raíces; de acuerdo con este índice el sustrato que más favorece la distribución de asimilados hacia la raíz es la mezcla de tierra – humus, esto se debe a que la arena que compone el factor TAH, puede estar disminuyendo la retención de humedad en el sustrato incidiendo así en el crecimiento de la planta.

Cuadro 3. Incidencia de los diferentes factores (estado de desarrollo y sustrato) y sus interacciones de acuerdo con los índices crecimiento, sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas de *M. hernandezii*.

Fuente de variación	Variables de respuesta			
	Componentes de varianza (%)			
	RAF	RPR	RMR	AFE
Sustrato	16.15	25.6	22.31*	26.92
Estado de desarrollo	83.84*	67.88	1.25*	73.08*
Sustrato*estado de desarrollo	0	5.52	79.7*	0

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio, aportan al conocimiento y manejo de la fisiología de la germinación de semillas y de sistemas de propagación sexual de *Magnolia hernandezii* (Molinillo), que se constituye en una base importante para programas de propagación y conservación de Molinillo en la zona cafetera central de Colombia.

El tratamiento pre-germinativo y las condiciones de almacenamiento de las semillas de *M. hernandezii* (Molinillo), inciden significativamente sobre su germinación.

Las semillas maduras completas (sin escarificación mecánica) con y sin inmersión en agua, sembradas en turba, presentaron la mejor respuesta germinativa en términos de capacidad y velocidad de germinación.

El grado de madurez de las semillas, el estado de desarrollo al momento del trasplante y el sustrato, inciden sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas de *M. hernandezii* (Molinillo).

De acuerdo con los índices evaluados, la mezcla de tierra – humus (3:1) y el trasplante con dos folíolos, favorece el crecimiento y desarrollo de plantas de *M. hernandezii* (Molinillo).

Agradecimientos

Los autores reconocen el apoyo logístico y financiero de la Pontificia Universidad Javeriana, así como de la empresa GEOAMBIENTE Ltda., por permitirnos realizar los ensayos de propagación en los viveros de su Centro de Producción en Pacho (Cundinamarca, Colombia). Adicionalmente, agradecemos a Loyla Rodríguez, colega de la UBV por su colaboración en la revisión del manuscrito.

Referencias

Aristizábal, V. G. E. 1992. Índice de madurez en frutos de maracuya *Pasiflora edulis*. var. Flaurapa, parámetros determinantes. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.

Baskin, C.C. & J.M. Baskin. 1998. Seeds. Ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination. Academic Press. California. 666p.

Besnier, F. 1989. Semillas: Biología y Tecnología. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 637pp.

- Bewley, J.D & M, Black. 1994. *Seeds. Physiology of Development and Germination*. Plenum, Press. New York. USA. 367 p.
- Bonner, F. T. 1984. Tratamiento previo de la semilla. En: Guía para la manipulación de semillas forestales. 1991. Estudio FAO Montes 20/2. Compilado por R.L. Willan para el Centro de Semillas Forestales de DANIDA, pp. 241-278.
- Bravo, F.C., Urdaneta, N., Silva, Poliszuk, W. & Marín, M. 2006. Germinación de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv 'Río Grande sembradas en bandejas plásticas, utilizando distintos sustratos. *Rev. Fac. Agron.* 23: 188-195 pp.
- Calderón, E. Evaluación preliminar del estado poblacional del molinillo (*Talauma hernandezii*, magnoliaceae) en el viejo caldas y el norte del valle, Colombia [en línea]: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <<http://www.humboldt.org.co/amenazadas/molinillo.html>> [consulta: 09 feb. 2006]
- Copeland, L & M.B McDonlad, 1995. *Seed science and Technology*. 3ra edition. Chapman & Hall. New York. USA. 409 p.
- Craviotto, R.M.; Arango, M.R. & Montero; M.S. 2002. Guía visual de problemas de calidad en semillas y granos de soya. *Revista "APOSGRAN"* Año 16- N° 78. Vol 2: 61-64.
- Czabator, F. J. 1962. Germination: an index combining speed and completeness of pine. *Seed germination. Forest science.* 8: 386-396 pp.
- García, J. 1991. *Manual de Repoblaciones*. Fundación Universitaria de Salazar. Madrid, España. 793 p.
- International Seed Testing Association (ISTA) 2006. *International rules for seed testing*. Bassersdorf, Switzerland. 267 p.
- Lambers, H., F. S. Chapin III & T. L. Pons. 1998. *Plant Physiological Ecology*. Springer-Verlag, New York. 540 p.
- Mejía, M. 1990. Germinación de dos especies de Magnolia (Magnoliaceae) de Puerto Rico y Republica Dominicana. *Moscosa* 6: 196 – 201 pp.
- Normah, M.N., Saraswathy, D and Gintangaa, M. 1997. Desiccation sensitivity of recalcitrant seeds: A study on tropical fruit species. *Seed Science Research* 7(2): 179-183 pp.
- Palomo, G.A., Orozco, V.J.A., Gutiérrez del Río, E., Espinoza, A. y Rodríguez, H.S. 2003. Análisis de crecimiento de variedades de algodón transgénicas y

convencionales [en línea]: Línea de Investigación en Producción Agrícola del Postgrado en Ciencias Agrarias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. <www.uaaan.mx/DirInv/Rdos2003/cultbasicos/analisis.pdf> [consulta: 01 Dic. 2006].

Ramírez, C. 2003. Análisis de la fisiología de la nutrición mineral en plantas de clavel miniatura (*Dianthus caryophyllus* cv. Rony) en condiciones de producción a nivel comercial. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias - Fisiología de Cultivos. Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Agronomía. 432 p.

Rodríguez, R.J. & Nieto, R.V. 1999. Investigación en semillas forestales nativas. CONIF: Serie Técnica N° 43. Santa fe de Bogotá. Colombia. 89 p.

Salazar, P. 2000. Evaluación del efecto de la procedencia y el grado de madurez de los frutos de dos especies de Pasiflora: *Passiflora mollissima* (H.B.K.) Bailey y *Passiflora ligularis* Juss sobre la germinación de sus semillas. *Trabajo de Grado*. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 277 p.

Schmidt, L. 2000. Guide to handling of tropical and subtropical forest seed. [en línea]. Danida Forest Seed Center. <http://www.dfsc.dk>.

Thomson, A.J., & El-Kassaby, Y.A. 1993. Interpretation of seed - germination parameters. *New Forest* 7: 123–132 pp.

Trujillo, N. E. 1997. La madurez de frutos y semillas forestales, un nuevo enfoque en el campo forestal. En: *Notas técnicas amigos del bosque andino*. Magazín trimestral del Jardín Botánico José Celestino Mutis. N° 2. Bogotá, Colombia. 27 p.

Velásquez, R. C. & Serna, G. M. 2005. *Magnoliáceas de Antioquia*. Primera edición. Jardín Botánico.



Determinación de la Actividad Insecticida de Extractos Vegetales Contra la Broca del Café (*Hypothenemus hampei* Ferrari)



Fondo.

Cultivo de café.

Fotografía: Miguel Ángel Dossman

Foto 1.

Granos de café tratados con extracto vegetal

Foto 2.

Unidad experimental bioensayo de actividad insecticida *in vitro* contra la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari)

Fotografías: Víctor Hugo Valencia Giraldo

Determinación de la Actividad Insecticida de Extractos Vegetales Contra la Broca del Café (*Hypothenemus hampei* Ferrari)

Mosquera, O. M., Bustamante, A. M., Correa, Y. M., Niño, J.
Investigadores Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos
Genéticos - CIEBREG
Grupo de Biotecnología-Productos Naturales – GBPN. Escuela de Tecnología
Química, Universidad Tecnológica de Pereira. A.A. 097. Pereira, Colombia.
*e-mail: omosquera@utp.edu.co

Abstract

In Colombia the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) is the most important pest in the coffee plantations since they reproduce internally in the endosperm, destroying the coffee berry, reducing the grain quality and the coffee roasted grain aroma and generating grain fold down and consequentially economical lost to the coffee growers. The synthetic insecticides are the most used in the control of this plague, but they cause negative effects in human health and ecosystems; therefore, finding new alternatives to control this pest is of paramount importance for the Colombian coffee industry.

In this work 42 plant extracts belonging to the following botanical families Asclepiadaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae, Rubiaceae and Solanaceae, collected at the Natural Reserve Bremen-La Popa (Colombian) located in the CIEBREG'S study window N° 1, were evaluated by their insecticidal activity, using coffee wet grains previously disinfected and mature female coffee berry borers specifically disinfected for this experiment.

The results of this work showed that 7 of the methanolic extracts evaluated displayed insecticidal activity against *H. hampei*, and this represents 33% of the total plant studied and 16.7% of the total crude plant extracts tested. The methanolic extract of *Alchornea calophylla* (Euphorbiaceae) showed the highest *in vitro* insecticidal activity against the coffee berry borer, followed by the methanolic extracts associated to the following species belonged to the family Asteraceae: *Clibadium pentaneuron*, *Lepidaploa lehmannii* and *Mikania banisteriae*; continuing with the species *Alchornea grandis* (Euphorbiaceae), *Oxypetalum cordifolium* (Asclepiadaceae) and *Cestrum* sp (Solanaceae).

The results of this study allowed to infer that plants from the Natural Reserve Bremen-La Popa, could be an important source of biopesticides, useful in the coffee berry borer control.

Keywords: insecticidal activity, *Alchornea calophylla*, bioprospection, crude extracts, botanical insecticides, phytoinsecticides.

Resumen

En Colombia la broca del café (*Hypothenemus hampei*) es la plaga más importante del cultivo del café, la cual causa daño al atacar la cereza y reproducirse internamente en el endospermo, reduciendo la calidad y el aroma del café, produciendo la caída prematura de los frutos y consecuentemente generando pérdidas para los cultivadores. Los insecticidas sintéticos son los que más se utilizan para el control de esta plaga, pero causan efectos negativos para la salud humana y los ecosistemas; por lo cual, encontrar nuevas alternativas de control de la broca del café, es de vital importancia para la caficultura nacional.

En este trabajo se evaluó la actividad insecticida de 42 extractos de plantas pertenecientes a las familias botánicas Apocynaceae, Asclepiadaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae, Rubiaceae y Solanaceae, recolectadas en la Reserva Natural Bremen-La Popa (Colombia), en la ventana I de estudio del CIEBREG, utilizando granos de café pergamino húmedo, previamente desinfectados y hembras adultas de brocas recién emergidas y desinfectadas específicamente para el bioensayo.

Los resultados de este trabajo, revelan que 7 de los extractos metanólicos evaluados presentaron actividad insecticida contra *H. hampei*, lo cual representa el 33.3% del total de plantas y el 16.7% del total de los extractos crudos evaluados. El extracto metanólico de *Alchornea calophylla* (Euphorbiaceae) presentó la mayor actividad insecticida *in vitro* contra la broca del café, seguido por los extractos metanólicos de las especies pertenecientes a la familia Asteraceae: *Clibadium pentaneuron*, *Lepidaploa lehmannii* y *Mikania banisteriae*; continuando con las especies *Alchornea grandis* (Euphorbiaceae), *Oxypetalum cordifolium* (Asclepiadaceae) y *Cestrum* sp (Solanaceae).

Los resultados de este estudio permiten inferir que las plantas de la Reserva Natural Bremen-La Popa pueden ser una fuente importante de bioplaguicidas para el control de la Broca del café.

Palabras claves: actividad insecticida, *Alchornea calophylla*, bioprospección, extractos crudos, insecticidas vegetales, fitoinsecticidas.

Introducción

El café es uno de los productos agrícolas más importantes de Colombia. A nivel nacional más de 513.000 familias cultivan el café en cerca de 874.000 hectáreas y sus ingresos provienen de este producto (Federación Nacional de Cafeteros, 2008). Los aspectos relacionados con las enfermedades, la calidad del café y el saneamiento de la cosecha son la principales preocupaciones del gremio cafetero; los cuales apuntan a mantener la calidad del café colombiano para asegurar buenas ventas y competitividad (Camilo et al. 2003).

La broca del fruto del café es la principal plaga del cultivo en todos los países productores, fue descrita por primera vez a partir de granos brocados de Uganda (Camilo et al. 2003). Se transformó en plaga, cuando se incrementó la siembra del café como monocultivo en los países de África Occidental, América Latina y Asia. El primer reporte de la aparición de la broca en Colombia se dió en el departamento de Nariño en 1988 (Bustillo et al. 1998).

El daño se produce cuando la hembra perfora el grano y pone los huevos en el endospermo, los cuales eclosionan dando origen a las larvas que causan deterioro del grano, reduciendo la producción y la calidad del mismo (Chaves y Riley, 2001; Camilo et al. 2003). Esta plaga produce pérdidas económicas a la caficultura mundial del orden de 500 millones de dólares anuales (Durham, 2004).

Tradicionalmente, el control de la broca del café se ha realizado mediante el uso de insecticidas de síntesis organoclorados (Endosulfan), a los cuales el insecto desarrolla resistencia (Brun et al. 1994). Actualmente, en los países de mayor producción de café se está implementado para el control de esta plaga, el uso de parasitoides como: *Cephalonomia stephanoderis*, *Proprops nasuta* y *Phymastichus coffea* (Maldonado y Benavides, 2006) y de hongos entomopatógenos como: *Beauveria bassiana* (Haraprasad et al. 2001). Así mismo, otras alternativas están siendo exploradas, tales como: las trampas con semioquímicos (Fernández y Cordero, 2005) y el uso de extractos vegetales (Rodríguez-Lagunes et al. 1998).

Entre los extractos vegetales con actividad contra *H. hampei* se encuentran, los del árbol del Neem (*Azadirachta indica*, Meliaceae) que ha mostrado resultados promisorios como insecticida (Depieri et al 2005, Mitchell y Ahmal, 2006). Los extractos de *Glycine max*, *Phaseolus vulgaris* y *Macadamia* sp homogenizados en dieta Cenibroca presentaron niveles significativamente altos de mortalidad de los diferentes estados fisiológicos de la broca del café (Gómez et al. 2007). Así mismo, el aceite esencial de *Myntostachys mollis* (HBK) Griseb (Lamiaceae) indujo la mortalidad total de la broca (Calle et al. 2004).

Valencia et al. (2007) determinaron que el extracto alcohólico de la corteza de *Bocconia frutescens* (Papaveraceae) por el método de inmersión presentó un efecto insecticida del 77.8% sobre la broca del café. Además, el extracto acuoso

de *Trichilia havanensis* (Meliaceae) redujo significativamente los granos de café brocados (López-Olguín et al. 2006).

Sin lugar a dudas, los fitoinsecticidas constituyen una alternativa muy interesante para el control de insectos; sin embargo, se han evaluado muy pocas plantas de las 250.000 que se consideraran existen en el planeta (Cordell y Colvard, 2005); por ello, la utilización de plantas como fuente de insecticidas, tiene un potencial inmenso en el futuro cercano (Depieri et al., 2005) y contribuirían a la disminución de los costos implicados en el control de la broca del café (*H. hampei*) que se estiman para una producción total de 57 millones de arrobas por año, un costo de \$27.360 millones de pesos (Aristizábal, 2002); así mismo, la posibilidad de emplear biopesticidas, reduciría el impacto ambiental y los nefastos daños que el uso de los pesticidas de síntesis producen en la salud humana.

Por lo tanto, la exploración de la biodiversidad vegetal se convierte en una alternativa importante en la búsqueda de nuevas sustancias para el control de esta plaga; en ese sentido, en este trabajo se planteó la estrategia de evaluar extractos vegetales de plantas de la Reserva Natural Bremen-La Popa (Filandia, Quindío, Colombia), ventana I de estudio del CIEBREG, contra *H. hampei* para encontrar extractos que puedan ser utilizados en un programa de manejo integrado de esta plaga (MIP), aportando al mismo tiempo, valor agregado a la flora regional.

Materiales y Métodos

Material vegetal, obtención de los extractos y caracterización fitoquímica

El material vegetal fue recolectado durante el periodo del 22 al 24 de agosto del 2005 en la Reserva Natural Bremen-La Popa localizada entre los municipios de Filandia y Circasia (Quindío, Colombia) por el Grupo de Biotecnología-Productos Naturales (GB-PN) de la Universidad Tecnológica de Pereira y clasificadas por el taxónomo F. J. Roldán; un voucher de cada una de las plantas fue depositado en el Herbario de la Universidad de Antioquia, (HUA, Medellín, Colombia).

Los extractos de hexano, diclorometano y metanol de las plantas recolectadas fueron obtenidos por maceración de la parte aérea de acuerdo al procedimiento descrito por Niño et al., (2006).

La caracterización de los principales metabolitos secundarios presentes en los extractos de diclorometano y metanol se realizó por cromatografía de capa delgada (CCD), para lo cual, se usaron cromatofolios en aluminio de Silica Gel 60 F₂₅₄ Merck (Darmsted, Germany). Las cromatoplasmas de los extractos metanólicos se eluyeron con el sistema cloroformo-acetato de etilo-metanol (2:2:1); mientras que las de diclorometano se eluyeron con hexano-acetato de etilo (7:3). Los fitocompuestos se detectaron con los siguientes agentes cromogénicos Dragendorff, anisaldehído-

ácido sulfúrico, vainillina al 1 % en ácido sulfúrico-etanol, cloruro férrico al 1%, cloruro de aluminio al 2 % en etanol para determinar alcaloides, esteroides, terpenos, saponinas, taninos y flavonoides, respectivamente (Wagner and Bladt, 1996). Todas las determinaciones se repitieron dos veces.

Ensayo de la Actividad Insecticida In Vitro

Para el bioensayo de la actividad insecticida, se utilizaron granos de café pergamino con una humedad entre el 40 y 45%, los cuales fueron desinfectados durante 24 h por inmersión con una solución de Derosal al 3% y posteriormente se secaron a temperatura ambiente. Además, se emplearon hembras adultas recién emergidas de *H. hampei* obtenidas del laboratorio Biocafé (Chinchiná, Colombia) las cuales fueron desinfectadas por aspersión con una solución de Sanivec® al 10%, en el interior de una cabina de flujo laminar.

El bioensayo se realizó bajo condiciones controladas de temperatura ($23 \pm 3^\circ\text{C}$) y una humedad relativa ($75 \pm 5\%$), utilizando como unidad experimental (UE) un tubo eppendorf al interior del cual se transfirió un grano de café pergamino impregnado con el respectivo extracto a 1000 mg/L (diclorometano y/o metanol) y una hembra adulta de broca de café previamente desinfectadas. Como control positivo se utilizó Endosulfan a 1 mg/L y como controles negativos etanol al 1% y etanol-butanol (1.5:0.5%) para los extractos de metanol y diclorometano, respectivamente. Todos los experimentos se repitieron dos veces.

Análisis de Datos

La actividad insecticida de los extractos contra la broca del café se determinó con base en el porcentaje de mortalidad de las brocas. Los experimentos se repitieron dos veces y todas las determinaciones se realizaron mediante un diseño aleatorio y completamente independiente que fueron analizados por medio de estadística descriptiva a través del software InfoStat (2005d.1).

Resultados y Discusión

Considerando como extractos activos aquellos que presentaron una mortalidad igual o superior al 50%, se obtuvieron, siete (7) extractos metanólicos (33.33%) activos contra la broca del café; de estos, 3 pertenecieron a la familia Asteraceae (14.29%), 2 a la Euphorbiaceae (9.52%) y uno correspondiente a cada una de las familias Asclepiadaceae y Solanaceae (4.76%). Mientras que los extractos de diclorometano de las plantas evaluadas presentaron baja o nula actividad como se muestra en la figura 1.

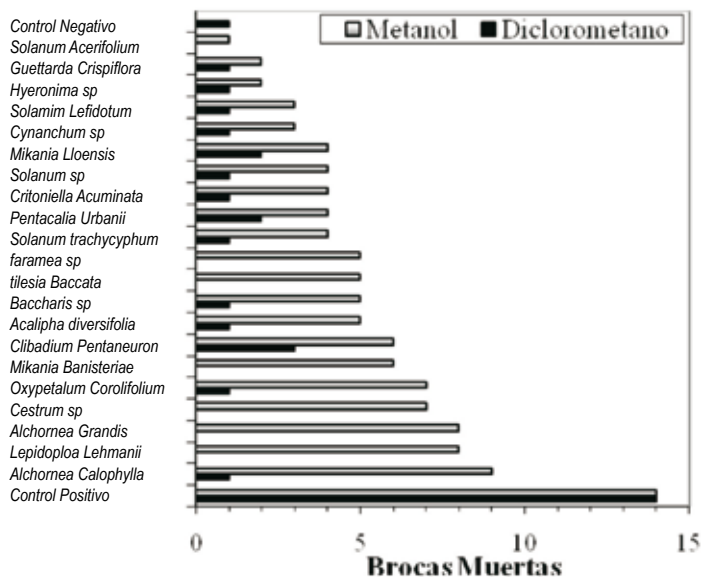


Figura 1. Actividad insecticida contra la broca del café (*H. hampei*) de los extractos metanólicos y diclorometano evaluados a 1000 mg/L

De la figura 1, se puede determinar que los extractos metanólicos de las especies pertenecientes a la familia Asteraceae: *L. lehmannii* (UTP-135), *M. banisteriae* (UTP-124) y *C. pentaneuron* (UTP-125); las especies asociadas a la familia Euphorbiaceae *A. calophylla* (UTP-128), *A. grandis* (UTP-140) y las especies *Cestrum* sp (UTP-137, Solanaceae), y *O. cordifolium* (UTP-139, Asclepiadaceae) fueron las que presentaron la actividad insecticida más potente.

De acuerdo con la marcha fitoquímica realizada en este trabajo, las plantas con mayor actividad insecticida pertenecientes a las familias Asteraceae y Euphorbiaceae presentaron alcaloides, esteroides, triterpenos, saponinas, fenoles, flavonoides y taninos; mientras que en la familia Solanaceae se detectaron alcaloides, esteroides, triterpenos, fenoles, flavonoides y taninos como se presenta en el cuadro 1. Estos hallazgos concuerdan con datos de la literatura donde aproximadamente de 2600 plantas pertenecientes a 200 familias se ha determinado que tienen algún tipo de actividad insecticida atribuible a sus fitocompuestos presentes (Mansingh, 2004). Dev y Koul (1997) concluyeron que en estos compuestos se incluyen isoprenoides: mono, sesqui, di y triterpenos; lactonas, compuestos fenólicos y alcaloides.

Basados en la literatura, para la familia Asteraceae se reporta la presencia de flavonoides, diterpenos y lactonas sesquiterpénicas; mientras que en la familia Euphorbiaceae se han descrito diterpenos, flavonoides, esteroides y para la familia Solanaceae se han detectado alcaloides esteroidales, fenoles, taninos, flavonoides y antraquinonas (Bruneton, 2001). Los núcleos fitoquímicos encontrados en los extractos de las plantas pertenecientes a estas familias son posiblemente, los responsables de la actividad contra la broca del café (Vieira et al. 2001).

Cuadro I. Marcha fitoquímica de los extractos de las plantas recolectadas en la Reserva Natural Bremen-La Popa (Quindío, Colombia)

Familia	Nombre Científico/Voucher FJR/No. UTP	Extracto	Metabolitos Secundarios					
			Alcaloides	Esteroles y Triterpenos	Saponinas	Fenoles	Flavonoides	Taninos
Apocynaceae	<i>Cynanchum</i> sp 3964 / 123	Hexano	- ¹	+	-	-	-	-
		Diclorometano	-	-	-	-	-	-
		Metanol	-	-	-	-	+	-
Asclepiadaceae	<i>Oxypetalum cordifolium</i> 3981 / 139	Hexano	-	-	-	-	-	-
		Diclorometano	-	-	-	-	-	-
		Metanol	+	+	+	-	+	-
Asteraceae	<i>Pentacalia urbanii</i> 3963 / 122	Hexano	-	-	-	-	-	-
		Diclorometano	+	+	-	+	+	+
		Metanol	-	+	+	+	+	+
	<i>Mikania banisteriae</i> 3965 / 124	Hexano	-	-	-	-	-	-
		Diclorometano	-	+	-	-	-	-
		Metanol	-	+	+	+	+	+
	<i>Clibadium pentaneuron</i> 3966 / 125	Hexano	-	-	-	-	-	-
		Diclorometano	-	-	-	-	-	-
		Metanol	-	+	-	-	-	-
	<i>Critoniella acuminata</i> 3968 / 127	Hexano	-	+	-	-	-	-
		Diclorometano	-	+	-	+	-	+
		Metanol	+	-	+	-	-	-
	<i>Baccharis</i> sp 3972 / 131	Hexano	-	+	-	-	-	-
		Diclorometano	-	+	-	-	-	-
		Metanol	-	-	-	+	-	+
	<i>Tilesia baccata</i> 3974 / 133	Hexano	-	-	-	-	-	-
		Diclorometano	-	-	-	-	+	-
		Metanol	-	+	+	-	-	-
	<i>Mikania lloensis</i> 3977 / 136	Hexano	-	-	-	-	-	-
		Diclorometano	-	-	-	-	-	-
		Metanol	-	-	+	-	-	-
<i>Lepidaploa lehmannii</i> 3976 / 135	Hexano	-	+	+	+	-	+	
	Diclorometano	-	+	+	+	-	+	
	Metanol	-	+	+	+	-	+	
Euphorbiaceae	<i>Acalypha diversifolia</i> 3967 / 126	Hexano	-	-	-	-	-	-
		Diclorometano	-	+	-	+	+	+
		Metanol	-	-	-	+	-	+
	<i>Alchornea calophylla</i> 3969 / 128	Hexano	-	-	-	+	-	+
		Diclorometano	-	-	+	+	+	+
		Metanol	-	+	+	+	+	+
	<i>Hyeronima</i> sp 3971 / 130	Hexano	-	-	-	-	-	-
		Diclorometano	-	+	-	+	+	+
		Metanol	-	+	+	+	+	+
<i>Alchornea grandis</i>	Hexano	-	-	+	-	-	-	
Rubiaceae	<i>Guettarda crispiflora</i> 3973 / 132	Hexano	-	-	-	-	-	-
		Diclorometano	-	+	-	-	-	-
		Metanol	-	-	-	-	-	-
	<i>Faramea</i> sp 3979 / 138	Hexano	-	+	-	-	-	-
		Diclorometano	-	-	-	-	+	-
Metanol	-	-	-	+	-	+		
Solanaceae	<i>Solanum acerifolium</i> 3961 / 120	Hexano	-	-	-	-	-	-
		Diclorometano	-	+	-	+	+	+
		Metanol	+	+	+	-	-	-
	<i>Solanum trachycyphum</i> 3962 / 121	Hexano	-	-	-	-	-	-
		Diclorometano	+	+	-	-	+	-
		Metanol	+	+	+	-	-	-
	<i>Solanum</i> sp 3970 / 129	Hexano	-	-	-	-	-	-
		Diclorometano	-	-	-	-	+	-
		Metanol	+	+	-	-	-	-
	<i>Solanum lepidotum</i> 3975 / 134	Hexano	-	-	-	-	-	-
Diclorometano		-	-	-	-	-	-	
Metanol		+	-	-	-	-	-	
<i>Cestrum</i> sp 3978 / 137	Hexano	-	+	-	-	-	-	
	Diclorometano	-	+	-	-	+	-	
Metanol	+	-	-	-	-	-		

¹(+)= Presente (-)= Ausente

Es de destacar que en las familias, activas en este trabajo, también han sido reportadas especies con actividad insecticida, pero no contra la broca del café. Por ejemplo, en la familia Asteraceae: *Artemisia dracunculus* presentó alta mortalidad contra *Sitophilus oryzae* atribuida a alquilamidas y cumarinas presentes en sus extractos acuosos (Saadali et al. 2001). Así mismo, el aceite esencial de *Ageratum conyzoides* fue altamente tóxico para *Callosobruchus maculatus* (Okunade, 2002); mientras que el extracto de hexano lo fue contra larvas de *Musca domestica* (Calle

et al. 1990), atribuida a la hormona antijuvenil Precoceno I. También, el extracto metanólico de *Roldana barba-johannis* mostró actividad insecticida significativa y reguladora del crecimiento de *Spodoptera frugiperda*, debida a la presencia de tocotrienoles e hidroquinonas en sus extractos (Céspedes et al. 2004).

En la familia Euphorbiaceae, se ha reportado actividad insecticida contra *Aedes aegyti*, particularmente de los aceites esenciales y diterpenos de plantas del género *Croton*, tales como: *C. zehntneri*, *C. argyrophylloides* *C. nepetaefolius* y *C. sonderianus* (Lima et al. 2006).

Igualmente, la actividad insecticida de plantas de la familia Solanaceae es muy destacada; por ejemplo, *Nicotiana tabaccum* (Ismann, 2006), *Capsicum annum* (Han et al. 2006) y *C. frutescens* han sido usadas para el control de varios Lepidopteros y Aphidos, entre otros (Ismann, 2006) y su actividad es atribuida a terpenos y alcaloides principalmente del tipo esteroidal, los cuales presentan diversas actividades biológicas tales como antibacteriana e inhibitoria de la topoisomerasa II (Niño et al. 2009).

En la literatura se han encontrado algunos estudios de actividad insecticida de extractos vegetales crudos sobre *H. hampei*, entre los cuales se destaca el extracto acuoso de *Azadirachta indica* (Meliaceae) el cual fue capaz de proteger entre el 73 y 75% los granos de café a dosis de 2.0 y 2.5%, respectivamente (Rodríguez-Lagunes et al. 1998). Es importante mencionar que de *A. indica* se han aislado triterpenoides bioactivos entre los cuales se destaca azadirachtina, el cual tiene una fuerte actividad insecticida contra varios tipos de insectos (Mansingh, 2004).

Así mismo, el extracto de diclorometano obtenido de frutos maduros de *Coffea canephora* cv Robusta (Rubiaceae), fue muy eficaz en trampas para el control de la broca del café en México (Gutierrez-Martínez y Ondarza, 1996). Adicionalmente, los extractos alcohólicos crudos de *Bligia sapida* (Sapindaceae), *Artocarpus altilis* (Moraceae) y *A. indica* (Meliaceae) resultaron activos en ensayos de campo contra *H. hampei* (Mitchell y Ahmad, 2006).

Es importante destacar que las plantas encontradas en este estudio aún no han sido reportadas con actividad insecticida contra la broca del café, *Hypotenemus hampei*; de acuerdo a Mansingh (2004) es importante que países biodiversos como Colombia puedan realizar estudios de bioprospección de su flora que conduzcan al desarrollo de insecticidas naturales de bajo costo, para ser incluidos en programas de manejo integrados de plagas (MIP) de sus principales cultivos.

Conclusiones

El extracto metanólico de *A. calophylla* (UTP 128, Euphorbiaceae) presentó la mayor capacidad insecticida contra la broca del café, seguido por los extractos

metanólicos de las especies pertenecientes a la familia Asteraceae: *Clibadium pentaneuron* (UTP 125), *L. lehmannii* (UTP 135) y *Mikania banisteriae* (UTP 124); adicionalmente, los extractos metanólicos de *A. grandis* (UTP 140, Euphorbiaceae); *Oxypetalum cordifolium* (UTP 139, Asclepiadaceae) y de *Cestrum* sp (UTP 137, Solanaceae), fueron bioactivos.

Es de destacar que la biodiversidad de las plantas de la Reserva Natural Bremen-La Popa (Filandia-Circasia, Quindío), especialmente de las familias Asteraceae, Euphorbiaceae y Rubiaceae pueden ser una fuente importante de bioplaguicidas para el control de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari).

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) por conceder el permiso de recolección de los materiales vegetales y a COLCIENCIAS y la Universidad Tecnológica de Pereira por el financiamiento parcial del proyecto.

Referencias

Aristizábal L. 2002: Investigación participativa en el Manejo Integrado de la broca del Café. Informe del proyecto “Investigación Participativa con pequeños agricultores para el Manejo Integrado de la Broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari)”. Convenio COLCIENCIAS – FNC-CENICAFÉ. p 10.

Brun L.A., Marcillaud C., Gaudichon V. 1994: Cross resistance between insecticides in coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) from New Caledonia. Bulletin of Entomological Research. 84: 175-78.

Bruneton J. 2001: Farmacognosia. Fitoquímica. Plantas medicinales. 2001: 2ª ed. Editorial Acribia. Zaragoza. España. pp. 1099.

Bustillo A.E., Cárdenas R., Villalba D. A., Benavides P., Orozco J., Posada F. J. 1998: Manejo Integrado de la Broca del Café *Hypothenemus hampei* (Ferrari), Chinchiná, Colombia. pp. 134.

Calle J., Espinosa A., Núñez C., Bautista E., Pinzón R. 2004: Actividad insecticida del aceite esencial de *Myntostachys mollis* (HBK) Griseb y sus componentes. Revista Colombiana de Ciencias Químico Farmacéuticas 33: 137-144.

Calle J., Rivera A., Luis G.J., Aguilar Z.E., Niemeyer H.M., Joseph-Nathan P. 1990: Insecticidal activity of the petroleum ether extract of *Ageratum conyzoides* L. Revista Colombiana de Química 19: 91-96.

Camilo J., Olivares F., Jiménez H. 2003: Fenología y reproducción de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) durante el desarrollo del fruto. *Agronomía Mesoamericana*. 14: 59-63.

Céspedes C.L., Torres P., Marin J.C., Arciniegas A., Romo de Vivar A., Pérez-Castorena A.L., Aranda E. 2004: Insect growth inhibition by tocotrienols and hydroquinones from *Roldana barba-johannis*. *Phytochemistry* 65: 1963-1975.

Cordell G.A., Colvard M.D. 2005: Some thoughts on the future of ethnopharmacology. *Journal of Ethnopharmacology*. 100: 5-14

Chaves B., Riley J. 2001: Determination of factors influencing integrated pest management adoption in coffee berry borer in Colombian farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 87: 159-177.

Depieri R.A., Martínez S., Menezes JR.A.O. 2005: Compatibility of the fungus *Beauveria Bassiana* (Bals.) Vuill. (Deuteromycetes) with extracts of Neem seeds and leaves and the emulsible oil. *Neotropical Entomology*. 34: 601-606.

Dev S., Koul O. 1997: *Insecticides of natural origin*. Harwood Academic Pub., Amsterdam, The Netherlands. 335 p.

Durham S. 2004: Impidiendo la pérdida de ganancias causada por la broca del café. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2008]. <http://www.ars.usda.gov/is/espanol/pr/2004>.

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS. 2008: [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2008]. <http://cafedecolombia.com/caficultora/elcafe.html>

Fernández S., Cordero J. 2005: Evaluación de atrayentes alcohólicos en trampas artesanales para el monitoreo y control de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari). *Bioagro*. 19: 35-40.

Gómez J., Guarín A., Acuña R. 2007: Evaluación de mortalidad de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytidae) con extractos vegetales crudos vegetales incorporados en dieta meridica. *Resúmenes XXXIV Congreso Sociedad Colombiana de Entomología*. p 126.

Gutierrez-Martínez A., Ondarza R. N. 1996: Kairomone effect of extracts from *Coffeae canephora* over *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Environmental Entomology*. 25: 96-100.

Han M-K., Kim S-I., Ahn Y-J. 2006: Insecticidal and antifeedant activities of medicinal plant extracts against *Attagenus unicolor japonicus* (Coleoptera: Dermestidae). *Journal of Stored Products Research* 42: 15-22.

- Haraprasad N., Niranjana S.R., Prakash H.S., Shetty H.S., Wahab S. 2001: *Beauveria bassiana*-A potential mycopesticide for the efficient control of coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) in India. *Biocontrol Science and Technology*. 11: 251-60.
- Ismann M.B. 2006: Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agricultural and a increasingly regulated world. *Annual Review of Entomology* 51: 45-56.
- Lima M.G.A., Maia I.C.C., Sousa B.D., Morais S.M., Freitas S.M. 2006: Effect of stalk and leaf extracts from Euphorbiaceae species on *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae) larvae. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo* 48: 211-214.
- López-Olguín J.F., Sánchez-Pérez A., Aragón A.G., Pérez R.A., Huerta A. P., Tapia A.M.R. 2006: Evaluación de extractos acuosos de Meliaceae para el manejo de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). En: Resúmenes XXXIII Congreso Socolen, 26 a 28 de julio 2006. Manizales, Colombia. 135 p.
- Maldonado C.E., Benavides P.M. 2006: Establecimiento de los parasitoides de la broca del café, *Cephalonomia stephanoderis*, *Prorops nasuta* y *Phymastichus coffea* y variabilidad genética de *P. nasuta* en Colombia. En: Resúmenes XXXIII Congreso Socolen, 26 a 28 de julio 2006. Manizales, Colombia. 126 p.
- Mansingh A. 2004: Limitations of natural pesticides: A challenge to scientists. IN: Tan B. K-H., Bay B-H., Zhu Y-Z (Eds.). *Novel compounds from natural Products in the new millennium. Potential and Challenges*. World Scientific New Jersey. p. 87-106.
- Mitchell S.A., Ahmad M.H. 2006: A review of medicinal plant research in the University of West Indies, Jamaica, 1948-2001. *West Indian Med J*. 55: 243-269.
- Niño J., Correa Y.M., Mosquera O.M. 2009: Biological Activities of Steroidal Alkaloids Isolated from *Solanum leucocarpum* (Solanaceae). *Pharmaceutical Biology*. Aceptado para publicación.
- Niño J., Correa Y.M., Mosquera O.M. 2006: Antibacterial, antifungal, and cytotoxic Activities of 11 Solanaceae plants from Colombian biodiversity. *Pharmaceutical Biology* 44: 1-5.
- Okunade A.L. 2002: *Ageratum conyzoides* L. (Asteraceae). *Fitoterapia* 73: 1-16.
- Rodríguez-Lagunés D.A., Lagunas-Tejada A., Riestra-Díaz D., Rodríguez-Maciél C., Velásquez-Mendoza J., Becerril-Román E., Pacheco-Velasco E. 1998: Aqueous extracts of NET for the control of coffee berry borer. *Manejo Integrado de Plagas* 49: 73-77.

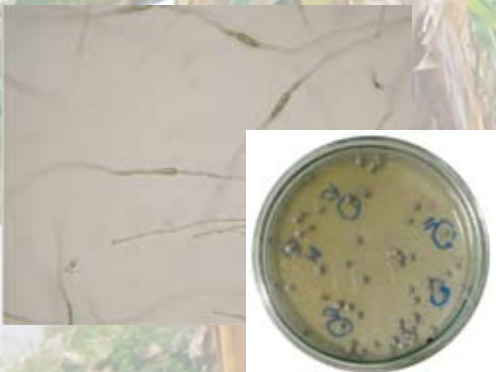
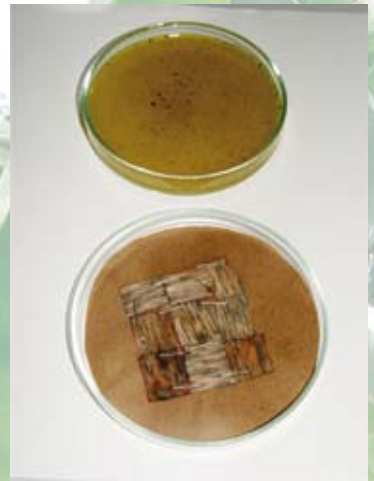
Saadali B., Boriky D., Blaghen M., Vanhaelen M., Talbi M. 2001: Alkamides from *Artemisia dracunculus*. *Phytochemistry* 58: 1083-1086.

Valencia O., Silva J., Barrera M., Isaza H. 2007: Actividad insectida de extractos de *Bocconia frutescens* sobre *Hypothenemus hampei* Ferrari. *Scientia et Technica*. 33: 251-252.

Vieira P.C., Mafezoli J., Biavatti M. W. 2001: Inseticidas de origem vegetal. EN: Ferreira J. T. B., Correa A. G., Vieira P. C. *Produtos naturais no controle de insetos*. São Carlos. Editora da Universidade Federal de Sao Carlos. (Serie de Textos da Escola de verão em Química, v III). pp. 150.

Wagner H., Bladt S. 1996: *Plant Drug Analysis. A thin layer chromatography atlas*. 2a Edition Springer-Verlag, Berlin, Germany. pp. 36.

Evaluación *In Vitro* de Extractos Vegetales Contra Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet)



Fondo.

Cultivo de platano

Fotografía: Miguel Ángel Dossman

Foto 1.

Descarga de ascosporas del hongo
Mycosphaerella fijiensis Morelet

Foto 2.

Bioensayo de actividad antifúngica *in vitro* a través de la enlongación del tubo germinativo de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet

Foto 3.

Actividad antifúngica *in vitro* mediante inhibición del crecimiento radial del micelio del hongo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet

Fotografías : Víctor Hugo Valencia Giraldo

Evaluación *In Vitro* de Extractos Vegetales Contra Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet)

Niño, J. Ospina, J. Correa, Y. M., Mosquera, O. M.
Investigadores Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos
Genéticos - CIEBREG
Grupo de Biotecnología-Productos Naturales – GBPN. Escuela de Tecnología
Química, Universidad Tecnológica de Pereira. A.A. 097. Pereira, Colombia.
*e-mail: janino@utp.edu.co

Abstract

The methanolic and dichloromethane extracts from the plant species collected at the Natural Reserve Bremen-La Popa (Filandia-Circasia, Quindío, Colombia) were evaluated by their *in vitro* fungi toxic capacity on the two reproductive phases of the phytopathogenic fungus *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, the causal agent of the foliar disease known as Black Sigatoka, which is predominant in plantain and banana plantations in the tropical world regions. The evaluation was developed through the methods of the ascospore germ tube elongation length (sexual phase) and by the micelium radial growth (asexual phase).

It was found that 30% of the 20 methanolic and 76% of the 21 dichloromethane extracts evaluated inhibited the fungus in its reproductive sexual phase. In the Solanaceae family both extracts from *Cestrum* sp (UTP-137) followed by the methanolic extract of *Solanaum acerifolium* (UTP-120) showed an antifungic activity equal or superior to 70% against *M. fijiensis*.

In addition, 10% out of 20 methanolic extracts and 11% out of 19 dichloromethane extracts evaluated showed inhibition of the fungus *M. fijiensis* in its asexual reproductive phase. From the active extracts, the methanolic one from *Acalypha diversifolia* (UTP-126, Euphorbiaceae) and the dichloromethane from *Citroniella acuminata* (UTP-127, Asteraceae) displayed the highest inhibition (100 and 96%, respectively) against the phytopathogenic fungus.

From the above results it could be inferred that the plant extracts from the species studied interfere with the normal development of the fungus reproductive structures, perhaps due to the action of the secondary metabolites present in the crude plant extracts analyzed.

Keywords: bioassay, antifungal activity, radial growth, germ tube elongation length, phytofungicide

Resumen

Los extractos metanólicos y de diclorometano obtenidos a partir de plantas recolectadas en la Reserva Natural Bremen-La Popa (Filandia-Circasia, Quindío, Colombia) fueron evaluados por su capacidad fungitóxicas *in vitro* sobre las dos fases de reproducción del hongo fitopatógeno *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, agente causal de la enfermedad foliar conocida como Sigatoka negra, la cual predomina en los cultivos de plátano y banano de las regiones tropicales del mundo. La evaluación se realizó a través de los métodos de elongación del tubo germinativo de las ascosporas (fase sexual) y del crecimiento radial de las conidias (fase asexual).

Se encontró que 30% de los 20 extractos metanólicos y 76% de los 21 extractos de diclorometano evaluados causaron inhibición en la fase de reproducción sexual del hongo. Así, en la familia Solanaceae los dos extractos de *Cestrum* sp (UTP-137) seguidos por el extracto metanólico de *Solanum acerifolium* (UTP-120), fueron los que presentaron actividad antifúngica superior o igual al 70% contra *M. fijiensis*.

Adicionalmente, 10% de los 20 extractos metanólicos y 11% de los 19 extractos de diclorometano evaluados, inhibieron el crecimiento radial de *M. fijiensis* en su fase de reproducción asexual. De los extractos activos, el metanólico de *Acalypha diversifolia* (UTP-126, Euphorbiaceae) y el de diclorometano de *Critoniella acuminata* (UTP-127, Asteraceae), fueron los que presentaron la mayor inhibición (100 y 96%, respectivamente) contra el hongo fitopatógeno.

De los resultados anteriores se infiere que los extractos vegetales de las especies activas detectadas interfieren con el desarrollo normal de las estructuras reproductivas del hongo, posiblemente debido a la acción de los metabolitos secundarios presentes en los extractos crudos analizados.

Palabras clave: bioensayo, actividad antifúngica, crecimiento radial, elongación tubo germinativo, fitofungicida

Introducción

La Sigatoka negra (SN) es causada por el hongo foliar *Mycosphaerella fijiensis* Morelet (telemorfo), *Paracescospora fijiensis* (anamorfo) (Orozco-Santos et al., 2001). Esta es una de las enfermedades más devastadoras para los cultivos de plátano y banano en la actualidad, debido a su agresividad y adaptabilidad en las regiones con clima tropical o subtropical húmedo del mundo (Craenen, 1998). Si

bien, la enfermedad no alcanza a destruir la planta por completo, en un ataque severo, sí incide en la calidad del producto final hasta en un 100%, retardando la floración, produciendo maduración prematura y reduciendo el peso del racimo hasta en un 50% (Guzmán, 2006).

La SN hizo su aparición en América Latina y el Caribe en 1972, reportándose por primera vez en Honduras (Stover 1980). A partir de esta fecha y entre 1975-1977 se informó su presencia en Belice, Guatemala y Costa Rica (Mourichon y Fullerton, 1990). Rápidamente al final de la década de los setenta y comienzo de los ochenta, la enfermedad fue reportada en el sur de México, Salvador, Nicaragua, Panamá y Colombia. Desde allí, la SN se extendió hacia América Latina, donde se reportó su presencia en Venezuela en 1991 (Carrero et al. 2001) y por la costa Pacífica llegó al Ecuador y Perú (Craenen, 1998).

El ciclo de vida de *M. fijiensis* se caracteriza por tener dos fases de reproducción, una perfecta ó ciclo sexual y otra imperfecta o ciclo asexual (Alexoupoulos y Mims, 1979), ambas fases juegan un papel importante en la expansión de la enfermedad; sin embargo, estudios epidemiológicos señalan que la descarga de ascosporas (fase sexual), correlaciona con la propagación de la SN; mientras que la liberación de conidias (fase asexual) solo participa de una manera secundaria en la diseminación de la misma (Stover, 1980; Pasberg-Gauhl y Gauhl, 2006).

Para su control se han aplicado cantidades ingentes de fungicidas sistémicos costosos, lo cual ha traído consigo el desarrollo de resistencia de la SN a fungicidas tales como benzimidazoles (Morinaga et al. 2004), estrobilurinas (Beresford et al. 1999) y triazoles (Orozco-Santos et al. 2001). En Colombia por ejemplo, se realizan en promedio entre 20 a 30 ciclos de aplicaciones/año, en los cultivos de plátano y banano, lo cual representa un costo aproximado de \$ 30 millones de dólares (Augura, 2000); mientras que en México se realizan entre 40 a 52 ciclos de aplicaciones con un costo anual superior a los \$ 43 millones de dólares (Orozco-Santos et al. 2001). Más aún, en la actualidad se emplean mezclas de fungicidas, lo cual trae consecuencias nefastas, al generar resistencia sobre la SN, contaminar el ambiente y afectar la salud de los trabajadores de las plantaciones.

Se considera que en el mundo existen entre 250.000 y 500.000 especies vegetales (Borris, 1996), de las cuales se estima que en Colombia existen unas 50.000 (IAvH, 1998). Se sabe que durante toda su vida, las plantas están expuestas al ataque de una gran variedad de hongos fitopatógenos presentes en su entorno; por consiguiente, ellas deben biosintetizar compuestos para su supervivencia y por ende, pueden ser una fuente excelente de agentes antifúngicos potentes (Okigbo y Emoghene, 2004).

En general, son pocos los trabajos que se han realizado sobre el uso de los productos naturales para el control de la SN. Los extractos de plantas como *Matricaria* sp. (Asteraceae), *Annona muricata* (Annonaceae) y *Melaleuca alternifolia* (Myrtaceae)

mostraron actividad fungicida (Jiménez et al. 2006). Okigbo y Emoghene, (2004) evaluaron la actividad antifúngica de los extractos acuosos a 10, 25, 50 y 100% de las plantas *Azadirachta indica* (Meliaceae), *Ocimum gratissimum* Linn. (Labiatae) y *Vernonia amygdalina* Del. (Asteraceae) sobre la germinación de los conidióforos de *M. fijiensis*, encontraron que el extracto a 100% de *O. gratissimum* inhibió completamente la germinación de los conidióforos y presentó la actividad antifúngica más potente, comparado con los otros dos extractos estudiados. Así mismo, Marín et al. (2006), determinaron que los extractos de *A. indica*, *Swinglea glutinosa* (Rutaceae), *Salvia officinalis* (Lamiaceae) y la mezcla de *S. glutinosa* y *A. indica* inhibieron el crecimiento de *M. fijiensis*. Osorio (2006), encontró que el extracto alcohólico de *Senna reticula* (Fabaceae) presentó la mayor actividad protectora *in vitro* contra la SN debida posiblemente a metabolitos secundarios tales como polifenoles, cumarinas, quinonas, saponinas, triterpenos y/o flavonoides, constituyentes de dichos extractos.

Los agentes antifúngicos de origen vegetal pueden ser biodegradables y selectivos en su toxicidad, por consiguiente pueden ser más benignos con el medio ambiente (Mahmoud et al. 2004). A pesar de ello, la eficacia de los extractos vegetales en el control de la SN es vaga y se requieren estudios más controlados para valorar la acción de los mismos tanto *in vitro* como en campo. No obstante, se debe considerar que la probabilidad de encontrar agentes que controlen o inhiban el crecimiento de *M. fijiensis* a partir de la flora regional es grande (Guzmán, 2006).

Por lo anterior, hay necesidad urgente de encontrar nuevos antifúngicos con modos de acción novedosos para el control de la SN preferiblemente a partir de fuentes vegetales; estos agentes deben actuar de una manera efectiva, con menos toxicidad para las poblaciones y los ecosistemas implicados; así mismo, estos estudios deben valorar y descubrir la potencialidad de la flora colombiana.

Con este trabajo se pretende determinar la acción antifúngica de los extractos metanólicos y de diclorometano sobre la elongación del tubo germinativo de las ascosporas y el crecimiento radial del micelio de *M. fijiensis* en la búsqueda de alternativas que sirvan de base para la obtención de biopreparados que reduzcan considerablemente los costos de producción y los efectos contaminantes causados por los plaguicidas sintéticos empleados en los cultivos de plátano y banano.

Materiales y Métodos

Material vegetal

Se recolectaron 21 plantas pertenecientes a las familias botánicas Apocynaceae, Asclepiadaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae, Rubiaceae y Solanaceae, en la Reserva Natural Bremen-La Popa (Filandia-Circasia, Quindío, Colombia), ventana I de estudio del CIEBREG durante el periodo comprendido entre el 22 y el 24

de agosto del 2005, las cuales fueron clasificadas por el taxónomo F. J. Roldan y un voucher de cada especie se depositó en el Herbario de la Universidad de Antioquia (HUA, Medellín, Colombia), ver cuadro I.

Obtención de Extractos Vegetales

Los extractos metanólicos y de diclorometano fueron obtenidos de la parte aérea de las plantas recolectadas, de acuerdo al procedimiento descrito por Niño *et al.* (2006).

Marcha Fitoquímica de los Extractos Vegetales

La caracterización de los principales metabolitos secundarios presentes en los extractos de diclorometano y metanol se realizó por cromatografía de capa delgada (CCD). Para lo cual, se usaron cromatoplasmas de Silica Gel 60 F₂₅₄ Merck (Darmsted, Germany). Los extractos metanólicos fueron eluidos con el sistema cloroformo-acetato de etilo-metanol (2:2:1); mientras que para los de diclorometano se usó hexano-acetato de etilo (7:3); posteriormente, los fitocompuestos fueron visualizados mediante el empleo de los siguientes agentes cromogénicos: Dragendorff, anisaldehído-ácido sulfúrico, vainillina al 1% en ácido sulfúrico-etanol, cloruro férrico al 1% y tricloruro de aluminio al 2% en etanol para determinar: alcaloides, esteroides, terpenos, saponinas, taninos y flavonoides, respectivamente (Wagner y Bladt, 1996). Todas las determinaciones se realizaron por duplicado.

Evaluación de la actividad antifúngica de los extractos vegetales sobre Mycosphaerella fijiensis

a) Método de elongación del tubo germinativo

Muestras de hojas de plátano infectadas con SN en los estados 5 y 6 de la enfermedad (Meredith y Lawrence, 1969; Belalcázar, 1991) fueron recolectadas en la localidad de Quimbaya (Quindío, Colombia). A partir de las hojas enfermas se obtuvieron fragmentos de 2 cm², los cuales se pegaron con la ayuda de ganchos metálicos a discos de papel kraft y se incubaron por 48 h en una cámara húmeda. Después del período de incubación se sumergieron en agua destilada por 5 minutos y se fijaron a la superficie interna de la tapa de cada caja de Petri, que contenía agar al 2% solidificado y suplementado con los extractos vegetales a 1000 mg/L. Las cajas se taparon y se permitió que las ascosporas descargaran, sobre la superficie del agar durante 1 h. En todos los experimentos se utilizó, como control positivo Benlate a 1 mg/L y como control negativo etanol al 1%. Todos los experimentos se repitieron dos veces.

Las cajas de Petri se incubaron por 24 h para los extractos metanólicos y 48 h para los de diclorometano, a una temperatura entre 26-27 °C. Después del periodo de incubación se efectuó la lectura de 150 ascosporas con un microscopio de luz, bajo un aumento de 10x en dos cajas diferentes por cada extracto, repartidas en tres campos visuales de 50 ascosporas cada uno. La lectura permitió determinar el porcentaje de ascosporas con germinación normal (GN), germinación deforme (GD), germinación corta (GC) y las no germinadas (NG) (Du Pont, 1983). Se consideró como respuesta efectiva de la actividad antifúngica de los extractos, las ascosporas que presentaron un alto porcentaje de NG, GC y GD.

b) Método del crecimiento radial

De acuerdo al procedimiento descrito anteriormente sobre la descarga de ascosporas, se obtuvieron cultivos monospóricos sobre agar PDA en tubos de ensayo. Las ascosporas se cultivaron a temperatura ambiente por 14 a 20 días bajo luz continua. Para la realización de los ensayos de crecimiento radial, se transfirió una colonia de un cultivo monospórico de más de 14 días de crecimiento a un tubo de ensayo que contenía 5 mL de agua destilada estéril, se adicionaron esferas de vidrio y se agitó el conjunto por 30 segundos con un vortex a 1200 rpm. Luego, 100 µL de esta suspensión se sembraron por superficie en cajas de Petri con agar PDA gelificado, suplementado con 250 mg/L de estreptomycin y con soluciones a 1000 mg/L de los extractos analizados. Como control positivo se utilizó Benlate a 1 mg/L y como negativo etanol al 1%. Se determinó la longitud del crecimiento radial a 15 colonias diferentes (cinco por caja) de *M. fijiensis* leídas en 3 cajas de Petri. Las lecturas sobre las mismas colonias, se realizaron a los 7, 9, 12, 15 y 20 días de incubación a 26-27°C en la oscuridad (Peláez et al. 2006). Los experimentos se repitieron dos veces.

Análisis de Datos

La actividad antifúngica de los extractos sobre *M. fijiensis* en su fase sexual (ascosporas) y fase asexual (conidias), se determinó con relación a la elongación del tubo germinativo de las ascosporas y a la medición del diámetro del micelio, respectivamente. Todos los ensayos se realizaron mediante un diseño aleatorio y completamente independiente que fueron evaluados por los métodos estadísticos de análisis de conglomerados y análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis a través del software Infostat (Versión 2005d.1) y SPSS (Versión 10).

Resultados y Discusión

La lista de las plantas recolectadas junto con los respectivos números de los voucher, así como los resultados de la marcha fitoquímica se reportan en el cuadro I.

Cuadro I. Marcha fitoquímica de los extractos de las plantas recolectadas en la Reserva Natural Bremen-La Popa (Quindío, Colombia)

Familia	Nombre Científico/Voucher FJR/No. UTP	Extracto	Metabolitos Secundarios Analizados						
			Alcaloides	Esteroles y Triterpenos	Saponinas	Fenoles	Flavonoides	Taninos	
Apocynaceae	<i>Cynanchum</i> sp 3964 / 123	Hexano	- ¹	+	-	-	-	-	
		Diclorometano	-	-	-	-	-	-	
		Metanol	-	-	-	-	+	-	
Asclepiadaceae	<i>Oxypetalum cordifolium</i> 3981 / 139	Hexano	-	-	-	-	-	-	
		Diclorometano	-	-	-	-	-	-	
		Metanol	+	+	+	-	+	-	
Asteraceae	<i>Pentacalia urbani</i> 3963 / 122	Hexano	-	-	-	-	-	-	
		Diclorometano	+	+	-	+	+	+	
	<i>Mikania bunisteriae</i> 3965 / 124	Hexano	-	+	+	+	+	+	
		Diclorometano	-	+	-	-	-	-	
		Metanol	-	+	+	+	+	+	
	<i>Clibadium pentaneuron</i> 3966 / 125	Hexano	-	-	-	-	-	-	
		Diclorometano	-	-	-	-	-	-	
	<i>Critoniella acuminata</i> 3968 / 127	Hexano	-	+	-	-	-	-	
		Diclorometano	-	+	-	+	-	+	
	<i>Baccharis</i> sp 3972 / 131	Hexano	+	-	+	-	-	-	
		Diclorometano	-	-	-	-	-	-	
	<i>Tilisia baccata</i> 3974 / 133	Hexano	-	-	-	+	-	+	
		Diclorometano	-	-	-	-	-	-	
	<i>Mikania lloensis</i> 3977 / 136	Hexano	-	+	+	-	-	-	
		Diclorometano	-	-	-	-	-	-	
		Metanol	-	-	+	-	-	-	
	<i>Lepidaploa lehmannii</i> 3976 / 135	Hexano	-	+	+	+	-	+	
		Diclorometano	-	+	+	+	+	+	
		Metanol	-	+	+	+	-	+	
	Euphorbiaceae	<i>Acalypha diversifolia</i> 3967 / 126	Hexano	-	-	-	-	-	-
			Diclorometano	-	+	-	+	+	+
Metanol			-	-	-	+	+	+	
<i>Alchornea calophylla</i> 3969 / 128		Hexano	-	-	-	+	+	+	
		Diclorometano	-	+	+	+	+	+	
		Metanol	-	+	+	+	+	+	
<i>Hyeronima</i> sp 3971 / 130		Hexano	-	-	-	-	-	-	
		Diclorometano	-	+	-	+	+	+	
<i>Alchornea grandis</i> 3982 / 140		Hexano	-	-	+	-	-	-	
	Diclorometano	-	-	+	-	+	-		
<i>Guettarda crispiflora</i> 3973 / 132	Hexano	-	+	-	-	-	-		
	Diclorometano	-	+	-	-	-	-		
Rubiaceae	<i>Faramea</i> sp 3979 / 138	Hexano	-	+	-	-	-	-	
		Diclorometano	-	-	-	+	-	-	
		Metanol	-	-	-	+	-	+	
Solanaceae	<i>Solanum acerifolium</i> 3961 / 120	Hexano	-	-	-	-	-	-	
		Diclorometano	-	+	-	+	+	+	
		Metanol	+	+	+	-	-	-	
	<i>Solanum trachycyphum</i> 3962 / 121	Hexano	-	-	-	-	-	-	
		Diclorometano	+	+	-	-	+	-	
	<i>Solanum</i> sp 3970 / 129	Hexano	+	+	+	-	-	-	
		Diclorometano	-	-	-	-	+	-	
	<i>Solanum lepidotum</i> 3975 / 134	Hexano	+	+	-	-	-	-	
		Diclorometano	-	-	-	-	-	-	
		Metanol	+	-	-	-	-	-	
<i>Cestrum</i> sp 3978 / 137	Hexano	-	+	-	-	-	-		
	Diclorometano	-	+	-	-	+	-		
		Metanol	+	-	-	-	-		

¹ (+) = Presente

(-) = Ausente

En las figuras 1 y 2, se muestran los porcentajes de las ascosporas con germinación normal (GN), germinación deforme (GD), germinación corta (GC) y no germinados (NG) que presentaron los 20 extractos metanólicos y los 21 extractos de diclorometano respectivamente, evaluados a través del método de elongación del tubo germinativo de las ascosporas de *M. fijiensis* (fase sexual).

De acuerdo con la figura 1, los extractos metanólicos activos en este ensayo, presentaron predominantemente un alto porcentaje de GD, siendo, las especies pertenecientes a la familia Solanaceae: *Solanum acerifolium* (UTP-120), *Solanum* sp

(UTP-129) y *Cestrum* sp (UTP- 137) las que mostraron un porcentaje de inhibición superior al 70%.

Los extractos de diclorometano (ver figura 2), también presentaron un alto porcentaje de GD, entre los cuales se destacan: los de la familia Asteraceae: *C. acuminata* (UTP-127), *T. baccata* (UTP-133), *L. lehmannii* (UTP-135) y *M. lloensis* (UTP-136); las especies pertenecientes a la familia Solanaceae: *S. acerifolium* (UTP-120), *Solanum* sp (UTP-129) y *Cestrum* sp. (UTP-137); y las especies individuales *O. cordifolium* (UTP-139, Asclepiadaceae); *Cynanchum* sp (UTP-123, Apocynaceae); *A. diversifolia* (UTP-126, Euphorbiaceae), las cuales también mostraron una inhibición *in vitro* de *M. fijiensis* superior al 70%.

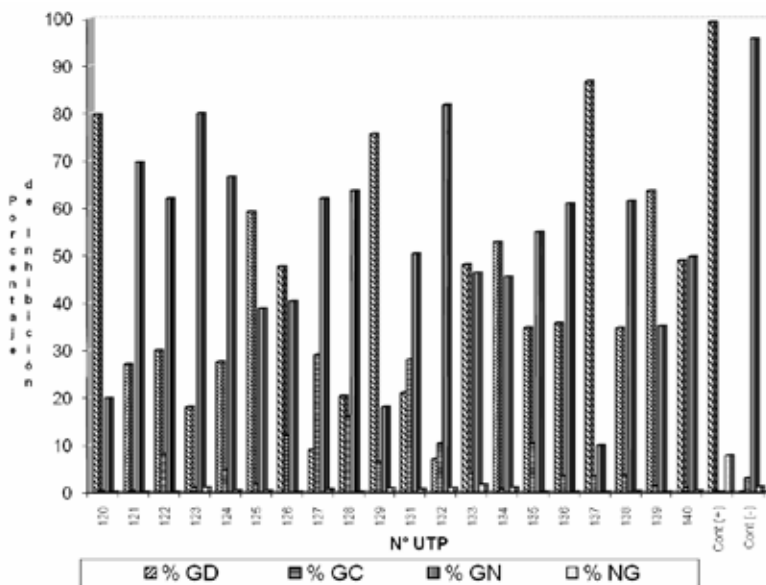


Figura 1. Porcentaje de inhibición de los extractos metanólicos a 1000mg/L, sobre el ciclo sexual de *M. fijiensis*

Como se puede deducir de las figuras 1 y 2, tanto los extractos metanólicos como los de diclorometano de las especies *Solanum acerifolium* (UTP-120), *Solanum* sp (UTP-129), *Cestrum* sp (UTP-137), inhibieron el hongo en un porcentaje superior al 70% en su fase de reproducción sexual. De igual manera, los extractos de diclorometano de las plantas *Cynanchum* sp (UTP-123), *Acalypha diversifolia* (UTP-126), *Critoniella acuminata* (UTP-127), *Tilesia baccata* (UTP-133), *Lepidaploa lehmannii* (UTP-135), *Mikania lloensis* (UTP-136) y *Oxypetalum cordifolium* (UTP-139) también inhibieron en un 70% la elongación del tubo germinativo de *M. fijiensis* en su fase de reproducción sexual. Todos los extractos activos presentaron como posibles núcleos fitoquímicos responsables de su alta actividad antifúngica: alcaloides, flavonoides, saponinas, esteroides y triterpenos.

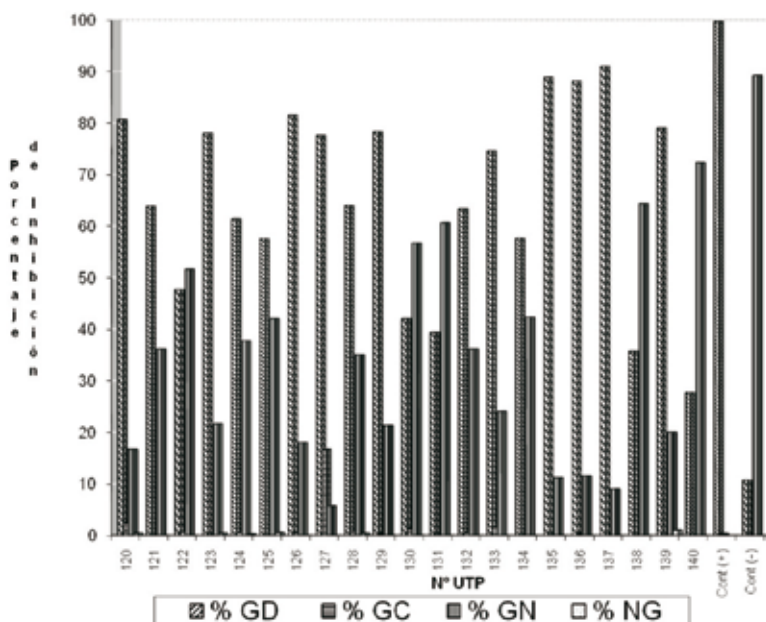


Figura 2. Porcentaje de inhibición de los extractos de diclorometano a 1000 mg/L sobre el ciclo sexual de *M. fijiensis*.

De los resultados anteriores y de acuerdo a la metodología seguida en este trabajo, los extractos de diclorometano de las plantas colectadas y estudiadas fueron más efectivos que los metanólicos al inhibir el crecimiento de las ascosporas de la SN. Estos resultados, pueden ser debidos a la naturaleza medianamente polar de los fitocompuestos presentes en dichos extractos, que les permite difundirse más fácilmente que los respectivos metanólicos y por consiguiente atravesar membranas celulares y mostrar su acción antifúngica *in vitro* más potente.

Con relación al efecto causado sobre el crecimiento radial de *M. fijiensis* por los 20 extractos metanólicos y los 19 de diclorometano, evaluados a 1000 mg/L y analizados mediante la prueba de Kruskal-Wallis, se determinó que existían diferencias significativas en el crecimiento del diámetro del micelio producida principalmente por los constituyentes de los extractos. Por ello, a través del análisis de varianza no paramétrico mediante la prueba de Tamhane (SPSS, Versión 10), se realizaron comparaciones entre el control negativo y las medias de los diámetros de crecimiento del micelio inducidas por los extractos. De esta manera, se determinó que los extractos metanólicos (Figura 3A) pertenecientes a la familia Euphorbiaceae de las especies *A. diversifolia* (UTP-126) y *A. calophylla* (UTP-128) y los de diclorometano (Figura 3B) de las especies de la familia Asteraceae *C. acuminata* (UTP-127) y *L. lehmannii* (UTP-135) fueron los únicos que inhibieron en más del 70% el crecimiento radial *in vitro* del hongo fitopatógeno *M. fijiensis* en su fase de reproducción asexual.

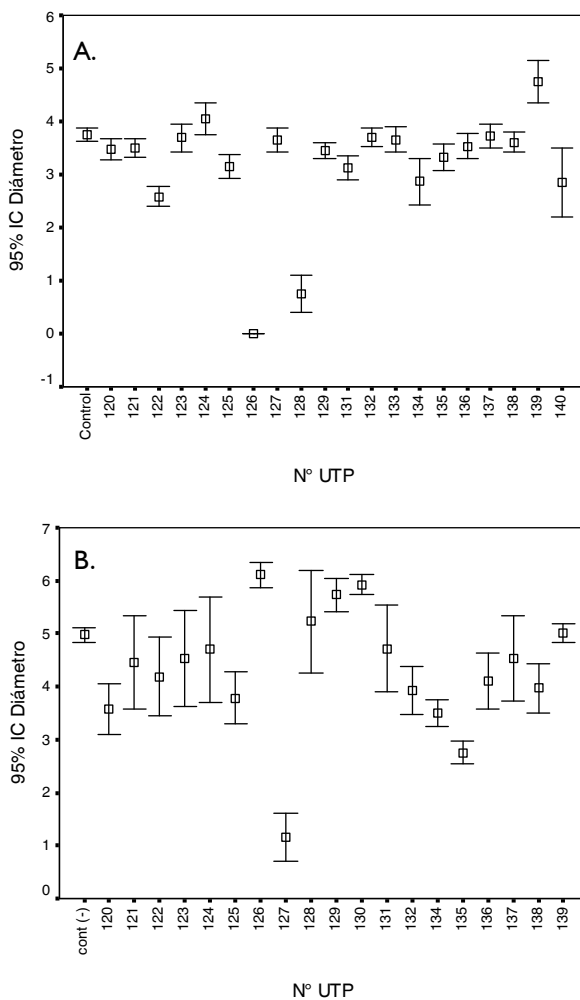


Figura 3. Efecto de los extractos metanólicos (A) y de diclorometano (B) sobre el crecimiento del micelio de *M. fijiensis* en el día 20. (Las barras corresponden al error estándar)

Al comparar los dos bioensayos, el de elongación del tubo germinativo (fase sexual) con el de crecimiento radial del micelio (fase asexual), se puede concluir que ninguno de los extractos metanólicos presentó inhibición simultánea contra el hongo *M. fijiensis*, en ambas fases del ciclo reproductivo estudiadas. En contraste, los extractos de diclorometano de *Acalypha diversifolia* (UTP-126), *Critoniella acuminata* (UTP-127) y *Lepidaploa lehmannii* (UTP-135) sí inhibieron el crecimiento

de *M. fijiensis* en sus dos fases del ciclo reproductivo. Más aún, los valores de inhibición de los extractos de diclorometano de estas especies fueron muy altos, lo cual permitió visualizarlos como promisorios y candidatos para su valoración en campo contra la SN, así como para la realización de futuros fraccionamientos cromatográficos, que permitan la elucidación estructural de los compuestos responsables de estas actividades.

Los resultados de esta investigación, permiten determinar que existen nuevas especies pertenecientes a la flora regional, que poseen actividad antifúngica contra *M. fijiensis* en ambas fases del ciclo de reproducción, diferentes a las reportadas previamente en la literatura, lo cual abre las posibilidades para el descubrimiento de biopreparados y/o moléculas que contribuyan al control efectivo de esta devastadora enfermedad.

Conclusiones

Se encontraron 13 extractos con actividad antifúngica contra *M. fijiensis* en su fase de reproducción sexual, con un porcentaje de inhibición superior al 70%; de los cuales 3 fueron metanólicos pertenecientes a las especies, *S. acerifolium* (UTP-120), *Solanum* sp (UTP-129), *Cestrum* sp. (UTP-137) y 10 de diclorometano correspondientes a las especies *S. acerifolium* (UTP 120), *Cestrum* sp (UTP 137), *Cynanchum* sp. (UTP-123), *A. diversifolia* (UTP-126), *C. acuminata* (UTP-127), *Solanum* sp (UTP-129), *T. baccata* (UTP-133), *L. lehmannii* (UTP-135), *M. lloensis* (UTP-136) y *O. cordifolium* (UTP-139).

Además, se encontraron 4 extractos con actividad antifúngica contra *M. fijiensis* en su fase de reproducción asexual; de los cuales 2 fueron metanólicos, pertenecientes a las especies *A. diversifolia* (UTP-126) y *A. calophylla* (UTP-128) y 2 fueron de diclorometano, correspondientes a las especies *L. lehmannii* (UTP-135) y *C. acuminata* (UTP-127), respectivamente; los últimos dos extractos son promisorios para el control de la Sigatoka negra porque fueron capaces de inhibir el crecimiento del hongo en ambas fases del ciclo reproductivo estudiadas *in vitro*.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) por conceder el permiso de recolección de los materiales vegetales. Así mismo, al profesor Francisco Javier Roldan curador del Herbario de la Universidad de Antioquia por la identificación taxonómica de las plantas y a COLCIENCIAS y a la Universidad Tecnológica de Pereira por la financiación parcial del proyecto.

Referencias

Alexopoulos C.J., Mims, C.W. 1979: Introductory Mycology. 3rd edition, John Wiley and Sons, New York, USA.

Augura 2000: Carta informativa Augura (Colombia). Boletín No 219, Medellín, Augura. p18.

Belalcázar S. 1991: El cultivo de plátano en trópico. Manual de Asistencia Técnica No 50. ICA-CIID-Comité Departamental de Cafeteros del Quindío-INIBAP-LAC. 376p.

Beresford R., Pak H., Brown G., Follas G., Hagerty G. 1999: Strategies avoid resistance development to strobilurin and related fungicides in New Zeland. Prociding The 52th N.Z. Plant Protection Conf. 179-181.

Borris R.P. 1996: Natural Products Resarch: perspectives from a major pharmaceutical company. Journal of Ethnopharmacology. 51: 29-38.

Carrero C., Cedeño L., Quintero K. 2001: Monitoreo de la resistencia de *Mycosphaerella fijiensis* a benomil, en plantaciones de plátano Hartón ubicadas al sur del lago de Maracaibo, Venezuela. Revista Forestal Venezolana 45: 213-218.

Craenen K. 1998: Black sigatoka diseases of banana and plantain. A reference manual. IITA. Ibadan, Nigeria pp 60.

Du Pont 1983: Black and Yellow sigatokas: Improved identification and managment techniques. Florida. U.S.: Du Pont Latin America, Coral Gables. 17p.

Guzmán M. 2006: Estado actual y perspectivas futuras del manejo de la Sigatoka negra en América Latina. En: XVII Reunión Internacional da Associação para a Cooperaçao nas Pesquisas sobre Banana no Caribe e na América Tropical. 15-20 de octubre de 2006-Joinville-Santa Catarina-Brasil. ACORBAT 2006, pp 83.

Instituto Alexander von Humboldt 1998: Colombia biodiversidad siglo XXI: propuesta técnica para la formulación de un plan de acción nacional en biodiversidad. Instituto Humboldt, Ministerio del Medio Ambiente, Departamento Nacional de Planeación. Bogotá.

Jiménez M.I., Bermeo J., Marqués E., Cañarte S., Escalada J., Rodríguez H., Ruiz O., Ruiz J., Swennen R. 2006: Contribución al conocimiento entre la nutrición del banano (*Musa AAA*) y el desarrollo de *Mycosphaerella fijiensis*, agente causal de la Sigatoka negra. En: CORBANA-INIBAP-MUSALAC. Manejo integrado de la Sigatoka negra en banano y plátano en América Latina y el Caribe. Resúmenes, Congreso Internacional, San José, Costa Rica, 21-23 de Marzo. pp 60.

Mahmoud Y.A.G., Ebrahim M.K.H., Aly M.M. 2004: Influence o some plant extracts and microbioagents on some physiological traits of Faba bean infected with *Botrytis favaceae*. Turkish Journal of Botany 28: 519-528.

Marín O., Villadiego M., Barrera J. 2006: Evaluación de extractos vegetales para el control de *Mycosphaerella fijiensis*, en plátano Hartón (*Musa AAB*) en Córdoba-Colombia. En: XVII Reunião Internacional da Associação para a Cooperação nas Pesquisas sobre Banana no Caribe e na América Tropical. ACORBAT. Joinville, Santa Catarina, Brasil. 569-571 p.

Meredith D.S., Lawrence J.S. 1969: Black leaf streak disease of bananas (*Mycosphaerella fijiensis*): symptoms of disease in Hawaii, and notes on conidial state of the causal fungus. Transactions of British Mycological Society. 52: 459-476.

Morinaga, H., Yanase T., Nomura M., Okabe T., Goto K., Harada N., Nawata H. 2004: A benzimidazole fungicide, benomyl, and its metabolite, carbendazim, induce aromatase activity in a human ovarian granulose-like tumor cell line (KGN). Endocrinology. 145: 1860-1869.

Mourichon X., Fullerton R.A. 1990: Geographical distribution of the two species *Mycosphaerella musicola* Leach (*Cercospora musae*) and *M. fijiensis* Morelet (*C. fijiensis*), respectively agents of sigatoka disease and black leaf streak disease in bananas and plantains. Fruits. 45: 213-218.

Niño J., Correa Y.M., Mosquera O.M. 2006: Antibacterial, antifungal, and cytotoxic Activities of 11 Solanaceae plants from Colombian biodiversity. Pharmaceutical Biology. 44: 1-5.

Okigbo R.N., Emoghene A.O. 2004: Antifungal activity of leaf extracts of some plant species on *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, the causal organism of black sigatoka disease in banana (*Musa acuminata*). Kmitl Science Journal. 4: 20-31.

Orozco-Santos M., Farias-Larios J., Manzano-Sanchez G., Guzman-Gonzalez S. 2001: Black Sigatoka disease (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), In Mexico. Infomusa. 10: 33-37.

Orosio G.P.S. 2006: Evaluación de hongos endofíticos y extractos botánicos para el control de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en banano. Tesis Magister. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 73p.

Pasberg-Gauhl C., Gauhl F. 2006: Epidemiología de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) e interacción hospedero-patógeno. En: CORBANA-INIBAP-

MUSALA. Manejo integrado de la Sigatoka negra en banano y plátano en América Latina y el Caribe. Resúmenes, Congreso Internacional, San José, Costa Rica, 21-23 de Marzo. pp 24.

Peláez J.E., Vásquez L.E., Díaz T.J., Castañeda D.A., Rodríguez E., Arango R.E. 2006: Use of micro tittle plate dilution assay to measure activity of antifungal compounds against *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín* 59: 3425-3433.

Stover R.H. 1980: Sigatoka leaf spots of bananas and plantains. *Plant Disease*. 64: 750-755.

Wagner H., Bladt S. 1996: *Plant Drug Analysis. A thin layer chromatography atlas.* 2a Edition Springer-Verlag, Berlin, Germany.



Efecto de los Sistemas Productivos Sobre la Calidad del Agua y la Diversidad en Ríos de la Ecorregión Cafetera



Fondo.

Paisaje Cuenca del río La Vieja.

Fotografía: Mauricio Echeverry

Foto 1.

Desarrollo del muestreo limnológico

Foto 2.

Microfotografía de barrido de *Terpsinoe musica* (Bacillariophyceae)

Fotografías 1,2: Carlos Rivera

Foto 3.

Recolección de muestras para análisis de comunidades microbianas.

Fotografía 3: Sandra Baena

Efecto de los Sistemas Productivos Sobre la Calidad del Agua y la Diversidad en Ríos de la Ecorregión Cafetera

Rivera-Rondón, C^{1*}, Valderrama, L.T.², Baena, S.², Prada-Pedrerros, S¹, Chará, J.³, Valdés, C¹, Díaz, Y.², Gomez, M.², Muñoz, S.², Pedraza, E.¹, Perez-Mayorga, A¹, Giraldo, L.³

Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos, CIEBREG.

¹ Profesor Pontificia Universidad Javeriana, Unidad de Ecología y Sistemática.
e-mail: crivera@javeriana.edu.co

² Profesora Pontificia Universidad Javeriana, Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental

³ Investigador Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria –CIPAV

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia

Abstract

A study was carried out in order to determine the diversity of the aquatic ecosystems of the coffee belt region in Colombia, and to evaluate the impact of the human activities (production systems) on the diversity and function of these ecosystems. Eighteen streams were sampled (nine in La Vieja and nine in Otún catchment) during the dry and rainy season of 2006. The following production systems were evaluated: Agriculture, Beef Cattle Farming, Dairy Cattle Farming (La Vieja catchment) and Agriculture, Planted Forests, Native Forests (Otún catchment). According to NSFQ, water quality ranged between “Fair” and “Good” scores for all production systems. In La Vieja, Beef Cattle Farming turned out to be the one with the lowest water quality, while Dairy Cattle Farming, the one with the highest. In Otún the production system with the poorest water quality was Agriculture. Since they have better protected streams, the two remained systems (Planted and Native Forests) reached better water quality scores. Production systems seem to generate two main processes that affect streams and biodiversity: erosion and eutrophication, which produces a total solids and a nutrient gradient, respectively, in the streams. All the taxonomic groups showed an important diversity, no matter the stream or the production system studied; however, these groups presented patterns of spatial and temporal variation no necessarily related to the productive systems. The present study is the first step toward the identification of ecological communities that could serve in the future as biomonitors of the aquatic ecosystems in the coffee belt region in Colombia.

Keywords: biological diversity, eutrophication, erosion, productive systems, rivers.

Resumen

Se llevo a cabo un estudio con el propósito de determinar la diversidad de los ecosistemas acuáticos de la región cafetera en Colombia, y evaluar el impacto de las actividades humanas (sistemas productivos) sobre la diversidad y funcionalidad de estos ecosistemas. Dieciocho quebradas fueron muestreadas (nueve en la cuenca del río La Vieja y nueve en la cuenca del río Otún) durante la temporada seca y de lluvia del año 2006. Los siguientes sistemas productivos fueron evaluados Agricultura, Fincas con ganado para carne y fincas con ganado para leche (Cuenca del río La Vieja) y agricultura, plantaciones forestales y bosque natural (cuenca del río Otún) de acuerdo al NSF1, la puntuación de la calidad del agua para todos los sistemas productivos ubicados entre “limpio y “bueno”. En la cuenca del río la vieja las fincas con ganado para carne resulto ser el sistema productivo con la más baja calidad del agua, mientras que las fincas con ganado para leche el sistema productivo con la más alta. En la cuenca del río otún el sistema productivo con la calidad de agua más pobre fue la agricultura. Ya que tienen quebradas mejor protegidas los dos sistemas restantes (bosque plantado y natural) alcanzaron mejores puntajes de calidad de agua. Los procesos productivos parecen producir dos procesos principales que afectan a las quebradas: Erosión y eutroficación, los cuales producen sólidos totales y un gradiente de nutrientes respectivamente en las quebradas. Todos los grupos taxonómicos mostraron una diversidad importante sin importar la quebrada o sistema productivo estudiado; sin embargo, estos grupos presentan patrones de variación espacial y temporal no necesariamente relacionados con los sistemas productivos. El presente estudio es el primer paso hacia la identificación de comunidades ecológicas que podrían servir en el futuro como biomonitores de los ecosistemas acuáticos en la región cafetera de Colombia.

Palabras Clave: diversidad biológica, erosión, eutroficación, ríos, sistemas de producción

Introducción

Uno de los componentes claves de la biodiversidad en la Ecorregión Cafetera son los ecosistemas acuáticos. De la funcionalidad ecológica de estos ecosistemas -modulación del clima, regulación de caudales, y captura, translocación y transformación de diferentes sustancias contaminantes provenientes de las cuencas- y de su biodiversidad -microalgas, macrófitas, peces, microorganismos, macroinvertebrados- dependen dos de los servicios ambientales más importantes para los sistemas productivos de la región: la calidad y la disponibilidad de agua.

Paradójicamente estos mismos sistemas productivos impactan negativamente la funcionalidad y biodiversidad de los ecosistemas acuáticos, y deterioran por tanto los servicios ambientales derivados de ellos: la alta densidad de la población humana y la intensa transformación que han sufrido los paisajes naturales como consecuencia del desarrollo de las actividades humanas, hacen de ésta una de las regiones de Colombia con mayor presión sobre los ecosistemas acuáticos (IDEAM, 2001). Se calcula que el 48% de la población de la región es altamente susceptible a problemas de abastecimiento de agua (CARDER, 2004), y la calidad del agua en la región se ve afectada por el vertimiento de desechos domésticos y agroindustriales y los deficientes tratamientos de aguas residuales (Amaya *et al.* 2005).

Es necesario, por tanto, estudiar la diversidad y funcionalidad de los ecosistemas acuáticos de la Ecorregión Cafetera, con el fin de evaluar el impacto de las actividades antrópicas en ellos, y las consecuencias de estos impactos en la calidad y disponibilidad del agua. Esto permitiría también desarrollar herramientas de monitoreo del estado de estos sistemas y contribuiría a establecer en el futuro un programa de valoración económica de los bienes y servicios ambientales derivados de ellos.

De acuerdo con lo anterior, el presente trabajo pretende resolver las siguientes preguntas: ¿Cuál es el efecto de los sistemas productivos sobre la calidad del agua en la Ecorregión Cafetera? y ¿Cuál es el efecto de los sistemas productivos sobre la diversidad de los ecosistemas acuáticos de la región? Los objetivos del estudio fueron: a. Determinar el impacto de los diferentes sistemas productivos de la región en la calidad del agua. b. Determinar el impacto de los diferentes sistemas productivos en la estructura y dinámica de las comunidades biológicas de los ecosistemas acuáticos de la región.

Para el desarrollo de esta investigación se partió de dos hipótesis: la primera es que los sistemas productivos de la Ecorregión Eje Cafetero tienen un efecto diferencial en la calidad del agua de los ecosistemas acuáticos; la segunda, que las características del cauce y del agua misma, así como sus comunidades biológicas reflejan el impacto que tienen los diferentes sistemas productivos en estos ecosistemas.

Materiales y Métodos

Área de Estudio

El muestreo se realizó en las épocas de transición a sequía (julio) e inicio de lluvias (noviembre) del año 2006, en nueve ríos pertenecientes a la cuenca del río La Vieja y nueve de la cuenca del río Otún (Cuadro 1). Los ríos y puntos de muestreo en cada cuenca fueron escogidos considerando la accesibilidad, el uso del suelo predominante y la cobertura como expresiones visibles del sistema

de producción. La selección consideró ríos de primer orden que están afectados por las actividades de un solo sistema productivo (SP). Cada uno de los ríos seleccionados fue muestreado en un solo tramo de 100 a 500 m de longitud, en las dos épocas.

Cuadro I. Ubicación geográfica de los pequeños ríos estudiados.

Cuenca	Sistema productivo	Río	N	W	Altitud (m)
La Vieja	Agricultura	Santa Bárbara	4°35'43.0"	75°46'54.2"	1261
		La Sonora	4°41'54.5"	75°45'36.1"	1285
		La Comarca	4°41'44.4"	75°46'23.2"	1226
	Ganadería para Leche	El Descanso	4°40'51.3"	75°44'51.5"	1346
		Tesalia Baja	4°35'23.0"	75°40'11.1"	1602
		Villa Ximena	4°35'54.8"	75°39'58.1"	1628
		Tierra Labrantía	4°39'10.1"	75°48'32.1"	1145
		Porvenir	4°41'18.7"	75°48'46.8"	1203
		La Floresta	4°35'11.2"	75°49'43.1"	1195
	Agricultura	Isabela	4°45'58.2"	75°36'48.2"	1712
		El Manzano	4°45'32.9"	75°36'52.7"	1716
		Eustaquio	4°46'21.8"	75°36'42.7"	1741
Otún	Plantación Forestal	La Cascada	4°46'25.7"	75°36'27.8"	1753
		Las Peñas	4°45'55.7"	75°36'33.1"	1714
		Lizbrán	4°44'41.9"	75°35'2.7"	1867
	Playa Rica	4°45'35.8"	75°36'2.8"	1738	
	Reserva Forestal	El Cedral	4°42'42.7"	75°33'6.6"	2047
		La Aurora	4°43'0.1"	75°33'36.7"	2017

En la cuenca del río La Vieja se muestrearon los tres sistemas productivos dominantes: Agricultura, que comprende cultivos mixtos de plátano, cítricos y café, y que son las coberturas predominantes en las riberas; Ganadería para Carne, que tiene pastizales como cobertura dominante y que suelen invadir el cauce de los ríos, y en el cual ocasionalmente pueden existir en las riberas pequeños guaduales o fragmentos de bosque; finalmente, el SP Ganadería para Leche, conformado por fincas con pastos mejorados y ríos con franjas de vegetación arbórea nativa a modo de corredores riparios.

En la cuenca del Otún se estudiaron ríos en dos sistemas productivos: el primero, Agricultura, dominado por Cultivos Mixtos de cebolla y hierbas aromáticas, siendo éstas las coberturas predominantes de las riberas; el segundo, Plantación Forestal, está representado por plantaciones de ciprés, pino y eucalipto, con presencia frecuente de pastizales en las riberas de los ríos. En esta misma cuenca se muestreó en áreas protegidas en donde predomina la cobertura de Reserva Forestal, constituida por bosques muy húmedos secundarios, por entre los cuales transcurren las corrientes muestreadas.

Variables Físico-Químicas Evaluadas

En cada río se midieron *in situ* pH, conductividad (sonda OAKTON), O₂ y temperatura del agua (YSI 52). Se colectaron muestras de agua para analizar Alcalinidad (titulación H₂SO₄), Coliformes Totales (filtración por membrana),

E. coli (filtración por membrana), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO, incubación 5 días, electrometría), turbiedad (nefelometría), silicatos (colorimetría–molibdosilicato), fósforo total (PT, colorimetría–cloruro estañoso), fósforo reactivo soluble (PRS, colorimétrico–cloruro estañoso), nitrógeno amoniacal (NH_4 , colorimetría–nesslerización), nitratos (NO_3 , colorimetría), nitritos (NO_2 , colorimetría–NEDA), sólidos suspendidos totales (SS, titulación DPD–FAS), sólidos totales (ST, gravimetría), color (comparación con patrón) y nitrógeno total (NT, titulación H_2SO_4). Además, se tomaron datos morfométricos e hidrológicos referentes al ancho del canal, profundidad máxima y velocidad de la corriente (corrientómetro Global Water), con lo cual se calculó el caudal de cada río. Se determinó el porcentaje de cobertura riparia (0% ausente, 0-25% escasa, 25-50% parcial, 50-100% completa) y el tipo de sustrato, que varió entre fino (limoso y arenoso), rocoso y mixto (sedimento fino, grava particulada y roca).

Para determinar la calidad del agua se calculó el índice NSFÍ (National Science Foundation Index) (Irving *et al.* 2005), el cual utiliza los parámetros DBO, temperatura, turbidez, pH, oxígeno disuelto, coliformes fecales, fosfatos, nitratos y sólidos disueltos totales. La escala de valores del índice es de 0 a 100, con las siguientes calificaciones: Excelente: 91-100; Buena: 71-90; Regular: 51-70; Deficiente: 26-50; Mala: 0-25. Para cuantificar la diversidad se seleccionó un transecto de 100m en cada riachuelo y se estudió en cada uno de los transectos la estructura y dinámica de las comunidades de microorganismos (Bacteria, Archaea y algas), macrófitas, macroinvertebrados y peces.

Evaluación de Microorganismos (Algas y Bacterias)

Para la recolección de muestras de Bacteria y Archaea se establecieron transectos cada seis metros con seis réplicas en cada uno, obteniéndose una submuestra por cada transecto. En total se obtuvieron seis submuestras, que se mezclaron para obtener una muestra integrada. El estudio de los microorganismos se realizó utilizando métodos independientes de cultivo basados en el análisis de la subunidad pequeña del 16S rRNA, que incluye técnicas de huella genética (Electroforesis en Gel de Gradiente Denaturante, DGGE) para la evaluación de la dinámica de las poblaciones microbianas, e hibridación *in situ* con fluorescencia (FISH) para el conteo de grupos microbianos particulares.

Para la colecta de diatomeas se definió un transecto de cerca de 20 veces el ancho del río. Cada transecto fue dividido en 6 intervalos de igual longitud en los que se tomaron muestras en dos tipos de hábitats (deposicionales y erosivos). El sustrato de muestreo varió entre fino (limoso, arenoso) y rocoso, dependiendo de las morfología del lecho de cada río. En los ríos en los cuales se observaron plantas acuáticas también se tomó una muestra sobre este sustrato. Para estudiar la algas adheridas a sustratos se tomaron rocas al azar en los seis intervalos siguiendo la metodología propuesta por Díaz & Rivera-Rondón (2004). Para estudiar las algas en los sustratos finos se utilizó una jeringa de 60 ml siguiendo las recomendaciones

de Pan *et al.* (1996). El ensamblaje adherido a la vegetación fue colectado mediante estrujamiento de las plantas y raspado sobre raíces. Todas las muestras fueron preservadas con formalina al 1%. Las diatomeas fueron limpiadas con el método de oxidación y las frústulas fueron montadas en Naphrax. Se contaron 500 valvas de diatomeas por muestreo a 1000x y las especies se determinaron con claves especializadas.

Evaluación de Macrófitas

Para los muestreos de vegetación acuática vascular se eligió en cada quebrada un tramo de 100 m en donde la presencia de macrófitas fuera evidente. Dependiendo de la densidad de la vegetación se empleó el método de punto transecto, consistente en un tramo de 10 m marcado cada 20 cm, o el método de cuadrante de 50 cm x 50 cm (Kent & Coker 1992). En ambos casos se registró la frecuencia de aparición de la vegetación. El material colectado fue posteriormente preservado e identificado y almacenado en el herbario de la Universidad Javeriana.

Evaluación de Macroinvertebrados

Para la evaluación de macroinvertebrados se seleccionó un tramo de 100 m. Se utilizó una red tipo D de 500 μm de ojo de malla con la cual se realizaron 20 arrastres de los hábitats más representativos en proporción a su ocurrencia. Los hábitats muestreados fueron piedras, vegetación en el cauce, piscinas y hojarasca, entre otros. Los macroinvertebrados fueron separados en el campo y preservados en alcohol para su posterior identificación. En el laboratorio se identificaron hasta nivel de familia con la ayuda de un estereoscopio con aumento entre 10 y 40X. La información obtenida fue analizada por orden taxonómico y utilizando índices bióticos comunes (Barbour *et al.* 1999, Chará 2004).

Evaluación de Peces

Los muestreos de la comunidad íctica se realizaron con electropesca; el equipo consta de un generador Honda a gasolina, de potencia máxima de 2 KW, potencia de salida de 1,6 KW, voltaje de 120 V y frecuencia de 60 s.f.; un cátodo (rejilla metálica de 32 x 33 cm.); un ánodo (nasa) que consta de un aro de diámetro interno de 46 cm y externo de 49 cm malla de 90 cm de largo, ojo de malla de 1mm, mango de 115 cm y cable de 50 m. El muestreo se estandarizó en cada punto seleccionado haciendo barridos a lo largo de 50 m durante una hora. Los peces capturados con la nasa fueron depositados en bolsas etiquetadas y con formol al 10%. Los ejemplares fueron determinados mediante claves taxonómicas especializadas y colocados en frascos con alcohol al 70%.

Análisis de la Información

Para cada una de las comunidades estudiadas se realizó un análisis ecológico calculando la riqueza de especies (S), el índice de dominancia de Simpson (1/D),

el índice de diversidad de Shannon (H' en base e) y la equitatividad de Pielou (E_p), siguiendo las recomendaciones de Magurran (1989). Los valores fueron comparados descriptivamente mediante la mediana y el rango de los datos. Para resumir las correlaciones entre las variables físicas y químicas y la diversidad se utilizó un Análisis de Componentes Principales (ACP).

Resultados y Discusión

Calidad del agua y variabilidad fisicoquímica, microbiológica e hidrológica

Los valores de las variables estudiadas aparecen en la Tabla 2. Los ríos estudiados presentaron pH con una tendencia neutra y débilmente básica, a excepción de los ríos del sistema productivo Ganadería para Leche, que presentaron valores de pH débilmente ácido (Tabla 2). De acuerdo con el índice NSF1, todos los ríos presentaron aguas de calidad entre Buena y Regular, con coliformes fecales < 1000 UFC/100 ml y DBO < 4 mg/l. Los valores de conductividad se encuentran entre los rangos reportados para otros ríos andinos de bajo orden (Martínez & Donato 2003, Díaz & Rivera-Rondón 2004) y son más altos en ríos del sistema productivo Ganadería para Carne. El caudal osciló entre 0.001 y 0.8 m³/s y los valores promedio más altos se presentaron en ríos de los SP Plantación Forestal y Agricultura; los caudales promedio más bajos se observaron en ríos de los sistemas productivos Ganadería para Carne y Ganadería para Leche.

Cuadro 2. Valores promedio y rangos de las principales variables fisicoquímicas, microbiológicas e hidrológicas de los diferentes sistemas de producción en las cuencas de La Vieja y Otún.

Variable	Agricultura	Ganadería Carne	Ganadería Leche	Plantación Forestal	Bosque Natural
pH	7.1 6.1-7.8	6.6 6.1-7.36	7.3 7-7.5	7.4 6.9-8.05	7.3 7-7.6
Oxígeno (% sat)	92.8 72.2-104.5	62.5 36.6-98.9	91.6 86.3-94.9	102.5 93.9-122.1	100.4 95.3-104.6
Conductividad (μS/cm)	98.5 58.5-160	154.7 116-210	62.5 48.9-76	60.7 35-78	56.9 34.7-89.6
Caudal (m ³ /s)	0.153 0.001-0.848	0.026 0.01-0.057	0.038 0.0031-0.085	0.206 0.0069-0.548	0.094 0.0047-0.37
NH ₄ (mg/l N)	0.09 0.01-0.18	0.09 0.01-0.15	0.10 0.04-0.15	0.10 0.05-0.15	0.13 0.05-0.18
NO ₃ (mg/l N)	1.72 0.05-10.56	0.34 0.1-0.75	0.16 0.05-0.44	0.05 0.05-0.05	0.05 0.05-0.05
PO ₄ (mg/l PO ₄)	0.19 0.02-0.63	0.13 0.1-0.2	0.06 0.02-0.14	0.10 0.03-0.19	0.11 0.05-0.19
Turbiedad (UNT)	4.2 1.5-9	7.1 3.1-14	2.5 2-2.7	2.1 0.8-4.4	1.8 0.7-2.5
Sólidos Totales (mg/l)	66.3 36-124	97.3 72-132	42.5 24-80	44.9 16-92	37.6 16-58
Alcalin. (mg/l CaCO ₃)	28.7 18-40	54.3 42-64	22.5 18-28	30.9 24-38	29.6 20-44
N Total (mg/l N)	1.31 0.56-5.6	1.68 0.56-3.92	1.26 0.56-2.8	1.74 0.56-5	2.12 0.56-3.92
P Total (mg/l P)	0.082 0.01-0.25	0.057 0.043-0.079	0.026 0.008-0.06	0.045 0.02-0.079	0.050 0.02-0.07
Colif. Tot (UFC/100 ml)	25650 4700-63000	23483 6100-48000	12800 7200-17000	7788 3100-22000	24000 4700-46000
<i>E. coli</i> (UFC/100 ml)	645 80-1700	183 80-380	397 230-670	334 30-1200	246 60-880

En la Figura 1 se presenta el índice de calidad de aguas NSFÍ calculado para los ríos estudiados en la Ecorregión Cafetera. El índice osciló entre Regular y Bueno en todos los sistemas productivos. En la cuenca del río La Vieja, el sistema con mayor calidad de agua fue Ganadería para Leche y el de menor calidad, Ganadería para Carne. Esto puede explicarse por la baja cobertura riparia en las fincas de este sistema, su reemplazo por pastos, y la práctica de permitir el libre acceso del ganado a la quebrada de las fincas. En el Otún el sistema con más baja calidad de agua fue Cultivos Mixtos, mientras que los ríos de los otros dos SP, mejor protegidos, presentaron una mejor calidad.

La ordenación realizada con el ACP (Figura 2), indicó que un primer gradiente en la variabilidad química de los ríos fue determinado por diferencias entre los sistemas productivos, en donde Ganadería para Carne y Agricultura presentaron una mayor turbiedad, conductividad, ST, NO₃, PO₄, PT y una baja concentración de oxígeno. Los sistemas productivos Ganadería para Leche, Plantación Forestal y Reserva Forestal presentaron aguas con valores más altos de color, oxígeno y NH₄. Este primer gradiente sugiere que diferencias en el grado de protección del suelo de cada sistema productivo tienen un impacto sobre la composición química del agua.

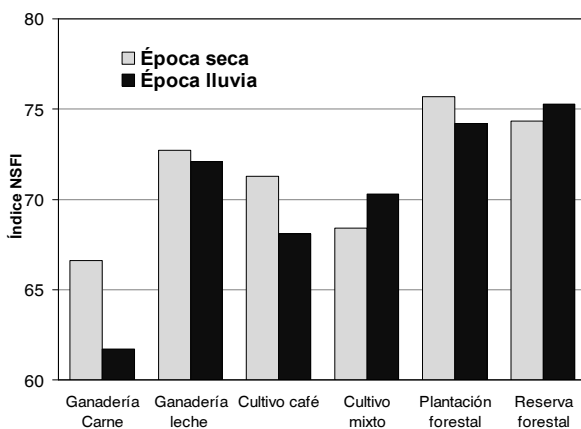


Figura 1. Índice de calidad de aguas NSFÍ, calculado para los ríos de la Ecorregión Cafetera

Las condiciones de la cuenca a través de la cual transcurre un río tienen un efecto sobre la calidad del agua y la estructura de las comunidades bióticas (Almeida & Gil 2001, Kelly 2003, Pan *et al.* 1996). Las características de la cobertura vegetal en la ribera pueden reducir la llegada de sedimentos y nutrientes desde la cuenca (Meador & Goldstain 2003), por lo que los impactos del uso del suelo pueden ser atenuados cuando la ronda del río tiene algún nivel de protección (Chará 2003).

Un segundo gradiente (segundo eje del modelo), fue generado por la estacionalidad climática y por diferencias en la concentración de nutrientes, que están asociadas

a cambios en el caudal y en la concentración de NT, NO₃, PO₄, PT y SiO₂. El segundo eje sugiere que los ríos también presentaron una variabilidad debida al proceso de eutroficación: El sistema productivo Agricultura presentó una mayor variabilidad fisicoquímica asociada a este eje.

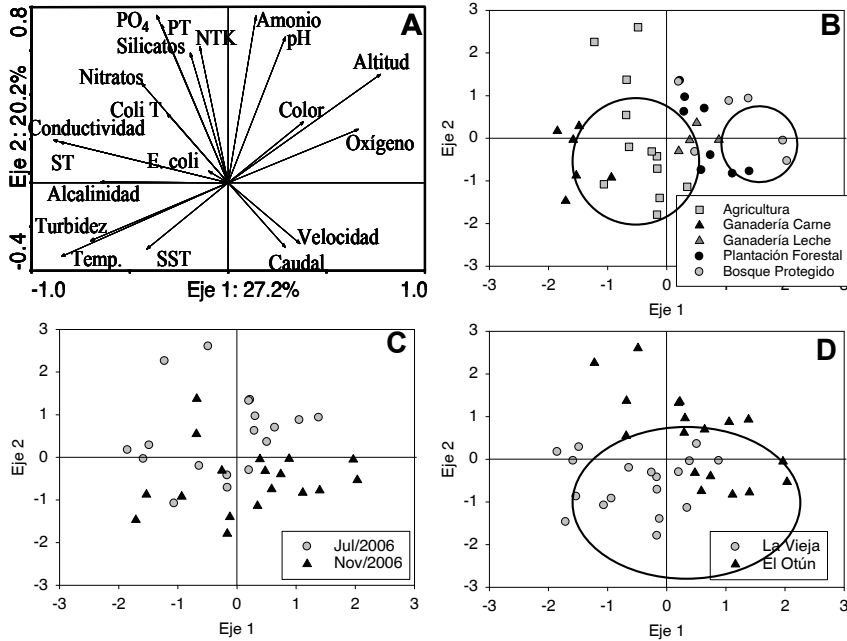


Figura 2. Ordenación de las variables fisicoquímicas, microbiológicas e hidrológicas en los dos primeros ejes del análisis de Componentes Principales (A). ordenación de los ríos según el sistema de producción (b), el periodo de muestreo (c) y la cuenca (D).

Estructura de las comunidades acuáticas

En la Figura 3 aparecen los valores de diversidad, equitatividad, riqueza y abundancia de todas las comunidades estudiadas en relación con los sistemas productivos. Existe una diversidad importante de los grupos estudiados en los ríos de todos los sistemas productivos evaluados, incluso en los que podría suponerse un mayor impacto y transformación de los paisajes naturales, como en los SP Ganadería para Carne y Cultivos Mixtos. Esto puede observarse con el índice de diversidad de Shannon, que es en general más alto en la cuenca del río La Vieja, que está más intervenida, que la del Otún.

Sin embargo, al interior de cada sistema productivo no se presenta el mismo patrón de respuesta de las diferentes comunidades estudiadas. Así, por ejemplo, en la cuenca del Otún se registró una mayor diversidad de microorganismos y macrófitas en los ríos del SP Cultivos Mixtos, pero la mayor diversidad de peces se registró en el SP Plantación Forestal. En la cuenca de La Vieja, el SP Ganadería

para Leche presentó la menor diversidad de Shannon para todos los grupos a excepción de los invertebrados. Las diatomeas, Bacteria y Archaea presentaron una tendencia hacia valores más altos de diversidad en los sistemas sometidos a una mayor concentración de nutrientes y mayor arrastre de sólidos (Figura 3). La mayor diversidad de diatomeas en ríos con mayor concentración de sedimentos es reportada en otros sistemas productivos (Naymik et al. 2005). Los ríos de sistemas de Ganadería para Carne y Cultivos Mixtos, presentaron un ensamblaje de diatomeas más diverso, que se relaciona con la baja cobertura de vegetación riparia y la mayor disponibilidad de materia orgánica.

En cuanto a los macroinvertebrados acuáticos, se observó en general una mayor abundancia promedio de macroinvertebrados por muestreo en los ríos del Otún (795 individuos) que en la cuenca del río La Vieja (394 individuos). Los sistemas productivos afectaron la abundancia total, riqueza y diversidad de la comunidad de invertebrados (Figura 3), y la riqueza de familias y abundancia absoluta y relativa de taxones comúnmente evaluados por su sensibilidad a factores de estrés. La riqueza total de familias y de familias de los órdenes Ephemeroptera y Trichoptera, así como el índice de Shannon, fue más alta en ríos de Reserva Forestal y del sistema Forestal. En el sistema productivo de Cultivos Mixtos se presentó la menor riqueza de familias y el menor índice de diversidad. Esta información sugiere que la riqueza de familias de estos órdenes, la diversidad de Shannon y la riqueza total pueden ser usadas como indicadoras del impacto de sistemas productivos en la zona, aunque se deben separar los Cultivos Mixtos agrícolas perennes como el café, de los Cultivos Mixtos transitorios como la cebolla y las aromáticas. La abundancia total de macroinvertebrados fue superior en el sistema productivo Plantación Forestal, principalmente por la abundancia de los órdenes Ephemeroptera y Trichoptera.

Las macrófitas acuáticas no responden a los gradientes químicos generados por los sistemas productivos, sino, probablemente, a las características del relieve por las que transcurre el río y a otras características físicas del hábitat (Kuhar et al. 2007). Se encontró en general una mayor diversidad en la cuenca de La Vieja que en la cuenca del Otún, especialmente en los ríos menor cobertura riparia. Esto puede deberse a las menores pendientes y taludes menos pronunciados en los ríos de La Vieja, y a que las bajas coberturas vegetales de la ribera favorecieron la presencia de gramíneas y de vegetación ruderal. La mayor diversidad en época de lluvias en las dos cuencas puede deberse a condiciones más favorables para la germinación y crecimiento de las plantas, y a la elevación del nivel del agua en los ríos. Las especies más abundantes, fueron *Hydrocotyle ranunculoides*, *Ranunculus flagelliformis*, *Hygrophila guianensis*, *Drimaria cordata*, presentes en ecosistemas acuáticos con diversos grados de eutroficación, y *Pennisetum* sp., *Acmella ciliata*, *Panicum* sp., *Eleuthernanthera ruderalis*, *Brachiaria mutica*, que son vegetación ruderal. Estos resultados indican que la composición de las comunidades de macrófitas en los ríos estudiados obedece a diversos factores, no necesariamente relacionados con las características fisicoquímicas del agua, sino con el tipo de vegetación terrestre y con las características fisonómicas de los ríos.

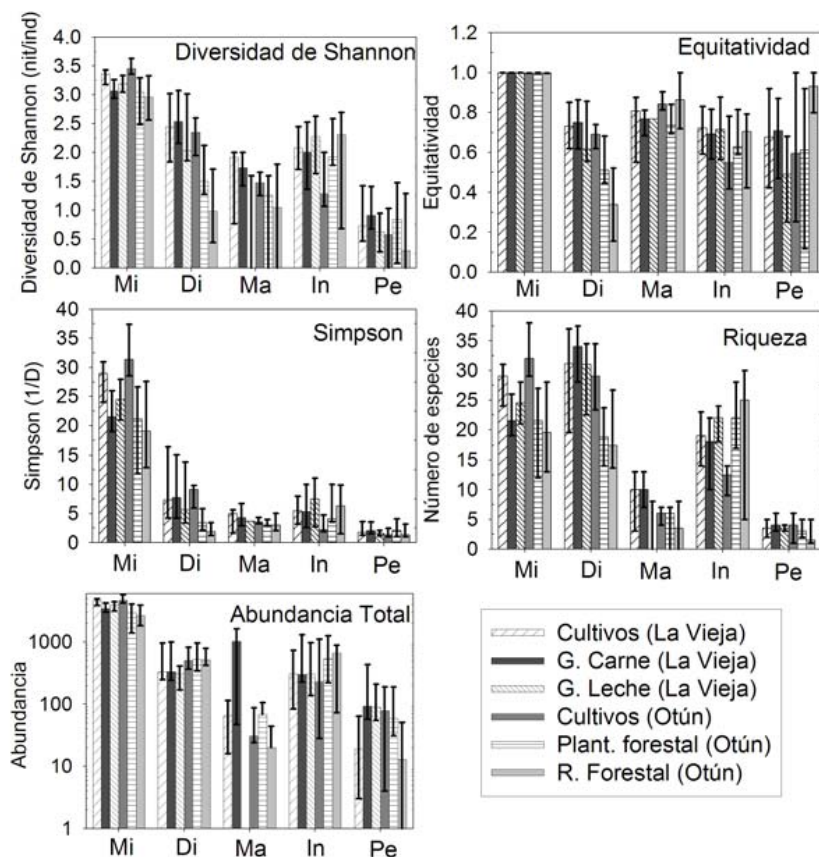


Figura 3. valores de la diversidad de Shannon, equitatividad de pielou, dominancia de Simpson, número de especies (Riqueza) y abundancia total para las comunidades estudiadas en los diferentes sistemas productivos. Las barras representan la mediana y los intervalos los mínimos y máximos. Mi: Microorganismos, Di: Diatomeas, Ma: Macrófitas, In: Invertebrados, Pe: Peces.

Los análisis realizados para evaluar la estructura de comunidades microbianas muestran que los patrones de distribución son más similares entre las muestras de los sistemas productivos Cultivos Mixtos en las dos cuencas. La estructura y la composición de las comunidades microbianas en ambas cuencas están influenciadas por las variables ambientales sólidos totales, fosfatos, amonio, nitrato y coliformes totales. Sin embargo, pueden existir otros factores como el tipo de sustrato, la clase de materia orgánica, interacciones entre bacterias y entre bacterias y algas que no fueron evaluadas en este estudio.

En las comunidades de peces el valor máximo de diversidad de Shannon se presentó en el SP Plantación Forestal; a pesar de haberse encontrado pocas especies (4) en este sistema, sus abundancias fueron similares. Por otra parte,

la mayor riqueza se presentó en el SP Ganadería para Carne y por contraste, la menor diversidad y riqueza se presentó en la Reserva Forestal (Figura 3). Sistemas productivos con escasa cobertura vegetal arbórea o arbustiva y con predominio de herbáceas, como es el caso de Ganadería para Carne, parecen favorecer el establecimiento de perifiton y de macrófitas, aumentando así la productividad primaria y la oferta alimenticia, y proporcionando ambientes de cría y refugio para la comunidad íctica.

Aunque el número de especies de peces colectadas entre épocas es muy similar -9 y 10 para seca y lluvias, respectivamente- la abundancia es mayor en época seca que en la época de lluvias (1871 y 846 individuos capturados respectivamente). Esto puede deberse a la mayor concentración de individuos cuando el cauce disminuye en la época seca. En total se identificaron 14 especies de peces, de las cuales las dos más abundantes fueron *Bryconamericus henni* y *Poecilia reticulata*. Esta última especie es introducida y fue encontrada en los sistemas Ganadería para Carne y Cultivos Mixtos con cebolla. También se encontró la especie introducida *Xiphophorus hellerii*, aunque con baja abundancia.

Carlastyanax aurocaudatus fue la tercera especie de peces más abundante; aunque tiene potencial como pez ornamental, requiere un manejo y control adecuados debido a que es endémica y de hábitat restringido (Maldonado-Ocampo, et al. 2006). En cada sistema productivo *Bryconamericus henni* fue la especie más abundante en las dos épocas, a excepción de *Bryconamericus* sp que fue la más abundante en época seca en los SP Cultivos Mixtos (cebolla) y Plantación Forestal, y *Bryconamericus tolimae*, que fue la más abundante en época de lluvia en Plantación Forestal y Reserva Forestal. *P. reticulata*, *C. aurocaudatus*, *Trichomycterus chapmani* fueron las especies más abundantes en los SP Ganadería para Carne, Ganadería para Leche y Cultivos Mixtos (café), respectivamente, en las dos épocas. *Astroblepus grixalvii* fue la especie más abundante en Reserva Forestal en época seca y *Bryconamericus emperador* lo fue en Cultivos Mixtos (cebolla) en época de lluvia. A pesar de estas diferencias, un análisis de similitud basado en la composición y abundancia indicó que la comunidad de peces de los sistemas productivos fue semejante en más de un 75%.

La estructura de las comunidades de los diferentes grupos estudiados no está relacionada con el índice de calidad de agua (Figuras 1 y 3): la riqueza de peces, por ejemplo, es mayor en Cultivos Mixtos en el Otún, donde el índice de calidad de aguas es el más bajo de la cuenca. Tampoco se observó un patrón que relacione la calidad del agua con la diversidad: en la cuenca del río La Vieja, la riqueza de diatomeas aumenta en el sistema Ganadería para Carne, pero la riqueza de macroinvertebrados y microorganismos disminuye en ese mismo sistema productivo. La diversidad y riqueza de macrófitas es también alta en Ganadería

para Carne y nula en Ganadería para Leche, que presenta la mejor calidad de agua.

Relaciones entre la diversidad de las comunidades y los sistemas productivos

En la Figura 4 se muestra, por medio de una ordenación con un ACP, la relación entre las variables fisicoquímicas y microbiológicas del agua (dependientes de los sistemas productivos) y los índices de diversidad de las sugiere que los índices son consistentes y reflejan la diversidad de las respectivas comunidades. En general cada comunidad fue afectada por un conjunto distinto de factores ambientales.

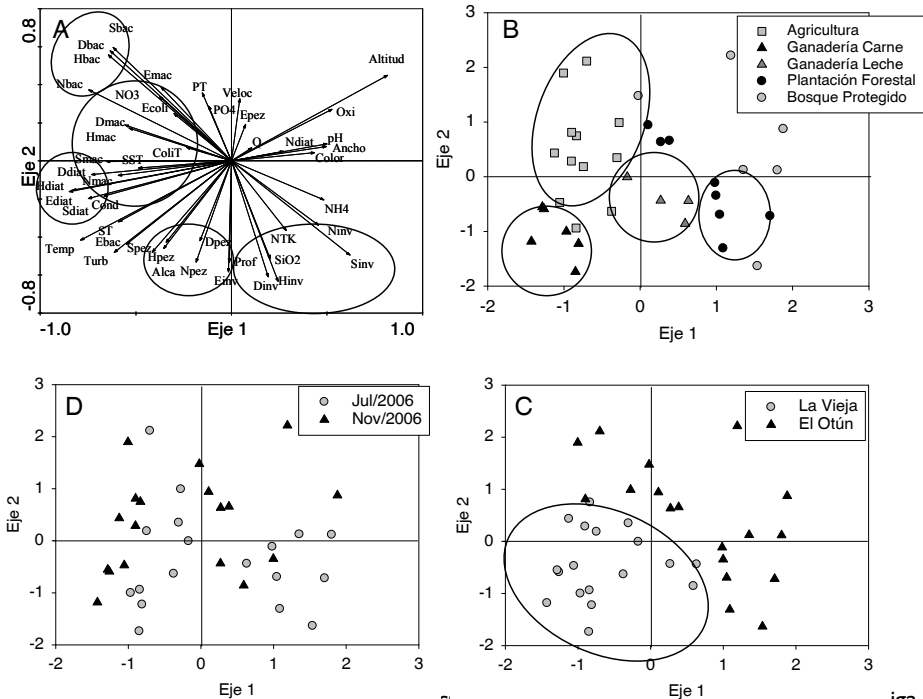


Figura 4. Ordenación de las variables físicas, químicas, microbiológicas y la diversidad ecológica en los dos primeros ejes del Analisis de componentes Principales (A). Ordenación de los ríos según el sistema de producción (B), periodo de muestreo (C) y la cuenca (D) a partir de los índices de diversidad de las comunidades. Para las variables biológicas la primera letra representa el índice ecológico y las tres restantes, la respectiva comunidad. D: Índice de Simpson, H: Shannon, S: Número de especies, N: Abundancia, Bac: Microorganismos, Diat: Diatomeas, Mac: Macrófitas, Inv: Macroinvertebrados y Pez: Peces.

Un estudio más detallado de la comunidad de diatomeas, y no descrito en este documento, mostró que los parámetros que principalmente explicaron la variabilidad de las especies de diatomeas fueron la turbiedad y los sólidos totales. Estas dos variables se relacionan con los impactos de los diferentes sistemas productivos, por lo que el ensamblaje de diatomeas puede ser utilizado para

plantear modelos de la calidad del agua en la Ecorregión. Así, *Synedra capuccina*, *Adlafia minuscula*, *Cymbella tumida*, *Synedra rumpens*, *Melosira varians* y *Mayamaea fosalis* indican bajos valores de turbidez, mientras *Navicula cryptotenella*, *Caloneis bacillum*, *Sellaphora pupula*, *Gyrosigma scalproides* y *Cyclotella meneghiniana* indican valores altos.

Las diatomeas y microorganismos mostraron una tendencia a presentar valores más altos de diversidad en los sistemas sometidos a una mayor concentración de nutrientes y con mayor arrastre de sólidos. En el caso de macrófitas, los parámetros fisicoquímicos no son factores determinantes en la estructura de la comunidad: la mayor diversidad en los sistemas ganaderos podría ser explicada por aspectos físicos de los ríos como la pendiente, el tipo de sustrato y la ausencia de cobertura riparia (Kuhar et al. 2007).

Las comunidades no mostraron un mismo patrón de diversidad según la estacionalidad climática. En el caso de diatomeas y macrófitas las comunidades cambiaron poco de un periodo a otro, sugiriendo que la variación regional es más importante que la variación estacional. Por el contrario, los macroinvertebrados, peces y bacterias presentaron una marcada variación entre periodos indicando una mayor complejidad en la respuesta de estas comunidades.

Aunque la estructura de las distintas comunidades aparece asociada a determinadas propiedades fisicoquímicas o microbiológicas del agua, el efecto de los sistemas productivos sobre dichas comunidades puede ser indirecto, a través de la modificación de las características fisonómicas del hábitat (Allan et al. 1997), o de un amplio espectro de factores que opera en distintas escalas espaciales y temporales. Estos factores son difíciles de identificar debido a la existencia de interdependencia entre ellos, a la covariación entre los gradientes naturales de las cuencas y los causados por el sistema productivo, y a la dificultad de identificar patrones no lineales de variación (Allan 2004). El efecto combinado de todos estos factores determina la gran complejidad del estudio de estos ecosistemas, y constituye un reto para desarrollar modelos de integridad ecológica que permitan monitorear el efecto de los sistemas productivos en los ecosistemas acuáticos del eje cafetero.

Conclusiones

El presente estudio es un primer paso en la identificación de grupos funcionales de organismos acuáticos que responden a factores tensionantes en pequeños ríos de la Ecorregión Cafetera colombiana.

Se identificaron dos factores de mayor orden que muestran el efecto de los sistemas productivos y los corredores riparios en la calidad del agua: el primero es la eutrofización, que puede generar condiciones de bajo oxígeno y acumulación de materia orgánica, y que se asocia con la presencia de algunos grupos especializados de organismos; el segundo, la alta carga de sedimentos ocasionada por la erosión

y la falta de cobertura riparia, que puede afectar también a las comunidades presentes.

Dado que las comunidades acuáticas presentaron distintas respuestas en composición y diversidad ante las variables físicas, químicas y fisonómicas de los ecosistemas estudiados, es necesario profundizar en el estudio de los aspectos biológicos y ecológicos de dichas comunidades, para definir claramente sus relaciones con los sistemas productivos y los factores de perturbación que estos originan. Esto permitiría, en el futuro, la utilización de organismos como indicadores de las condiciones de estos sistemas acuáticos, para el diagnóstico y seguimiento de la calidad de sus aguas, y de los procesos culturales que comprometan la calidad de las mismas.

Referencias

Allan, D. 2004: Landscapes and Riverscapes: The Influence of Land Use on Stream Ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35, 257–84.

Allan, J. D., Erickson, D., Fay, J. 1997: The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. *Freshwater Biology* 37, 149-162.

Almeida, S., Gil, M. 2001: Ecology of freshwater diatoms from the central region of Portugal. *Cryptogamie algol.* 22, 109-126.

Amaya, H., Bedoya L., Herrera, G., Ospina, G., Salazar, T., Rodríguez, A., Gaviria, C., Montealegre, J., Bernal, M., Valencia, M., Sanchez, R. 2005: Plan de ordenamiento territorial de la Cuenca del Río La Vieja. Diagnóstico.

Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B., Stribling, J. 1999: Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. U. S. Environmental Protection Agency, Office of Water. Washington D. C.

CARDER, CORPOCALDAS, CVC, CORTOLIMA, UAESPNN, CRQ, Corporación Alma Mater, U. de Caldas, U. del Quindío, U. Tolima, U. Tecnológica de Pereira, ESAP, U. Nacional Sede Manizales. 2004: Ecorregión Cafetera: un territorio de oportunidades. Pereira.

Chará, J. 2003: Interactions between biodiversity and land Use in low-order stream catchments of the Colombian Andes. Tesis doctorado. Institute of Aquaculture, University of Stirling Stirling, UK.

Chará, J. 2004: Manual de evaluación biológica de ambientes acuáticos en microcuencas ganaderas. Segunda Edición. Fundación Cipav, Cali, Colombia. 76p.

Díaz, C., Rivera-Rondón, C. 2004: Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones ambientales. *Caldasia* 26, 381-394.

IDEAM. 2001: Estudio Nacional del Agua. Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá Colombia.

Irvine, K.N., Snyder, J., Diggins, T.P. 2005: Site Evaluation Matrix. In: James, W., Irvine, K.N. McBean, E.A., Pitt, R.E. (Eds.), *Effective Modeling of Urban Water Systems*, Monograph 13. CHI. Guelph, Ontario. pp 94-113.

Kelly, M. 2003: Short term dynamics of diatoms in an upland stream and implications for monitoring eutrophication. *Environmental Pollution* 125, 117-122.

Kent, M., Coker, P., 1992: *Vegetation description and analysis: a practical approach*. Belhaven Press London.

Kuhar, U., Gregorc, T. Rencelj, M., Sraj-Krzic, N., Gaberscik, A. 2007: Distribution of macrophytes and condition of the physical environment of streams flowing through agricultural landscape in north-eastern Slovenia. *Limnologica* 37, 146-154.

Magurran, A. 1989: *Diversidad Ecológica y su medición*. Primera edición. Ediciones Vedral. Barcelona España.

Maldonado-Ocampo, J.A., Ortega-Lara, A. Usma, J.S., Galvis, G., Villa Navarro, F.A., Vásquez, G.L., Prada-Pedrerros, S., Ardila, C. 2006: *Peces De Los Andes De Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos - Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C.- Colombia.

Martínez, L., Donato, J. 2003: Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá-Colombia). *Caldasia* 25, 337-354.

Meador, M., Goldstain, R. 2003: Assessing Water Quality at Large Geographic Scales: Relations Among Land Use, Water Physicochemistry, Riparian Condition, and Fish Community Structure. *Environmental Management* 31, 504-517.

Naymik, J., Pan, Y., Ford, J. 2005: Diatom assemblages as indicators of timber harvest effects in coastal Oregon streams. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 24, 569-584.

Pan, Y. Stevenson, R., Hill, B. Herlihy, A., Collins, G. 1996: Using diatoms as indicators of ecological conditions in lotic systems a regional assessment. *J.N. Am. Benthol. Soc.* 15, 481-495.



Diversidad y Abundancia de Macroinvertebrados Acuáticos en Quebradas de la Cuenca del Río La Vieja, Colombia



Fondo.

Paisaje Cuenca del Río La Vieja.

Fotografía: Mauricio Echeverry

Foto 1.

Quebrada El Tejar, con protección de un pequeño fragmento de guadua.

Foto2.

Protección de quebrada, Quimbaya, Quindío.

Fotografías: Julián Chará O.

Diversidad y Abundancia de Macroinvertebrados Acuáticos en Quebradas de la Cuenca del Río La Vieja, Colombia

Chará, J.¹, Zúñiga, M del C.^{1,2}, Giraldo, L.P.¹, Pedraza, G.¹, Astudillo, M.²,
Ramírez, L.², Posso, C.E.²

Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos,
CIEBREG.

¹ Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de producción Agropecuaria – CIPAV. Cali, Colombia e-mail: julian@cipav.org.co

² Universidad del Valle. Departamento de Biología, Grupo de Investigaciones Entomológicas. Cali, Colombia. e-mail: maczuniga@gmail.com

Abstract

The benthic fauna of 28 first and second order streams belonging to the La Vieja river catchment in Colombia was evaluated. In each stream, information about the morphological aspects of the channel, type of substrate and type of flow was also collected and habitat quality assessed using an index adapted for the zone. Water quality samples were taken to calculate the water quality index (National Sanitation Foundation-USA). The average discharge was 7.3 l-sec⁻¹, with predominance of currents and fine substrates, and the water quality index ranged between 38.8 and 79.7% with most streams located from medium to good quality categories. In total 32,300 aquatic macroinvertebrates were collected belonging to eight classes, 18 orders, 73 families and 211 genera. The most abundant taxa were the order Diptera with 55% of individuals collected (43% Chironomidae) and the phylum Mollusca with 24.8%. Abundance of macroinvertebrates was positively correlated with percentage of mud in the channel ($R=0.59$; $p=0.002$) and with phosphate concentration ($R=0.69$; $p=0.0007$), and negatively correlated with the habitat quality index ($R=-0.61$; $p=0.002$). There was a high positive correlation between diversity (Shannon index) and % gravel ($R=0.62$; $p=0.001$), and the homogeneity index (Pielou) was positively correlated with % gravel ($R=0.68$; $p=0.0003$) and with habitat quality ($R=0.62$; $p=0.001$). The homogeneity index was also negatively correlated with phosphate concentration ($R=-0.61$; $p=0.002$). In spite of their size and the fact of being immersed in agricultural landscapes, low order streams are important reservoirs of aquatic biodiversity.

Keywords: Andean streams, aquatic diversity, benthic fauna, water quality, habitat quality

Resumen

Se estudió la fauna béntica de 28 quebradas de primer y segundo orden pertenecientes a la cuenca del río La Vieja en Colombia. En cada quebrada se tomó información sobre las características morfológicas del cauce, tipo de sustrato y tipo de flujo y se evaluó la calidad del hábitat usando un índice adaptado para la zona. Se tomaron muestras de agua para calcular el Índice de Calidad de Agua (National Sanitation Foundation-USA). El caudal promedio fue 7.3 l-seg^{-1} con predominancia de corriente lenta y sustratos finos, y el Índice de Calidad de Agua fluctuó entre 38.8 y 79.7% con la mayoría de las quebradas ubicadas en las categorías de mediana a buena calidad del agua. En total se colectaron 32,300 macroinvertebrados acuáticos pertenecientes a ocho clases, 18 órdenes, 73 familias y 211 géneros. Los taxa más importantes fueron el orden Diptera con el 55% de los individuos colectados (43% Chironomidae) y el phylum Mollusca con 24.8%. La abundancia de macroinvertebrados tuvo una correlación positiva con el porcentaje de lodo en el cauce ($R=0.59$; $p=0.002$) y con la concentración de fosfatos ($R=0.69$; $p=0.0007$), y una correlación negativa con el índice de calidad de hábitat ($R=-0.61$; $p=0.002$). Hubo una correlación positiva alta entre diversidad (índice de Shannon) y porcentaje de grava ($R=0.62$; $p=0.001$), y el índice de homogeneidad (Pielou) estuvo positivamente correlacionado con el porcentaje de grava ($R=0.68$; $p=0.0003$) y con la calidad del hábitat ($R=0.62$; $p=0.001$). El índice de homogeneidad estuvo también negativamente correlacionado con la concentración de fosfatos ($R=-0.61$; $p=0.002$). A pesar de su tamaño pequeño y de estar inmersas en paisajes agropecuarios, las quebradas de bajo orden son importantes reservorios para la biodiversidad acuática.

Palabras clave: quebradas andinas, diversidad acuática, fauna béntica, calidad de agua, calidad de hábitat

Introducción

La red hídrica colombiana está constituida por cientos de miles de quebradas pequeñas que dan origen a los ríos más importantes del país. A pesar de su número e importancia, estos ambientes pequeños se han mantenido relativamente olvidados desde el punto de vista científico y de atención por parte de las autoridades ambientales y territoriales.

La influencia de la alteración humana del paisaje sobre los ecosistemas acuáticos ha sido ampliamente demostrada a diferentes escalas (Richards *et al.* 1996). En quebradas pequeñas, la reducción de la entrada de detritus orgánicos debido a la deforestación, la agricultura y el pastoreo reducen la diversidad de profundidades, sustratos y tipos de corriente determinantes para mantener una biota en buen estado (Baillie & Davies 2002).

Por obvias razones, los rasgos del hábitat a nivel del cauce son determinantes para la fauna acuática (Allan 1995). Entre las características físicas, existe acuerdo en que el sustrato, el tipo de flujo y la temperatura son los factores más importantes que influyen la biota en hábitats no perturbados (Giller & Malmqvist 1998). Para los macroinvertebrados acuáticos y los peces no migratorios, la heterogeneidad en la escala local relacionada con la profundidad, tamaño del sustrato, velocidad de la corriente y cantidad de detritus son fundamentales para mantener una biota diversa (Schlosser 1991). Por estas razones, la medición de las características del cauce y la evaluación de la calidad del hábitat basada en parámetros que afectan la biota, es fundamental para entender los mecanismos por los cuales otras escalas mayores operan sobre los macroinvertebrados, peces y otros ensamblajes bióticos de las quebradas (Barbour *et al.* 1999).

En Colombia hay relativamente pocos estudios publicados sobre la ecología de quebradas de la zona andina que en el momento están en un activo proceso de degradación por efecto de la agricultura y otras actividades humanas de esta región del país. Para el caso de la zona cafetera colombiana y la cuenca del río La Vieja, debido al desarrollo a nivel rural y urbano, la gran mayoría de las quebradas drenan zonas agropecuarias o son afectadas por contaminación proveniente de las concentraciones urbanas.

A pesar del número y la importancia de pequeñas quebradas para la población local, el conocimiento sobre la composición de la fauna béntica y los factores del hábitat que la influyen es aún muy incipiente. El presente estudio evalúa la abundancia y composición de los macroinvertebrados acuáticos de 28 quebradas de primer y segundo orden de la cuenca media del río La Vieja (Valle del Cauca) y realiza un análisis preliminar de las características del hábitat que influyen su distribución.

Materiales y Métodos

Se seleccionaron 28 quebradas en los municipios de Alcalá, Cartago y Ulloa (Valle del Cauca) pertenecientes a la cuenca del río La Vieja-Colombia, entre 4° 37' y 4° 48' Norte, y entre 75° 43' y 75° 55' Oeste. Para minimizar las diferencias se seleccionaron sólo quebradas de primer y segundo orden localizadas entre 1140 y 1536 m de altitud y que no presentaran problemas de contaminación evidente por aguas residuales domésticas.

La selección de los tramos y la realización de los muestreos puntuales se basó en la metodología descrita por Barbour *et al.* (1999) y adaptada para la zona por Chará (2004). En cada quebrada se seleccionó un tramo representativo de 100 m de longitud donde se hizo una evaluación del hábitat que califica diferentes características del mismo, con puntajes entre 0 (pobre) y 20 (bueno) y cuya sumatoria permite obtener el índice de calidad de hábitat (ICH) (Barbour *et al.*

1999; Chará 2004). Adicionalmente se tomaron medidas de la morfología del cauce (ancho del canal, ancho de la corriente, profundidad, tipo de corriente, tipo de sustrato inorgánico y caudal); todos los parámetros fueron estimados visualmente, con excepción de las medidas del cauce y el caudal. En cada una de las pequeñas corrientes seleccionadas se tomaron muestras puntuales de agua para realizar análisis fisicoquímicos y bacteriológicos que incluyeron las siguientes variables: temperatura, oxígeno disuelto, pH, turbiedad, sólidos (suspendidos, sedimentables, disueltos y totales), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), alcalinidad total, conductividad, nitrógeno amoniacal, nitratos, fosfatos, coliformes totales y fecales.

La captura de los macroinvertebrados acuáticos se hizo con una red tipo "D" de 500 μm de ojo de malla, mediante 20 arrastres de los hábitats más representativos en proporción a su ocurrencia. Los macroinvertebrados fueron preservados en alcohol etílico al 75% para su posterior identificación en el laboratorio hasta el menor nivel taxonómico posible y con la ayuda de un estereoscopio con aumentos entre 10 y 40X.

Análisis de datos

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua se utilizaron para el cálculo del índice de calidad de agua propuesto por la Fundación Sanitaria Nacional de los Estados Unidos de Norte América ICA-FSN (Ott 1981; Dinius 1987) y el índice de contaminación por residuos en suspensión-ICOSUS propuesto por Ramírez *et al.* (1997). Los macroinvertebrados bentónicos fueron analizados con base en el cálculo del índice de biodiversidad de Shannon-Wiener, el índice de homogeneidad de Pielou, el índice de dominancia de Simpson y el índice biótico BMWP-Univalle, adaptado a condiciones regionales y cuerpos de agua del suroccidente colombiano por Zúñiga (2000). En cada caso particular se tuvo en cuenta el nivel taxonómico de identificación específico requerido y para el cálculo del puntaje del BMWP-Univalle sólo se tuvieron en cuenta aquellas familias que presentaban más de un individuo para minimizar la sobrevaloración del indicador en cada quebrada evaluada.

La relación entre los parámetros bióticos y las características del cauce, los índices de calidad del hábitat y de calidad de agua se evaluó mediante un análisis de correlación de Spearman usando el software INFOSTAT Versión 2007 (Infostat 2007).

Resultados y discusión

Aspectos Biofísicos

Las quebradas seleccionadas para este estudio se encontraban inmersas en una matriz agropecuaria con predominancia de café, ganadería y plátano. En buena

parte de los casos los cultivos o pastos llegaban hasta la orilla del curso de agua. Más de la mitad presentaban algún grado de protección en el área ribereña en su mayoría constituida por rastrojos de mediano porte, aunque unas pocas tenían guaduales naturales o bosques secundarios relativamente bien desarrollados.

El Cuadro 1 presenta un resumen de las características físicas encontradas y los valores de algunos de los parámetros fisicoquímicos medidos en los ambientes evaluados.

Cuadro 1. Características físicas y de calidad de agua en quebradas pequeñas de la cuenca media del río La Vieja, Valle del Cauca-Colombia.

Parámetro	Promedio n=28	Mínimo	Máximo
<i>Dimensiones del Cauce</i>			
Ancho húmedo (cm)	162.9	45.7	605.7
Profundidad (cm)	9.8	3.9	19.6
Caudal (l-seg ⁻¹)	7.3	0.5	31.4
<i>Tipo de corriente</i>			
Turbulencias %	9.2	0	80
Corriente rápida %	44.2	0	100
Corriente lenta %	38.3	0	100
Piscinas %	5	0	35
<i>Tipo de sustrato</i>			
Sustratos finos % ¹	62.8	0	100
Grava % (0.2 a 5cm de diámetro)	11.0	0	40
Piedras % (mayor a 5cm de diámetro)	26.6	0	90
Índice de calidad de hábitat (ICH) ²	103.2	57	137
<i>Calidad del agua</i>			
Temperatura del agua °C	20.9	19.5	24.2
pH	-	5.8	8.4
Oxígeno disuelto (mg-l ⁻¹)	5.2	1.8	11.4
Demanda bioquímica de oxígeno (mg-l ⁻¹)	0.69	0.03	3.85
Fosfatos (mg-l ⁻¹ P-PO ₄)	0.13	0.02	0.36
Índice de calidad de agua (ICA-FSN)	60.6	38.8	79.7
Índice de contaminación por residuo en suspensión (ICOSUS)	0.04	0.0	0.22

¹ Incluye arena y limo (diámetro menor a 0.2 cm); ² Mide las características del hábitat apropiadas para tener una biota en buen estado (Barbour *et al.* 1999; Chará 2004).

De acuerdo con estas características se puede observar que las quebradas son de poca profundidad y poco caudal, con tendencia a presentar corrientes lentas y rápidas, y con predominancia de sustratos finos compuestos por arena, limo y lodo. Esta tendencia a presentar dominancia de sustratos finos ha sido encontrada en otros estudios de quebradas en paisajes agrícolas en la cuenca del río La Vieja, en los cuales se ha determinado que por efecto de la erosión se presenta deposición de materiales como lodo y limo que cubren los sustratos gruesos (Chará *et al.* 2007). En las quebradas del presente estudio, además de la influencia de la agricultura, el tamaño y baja pendiente contribuyen a que se presente predominancia de sustratos finos, factor que, según Richards *et al.* (1996) es propio de ríos más grandes.

En cuanto a la calidad del agua, son quebradas con pH desde ligeramente ácido a débilmente alcalino, lo cual indica que poseen un sistema buffer estable, concentración de oxígeno medio y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) baja. Al examinar el índice de calidad de agua, tres quebradas presentaron valores menores de 40 considerados malos, 22 presentaron valores entre 40 y 69 considerados regulares y las cinco restantes presentaron un índice bueno (mayor a 70). De igual manera, el índice de contaminación por sólidos suspendidos presenta valores bajos (menos de 0.22) para todas las quebradas. En general se puede decir que las quebradas no presentan problemas severos de calidad de agua que pudieran limitar la vida acuática (Ott 1981; Dinius 1987; León 1992; Ramírez et al. 1997).

Macroinvertebrados Acuáticos

En total se colectaron 32,300 individuos distribuidos en ocho Clases, 18 Órdenes, 73 Familias y 211 Géneros. La fauna béntica estuvo representada principalmente por estados larvarios de insectos acuáticos (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera, Coleoptera, Odonata, Hemiptera, Megaloptera y Lepidoptera), aunque se encontraron también representantes de las clases Gastropoda, Bivalvia, Turbellaria, Hirudinea, Crustacea, Oligochaeta y Nematoda.

En general, los taxa con mayor representación fueron el orden Diptera con 55% de abundancia relativa (43% de Chironomidae) y el phylum Mollusca con 24.8% (16.4% de Gastropoda y 8.4% de Bivalvia). De las 28 quebradas, en 18 se presentó predominio de Diptera (Chironomidae), en tres de Mesogastropoda (Mollusca), en tres de Coleoptera (Elmidae: *Heterelmis*), en dos de Veneroida (Mollusca: Bivalvia) y en las dos restantes de Trichoptera (Hydropsychidae: *Smicridea*).

Otros estudios realizados en quebradas pequeñas en el suroccidente colombiano, en altitudes similares, han encontrado también predominancia de Diptera (Chará et al. 2006). Sin embargo, estos mismos autores encontraron predominancia de Ephemeroptera en quebradas más grandes de la misma región. Otros estudios en el neotrópico en quebradas de mayor tamaño han encontrado predominancia de Ephemeroptera (Jacobsen et al. 1997) y de Trichoptera (Posada et al. 2000). La predominancia de Mollusca ha sido también reportada previamente en quebradas de la cuenca del río La Vieja afectadas por ganadería (Chará et al. 2007).

En la Figura 1 se presenta el número de individuos capturados en las 28 quebradas, clasificados por orden (para Insecta) y por clase para el resto de la fauna béntica.

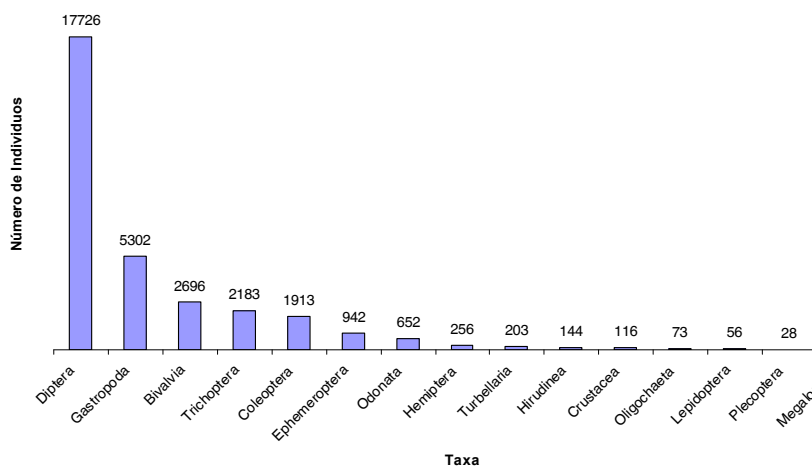


Figura 1. Abundancia absoluta de macroinvertebrados en 28 quebradas pequeñas de la cuenca del río La Vieja, Valle del Cauca-Colombia

En promedio se capturaron 1153 individuos por quebrada con valores que oscilaron entre 76 y 6586. Las quebradas en las que se presentó mayor abundancia fueron dominadas por Diptera, o por Mollusca, o por ambos. En general, cuando se analizan a nivel de orden, todos los taxa presentan fluctuaciones entre quebradas en su abundancia absoluta y relativa. Estas fluctuaciones, son más pronunciadas para Diptera, o Gastropoda y Bivalvia, que pueden pasar de no estar representados a ser casi el total de los individuos capturados en una misma quebrada (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición de la fauna béntica en quebradas pequeñas de la cuenca media del río La Vieja, Valle del Cauca-Colombia.

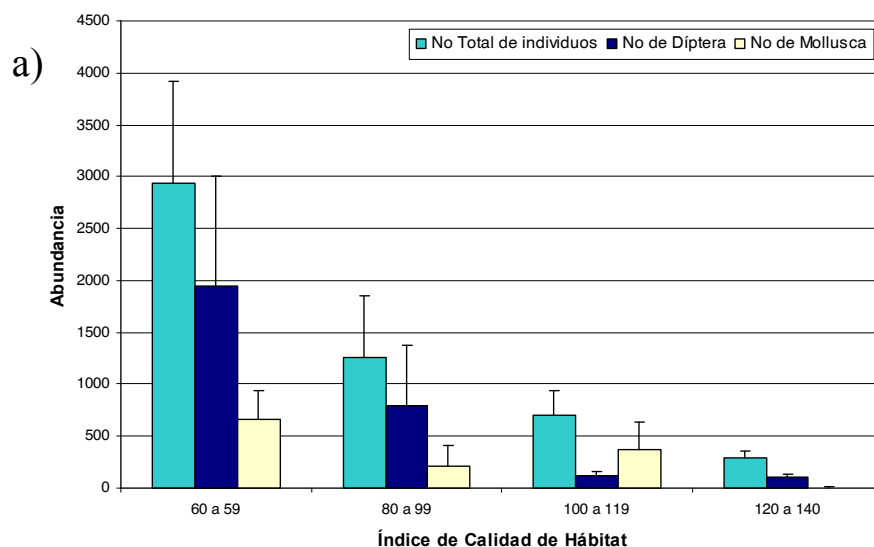
Parámetro	Promedio (n=28)	Mínimo	Máximo
Abundancia total	1153	76	6586
Riqueza total	31.9	17.0	54.0
<i>Abundancia relativa por taxon</i>			
Diptera (%)	40.8	0.1	92.8
Gastropoda (%)	11.1	0.0	96.2
Bivalvia (%)	6.3	0.0	57.6
Trichoptera (%)	14.1	0.0	46.1
Coleoptera (%)	13.0	0.0	42.0
Ephemeroptera (%)	5.6	0.0	18.2
Odonata (%)	4.0	0.1	26.3
Hemiptera (%)	1.4	0.0	10.6
Turbellaria (%)	0.3	0.0	2.9
Hirudinea (%)	0.2	0.0	1.5
Crustacea (%)	1.5	0.0	15.7
Plecoptera (%)	0.6	0.0	8.2
Índice biótico BMWP-UniValle	100.4	36	163
Índice de diversidad de Shannon	2.02	0.84	2.89
Índice de homogeneidad de Pielou	0.59	0.14	0.85
Índice de dominancia de Simpson	0.28	0.08	0.84

De acuerdo con el índice BMWP-UniValle y la clasificación propuesta por Alba-Tercedor & Sánchez-Ortega (1988), Alba-Tercedor (1996) y sugerida por Roldán (2003), tres quebradas se encuentran en la categoría de aguas moderadamente contaminadas, 11 en la categoría de aguas ligeramente contaminadas y las restantes 14 en la categoría de aguas limpias.

Relación con los Parámetros Biofísicos

En general, la abundancia de individuos encontrados estuvo asociada a parámetros que caracterizan la disminución de la calidad o diversidad del hábitat, tales como bajo porcentaje de sustratos rocosos, alto porcentaje de lodo en el cauce y bajos valores de los índices de calidad de hábitat (ICH) y de calidad del agua (ICA-FSN). La abundancia total de individuos tuvo una correlación positiva relativamente alta con el porcentaje de lodo en el cauce ($R=0.59$; $p=0.002$) y la concentración de fosfatos ($R=0.69$; $p=0.0007$), y negativa con el ICH ($R=-0.61$; $p=0.002$).

Como se mencionó anteriormente, la abundancia de macroinvertebrados estuvo determinada en buena parte de las quebradas por la abundancia de individuos del orden Diptera o el Phylum Mollusca que incrementaron ampliamente su población en la medida en que se alteraron los parámetros arriba mencionados. Como se observa en la Figura 2, la abundancia total y la de Diptera y Mollusca disminuyen a medida que se incrementan el porcentaje de piedras en el cauce, el ICH y el ICA-FSN. La relación de la abundancia de Diptera y la familia Chironomidae con los sustratos finos ha sido demostrada previamente en quebradas pequeñas de la región (Chará et al. 2006) y en otras regiones del trópico (Tumwesigye et al. 2000).



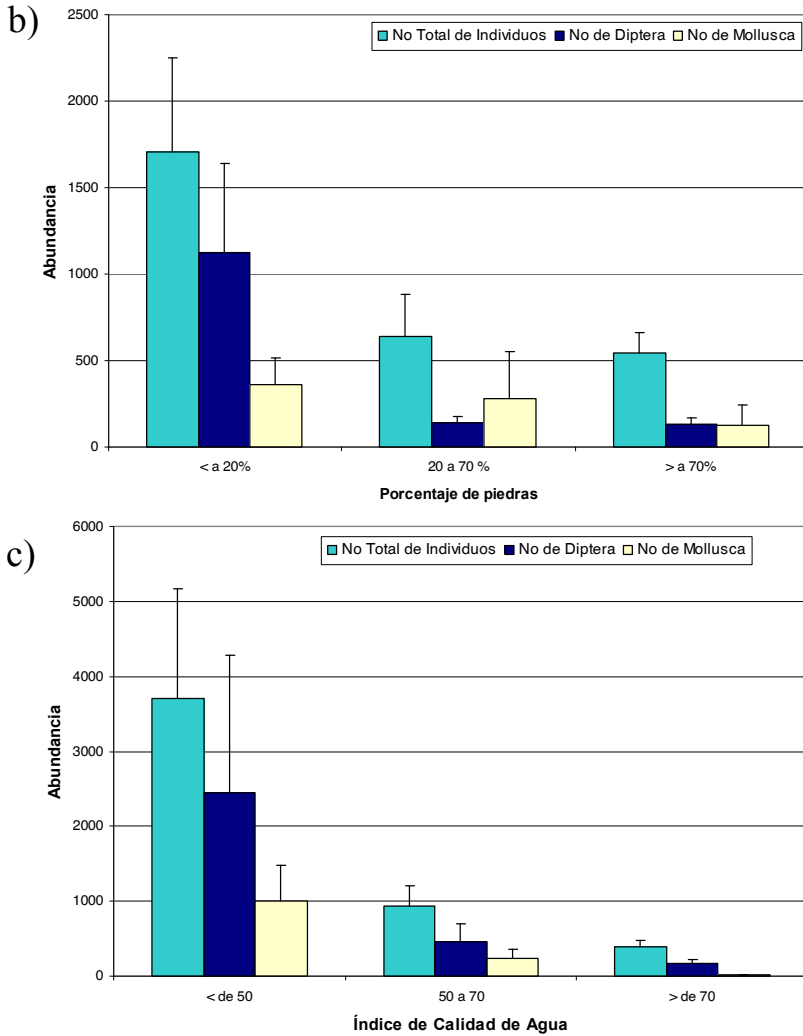


Figura 2. Relación de la abundancia total, de Mollusca y Diptera con a) Índice de calidad de hábitad, b) porcentaje de piedras y c) Índice de calidad de agua (Valores promedio \pm Error Estándar) en quebradas pequeñas de la cuenca media del río La Vieja.

El análisis de la abundancia de los órdenes de la clase Insecta, excluyendo Diptera, con respecto a los parámetros biofísicos muestra diferentes tendencias (Figura 3). En general la abundancia tiende a disminuir a medida que mejora el ICH, aunque para los Órdenes Trichoptera y Plecoptera se presenta un incremento. Al contrario que con Diptera y Mollusca, se presenta un incremento de la abundancia a medida que aumenta el porcentaje de piedras, mientras que los mayores valores de abundancia se presentan en los valores medios del ICA-FSN.

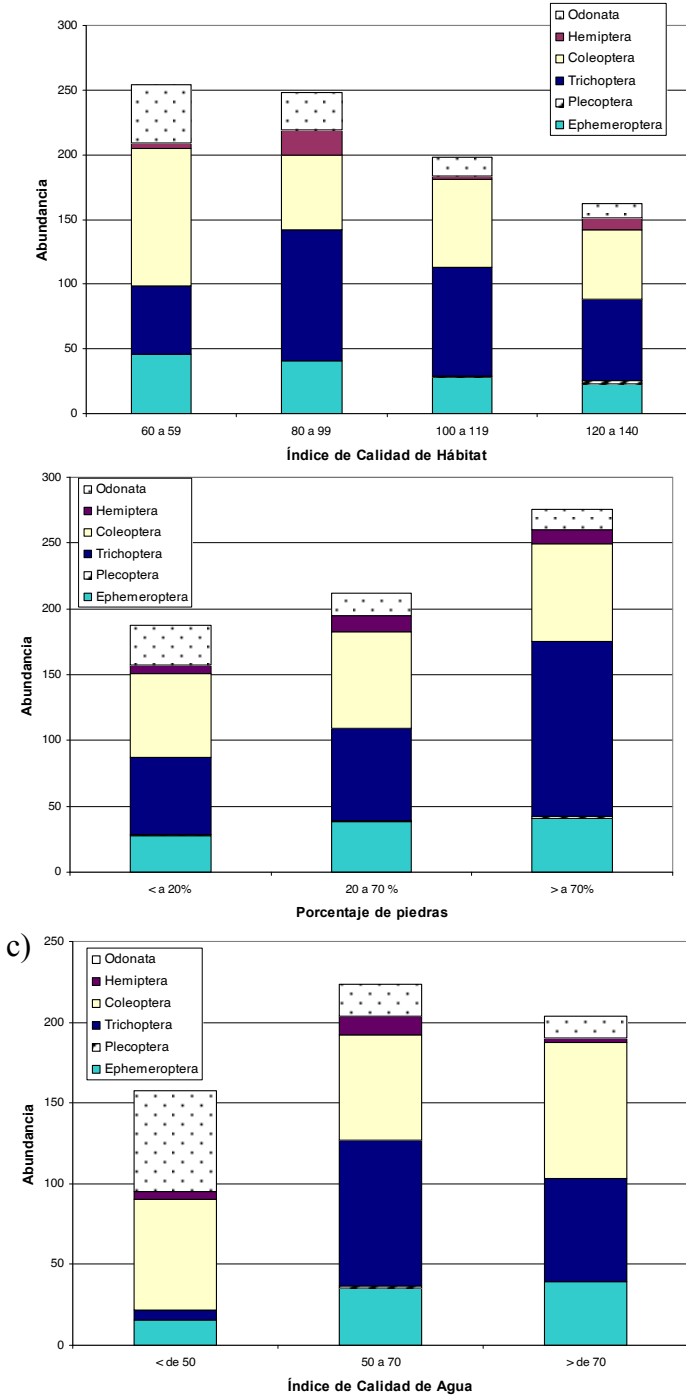


Figura 3. Relación de la abundancia de Órdenes de la clase Insecta

(excluyendo Diptera) con a) Calidad de Hábitat, b) porcentaje de piedras y c) Índice de calidad de agua (valores promedio \pm Error estándar) en quebradas pequeñas de la cuenca media del río La Vieja.

En cuanto a la diversidad de organismos, se encontró una relación positiva alta entre el índice de diversidad de Shannon-Wiener y el porcentaje de grava ($R=0.62$; $p=0.001$) y piedra ($R=0.52$; $p=0.01$) y negativa con el porcentaje de sustratos finos (arena, lodo y limo) ($R=-0.53$; $p=0.01$). El índice de homogeneidad de Pielou tuvo una correlación positiva alta con el porcentaje de grava ($R=0.68$; $p=0.0003$) y el ICH ($R=0.62$; $p=0.001$) y negativa con la concentración de fosfatos ($R=-0.61$; $p=0.002$).

El índice BMWP-UniValle presentó correlaciones bajas con el tipo de sustrato o de corriente y con el ICH. Sólo se observó una correlación con sólidos sedimentables ($R=0.51$; $p=0.01$) y con el índice de contaminación por residuos en suspensión ICOSUS ($R=0.48$; $p=0.02$). La relación con este último parámetro es de esperarse pues el BMWP es concebido como un indicador de contaminación orgánica (Alba-Tercedor & Sánchez-Ortega 1988; Zúñiga 2000; Roldán 2003).

Aunque el presente estudio no tenía por objeto relacionar los parámetros de las quebradas con el uso de suelo predominante, otros estudios realizados en la zona (Chará *et al.* 2007) y en otras partes del mundo (Richards *et al.* 1996; Ometo *et al.* 2000; Weigel *et al.* 2000) han demostrado que la agricultura y la ganadería afectan negativamente las características del hábitat al incrementar los sedimentos y disminuir la calidad del agua. El presente estudio complementa esta información al demostrar que estas características del hábitat tienen efectos importantes sobre la abundancia, la composición y la diversidad de la fauna béntica presente en las quebradas de la cuenca del río La Vieja. El conocimiento de los mecanismos locales por los cuales el uso del suelo afecta la biota acuática es fundamental para determinar las actividades de restauración que deben implementarse para conservar la importante diversidad que alojan.

Conclusiones

La información obtenida en este estudio permite determinar que, a pesar de su tamaño y el hecho de estar inmersas en una matriz agropecuaria, las quebradas pequeñas albergan una importante diversidad de macroinvertebrados acuáticos.

Vale la pena mencionar, que debido a la falta de conocimiento de la fauna béntica tropical andina, los insectos fueron clasificados sólo hasta nivel de género y se encontraron en total 211, aunque para los taxa que no correspondían a insectos (y para algunos Diptera, Lepidoptera y Coleoptera) se llegó sólo hasta nivel de familia o subfamilia. Esto significa que la riqueza de especies es mucho mayor, pero su potencial está aun por ser descubierto ya que es necesario profundizar

en el conocimiento de esta diversidad, así como en las funciones ecológicas que cumplen.

A pesar de su poco tamaño y caudal, y de estar inmersas en paisajes agropecuarios, las quebradas de bajo orden son importantes reservorios para la biodiversidad acuática como lo demuestra el alto número de géneros encontrado.

Cualquier programa que busque restaurar la diversidad y composición de la fauna béntica debe enfocarse en la recuperación de la calidad del hábitat, en particular el porcentaje de sustratos gruesos, la complejidad y la estabilidad estructural.

Agradecimientos

Agradecemos a la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) por su apoyo logístico y los análisis de laboratorio realizados mediante los convenios CVC-CIPAV 202 de 2002 y CVC-CIPAV 056 de 2005. Al Laboratorio de Investigaciones Entomológicas de la Universidad del Valle por su apoyo logístico en la determinación de los macroinvertebrados bentónicos colectados en la zona de estudio. Además se contó con el apoyo del proyecto *Enfoque Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas* financiado por el GEF-Banco Mundial y FAO-LEAD y del Proyecto *Fortalecimiento del Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV)* financiado por COLCIENCIAS-SENA (Contrato 204-2007).

Referencias

Alba-Tercedor, J., Sánchez-Ortega, A. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnética* 4: 51-56.

Alba-Tercedor. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. pp 203-213. En: IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA), Almería, España.

Allan, J. D., 1995. *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.

Baillie, B., Davies, T. 2002. Effects of land use on the channel morphology of streams in the Moutere Gravels, Nelson, New Zealand. *Journal of Hydrology* 41:19-45.

Barbour, M T., Gerritsen, J., Snyder, B., Stribling, J. 1999. *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*. U. S. Environmental Protection Agency, Office of Water. Washington D.C., USA. 408p.

- Chará, J. 2004. Manual de evaluación biológica de ambientes acuáticos en microcuencas ganaderas. 2 ed. Cali. Fundación Cipav. 76 p.
- Chará, J., Baird, D., Telfer, T., Rubio, E. 2006. Feeding ecology and habitat preferences of the catfish genus *Trichomycterus* in low-order streams of the Colombian Andes. *Journal of Fish Biology*, 68: 1026-1040.
- Chará, J., Pedraza, G., Giraldo, L., Hincapié, D. 2007. Efecto de corredores ribereños sobre el estado de quebradas en la zona ganadera del río La Vieja, Colombia. *Revista Agroforestería de las Américas*. 45, Artículo 8.
- Dinius, S.H. 1987. Design of a water quality index. *Water Research Bulletin*. 23: 883-843.
- Giller, P., Malmqvist, B. 1998. *The Biology of Streams and Rivers*, Oxford. Oxford University Press.
- InfoStat. 2007. InfoStat, version 2007. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. 1 ed. Argentina.
- Jacobsen, D., Schultz, R., Encalada, A. 1997. Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: the influence of temperature with altitude and latitude. *Freshwater Biology* 38, 247-261.
- León, L.F. 1992. Índices de Calidad del Agua, Estimación/Aplicación: Cuenca Lerma-Chapala, Mem. VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cocoyoc, Mor., México, pp. 20-26. Tomado de: <http://www.science.uwaterloo.ca/~lfleonvi/artics/art09.pdf>
- Ometo, J. P., Martinelli, L., Ballester, M., Gessner, A., Krusche, A., Victoria, R., Williams, M. 2000. Effects of land use on water chemistry and macroinvertebrates in two streams of the Piracicaba river basin, south-east Brazil. *Freshwater biology* 44:327-337.
- Ott, R. W. 1981. Water pollution indices. pp 203-213. In: *Environmental Indices. Theory and Practice*. Ann Arbor Science Publishers Inc. Michigan.
- Posada, J. A., Roldán, G., Ramírez, J. J. 2000. Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 48: 59-70.
- Ramírez, A., Restrepo, R., Viña, G. 1997. Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación. *Ciencia, Tecnología y Futuro*. 1: 135-153.

Richards, C., Johnson, L., Host, G. 1996. Landscape-scale influences on stream habitats and biota. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 53: 295-311.

Roldán, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col. Medellín, Editorial Universidad de Antioquia. 170p.

Schlosser, I. 1991. Stream Fish Ecology: A Landscape Perspective. *BioScience* 41:704-712.

Tumwesigye, C., Kizito, Y., Makanga, B. 2000. Structure and composition of benthic macroinvertebrates of a tropical forest stream, River Nyamweru, western Uganda. *African Journal of Ecology* 38: 72-77.

Weigel, B., Lyons, J., Paine, L., Dodson, S., Undersander, D. 2000. Using stream macroinvertebrates to compare riparian land use practices on cattle farms in southwestern Wisconsin. *Journal of Freshwater Ecology* 15: 93-106

Zúñiga, M. del C. 2000. Los Insectos como bioindicadores de calidad de agua. En: Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería- Programa de Posgrado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. (ed.). Manual del curso Bioindicadores de calidad de agua. Cali, Colombia. 60pp



Propuesta Metodológica para el Estudio de la Oferta de Frutos en Bosques Fragmentados



Foto 1.
Gurania sp.

Foto 2.
Ficus sp.

Foto 3.
*Licaria
Applanata*

Foto 4.
*Abuta cf.
Colombiana*

Foto 5.
*Carludovica
Palmata*

Foto 6.
*Anthurium
Trinerve*

Fotografías:
Mario Fernando Mora Goyes
(Mora-Goyes M.F), años 2006
y 2007.

Propuesta Metodológica para el Estudio de la Oferta de Frutos en Bosques Fragmentados

Alvear, M., Leon, M. M, Rossi, E.
Investigadores Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos, CIEBREG.
Herbario Pontificia Universidad Javeriana.
Unidad de Ecosistemas y Sistemática (UNESIS). Facultad de Ciencias.
Cra. 7 No. 43-82 Bogotá, Colombia.
e-mail: hpuj@javeriana.edu.co

Abstract

The soil use effect was evaluated upon different functional microbial groups and their possible use as biological indicators of soil health. The study was based on the existing relationship between microorganisms and the ecosystems processes in which they are involved. The microbial density for each functional group was estimated by culture them in synthetic media, in two seasons (rain and dry) and these densities were correlated with physicochemical parameters (pH, temperature and soil humidity). Results indicated that highly disturbed soils by anthropogenic activities such as pastures, coffee plantation with and without shade and onion plantations create microclimatic conditions that favor the increasing of microbial abundance for the majority of functional groups evaluated. All physicochemical variables affected microbial populations of soil, but pH showed the highest effect. On the other hand, the rainy season increased microbial abundances. Microbial functional groups such as oxidizing ammonia bacteria, total fungi, and cellulolytic and proteolytic fungi showed significant differences among vegetation covers, indicating that they are highly sensitive to soil use and that they could be use as soil health indicators.

Keywords: biogeochemical cycle, quality indicators, microorganisms.

Resumen

Una evaluación rápida de de la oferta de frutos es importante para resolver cuestionamientos ecológicos incluyendo dispersión de semillas, obtención y para el desarrollo de estrategias de conservación. Sin embargo aproximaciones tradicionales para describir la oferta de frutos tienden a ser costosas y requieren de mucho tiempo. Para contrarrestar este problema un nuevo método para cuantificar la oferta de frutos es propuesto. Este nuevo estudio está basado en

métodos previos publicados e incorpora cambios convenientes para condiciones en las cuales los regímenes de perturbación no pueden ser determinados y la estructura de la vegetación no es homogénea. El método puede ser usado para evaluaciones rápidas de oferta de frutos y es de esta manera conveniente para su aplicación en bosques fragmentados. Este artículo presenta una descripción del método, sus ventajas, algunos resultados preliminares para ilustrar su uso y una breve reseña de sus potenciales aplicaciones. Adicionalmente se sugiere una prueba del método.

Palabras clave: Andes del norte, bosques ribereños, Colombia, dispersión de semillas, plantas vasculares.

Introducción

Los paisajes naturales del Complejo Ecorregional Norandino (CEAN) han sufrido una intensa transformación por acción del hombre, la cual se considera hoy en día como la mayor amenaza a la conservación de su biodiversidad y como el principal factor causante de su degradación ambiental (Noss 1987, Wilcox & Murphy 1985). Solamente en Colombia, ya se han transformado y fragmentado alrededor del 70% de los ecosistemas originales, principalmente por la expansión de actividades forestales y agropecuarias (WWF 2002).

La pérdida del hábitat de las especies y la fragmentación de los ecosistemas naturales se consideran las principales amenazas para la conservación de la diversidad biológica, razón por la cual han sido un aspecto central de la biología de la conservación en los últimos 30 años (Wilson 1988, Saunders *et al.* 1991, Fielder & Kareiva 1998).

El estudio de la oferta de frutos es importante para entender la dinámica de las comunidades vegetales y los efectos de la fragmentación sobre las mismas. Esta información es fundamental para comprender los procesos ecológicos que requieren la interacción de la vegetación con la fauna como son la dispersión de semillas, la polinización y la regeneración natural (Nathan & Mueller-Landau 2000).

Estudios previos sobre la oferta de frutos muestran como los métodos tradicionales (transectos en senderos, parcelas y trampas de frutos) son complejos y a veces contradictorios (Chapman *et al.* 1992, Chapman *et al.* 1994). Otros trabajos en el Neotropico han arrojado resultados más sólidos (Stevenson *et al.* 1998, Stevenson *et al.* 2000, Parrado-Roselli *et al.* 2006), empleando recorridos, trampas de frutos y con esfuerzo de muestreo de varios meses. (Stevenson *et al.* 1998, Stevenson *et al.* 2000, Parrado-Roselli *et al.* 2006). Estos métodos describen adecuadamente la producción de frutos en el tiempo, pero requieren un tiempo y esfuerzo considerable y en muchos casos no son adecuadas para bosques fragmentados debido al tamaño de las áreas necesarias para realizar los muestreos.

En este artículo se presenta una propuesta metodológica para la estimación de la oferta de frutos en ecosistemas fragmentados y los resultados preliminares que fueron obtenidos en bosques ribereños de un área dedicada a la ganadería de leche en el departamento del Quindío (Colombia).

Materiales y Métodos

La metodología propuesta para la evaluación de la oferta de frutos consiste en el conteo directo de todos los individuos fructificados y la estimación de su oferta de frutos en transectos continuos de 50 m de longitud por 4 m de ancho. Teniendo en cuenta las características de alta fragmentación de la región de estudio y que la mayor proporción de fragmentos se compone de boques ribereños, el establecimiento de los transectos se realiza en el perímetro de los parches, de tal forma que se incluyan los individuos de la parte interna y externa (ecotono) del parche de bosque (Figura 1). Igualmente, esta ubicación permite comparar las diferencias de oferta de frutos entre el borde externo del parche, que limita con las zonas abiertas de pasturas o cultivos, y la parte interna que limita con el interior del parche o con la corriente de agua en bosques ribereños.

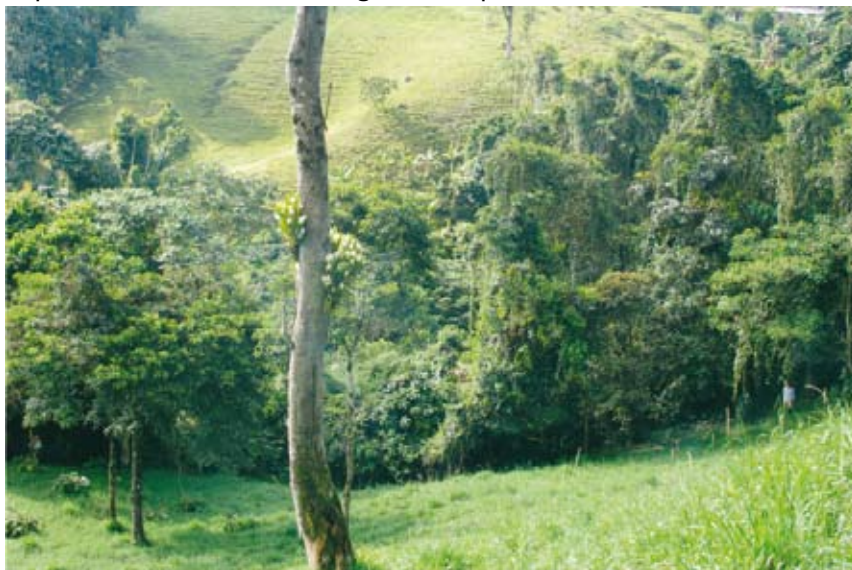


Figura 1. Detalle del perfil de un transecto para la estimación de la oferta de frutos en un bosque ribereño de la cuenca del río La Vieja.

En cada transecto la información o mediciones tomadas para cada individuo con frutos son las siguientes:

1. Altura total (m).
2. Altura de la copa (m).
3. Volumen de la copa medido a partir de los diámetros mayor y menor de la copa (m).

4. Diámetro a la altura del pecho (DAP). Se puede obtener al medir la circunferencia o perímetro a la altura del pecho (CAP), aproximadamente a 1.3 m por encima del suelo. En el caso de que un mismo individuo de una especie herbácea presentara varios brotes basales o vástagos en una hierba, cada uno de los CAP fue medido independientemente. Para calcular el DAP total (Dt) se sumaron las áreas parciales (A_i) según la ecuación (Franco et al. 1997): $Dt = \sqrt{(4 At / \pi)}$, en donde $At = \sum A_i$ y $A_i = \pi DAP^2 / 4$.
5. Forma de crecimiento, definida según los criterios morfológicos utilizados corrientemente en botánica (Font Quer 1982, Moreno 1984), como: árboles, arbustos, hierbas, bejucos o lianas, trepadoras, palmas o estipitoides (helechos arborescentes).
6. Estimación de la oferta de frutos (número de frutos). Se realiza de dos maneras según la forma de crecimiento de cada planta. Para el caso de los árboles, arbustos, lianas o trepadoras de amplia cobertura, se seleccionan aleatoriamente tres volúmenes de la copa de 1 m³, en cada uno de los cuales al menos dos investigadores hacen una cuantificación total del número de frutos, de tal manera que se obtienen al menos dos estimaciones de cada volumen y así se disminuye la variación entre observadores. La visualización del volumen de la copa a medir se realiza con la ayuda de una vara marcada; para el caso de palmas, hierbas o arbustos pequeños en donde toda la oferta que presenta la planta se encuentra localizada en un único volumen de 1 m³, entonces se realiza el conteo total de frutos que corresponde a la oferta total de la planta en ese momento.

Las mediciones de alturas se realizan con clinómetro y vara marcada, mientras que las mediciones de diámetros se realizan con el uso decámetro o cintas métricas.

Para cada una de las especies o morfoespecies identificadas en el trayecto se deben recolectar como mínimo tres muestras botánicas para ser procesadas e ingresadas como ejemplares botánicos en herbarios reconocidos. Así mismo, para cada una se deben tomar muestras de frutos para ser fotografiados y posteriormente pesados en el laboratorio para obtener una cuantificación de la biomasa.

El tiempo estimado para el establecimiento y muestreo total de un transecto siguiendo los métodos expuestos es de un día de trabajo con dedicación de dos personas. La estandarización del número de transectos por unidad de cobertura, con el fin de establecer áreas mínimas, está en proceso de revisión de acuerdo con los resultados preliminares y con análisis de literatura especializada.

En Abril del 2007 se aplicó de manera preliminar esta metodología en remanentes de bosque ubicados en dos corredores ribereños en la cuenca del río La Vieja, en la finca Tesalia Baja (Municipio de Circasia) correspondiente al sistema productivo de ganadería extensiva de leche. En total se establecieron seis transectos de

50 x 4 m, ubicados al azar dentro del bosque ripario en las áreas de cobertura homogénea definidas a partir de la fotografía aérea de la finca. Los transectos 1 a 3 se ubicaron en el bosque ribereño de la quebrada La Cristalina y los transectos 4-6 en el bosque ribereño de la quebrada El Naranjal. Los ejemplares botánicos fueron recolectados bajo la numeración de Marcela Alvear (MAR) y Miguel León-Gómez (MLG) y se depositaron en el herbario HPUJ. También se realizó un registro fotográfico *in situ* de las especies y detalles de los frutos y semillas.

Resultados y Discusión

La metodología propuesta permite realizar análisis comparativos entre coberturas, fincas y sistemas productivos, análisis diferenciales de la oferta de frutos entre transectos, comparaciones entre borde e interior para cada transecto. Así mismo, es posible estudiar y comparar la distribución de la oferta según los tipos funcionales o formas de crecimiento de las plantas y según la estratificación vertical de la vegetación. Al aplicar la metodología en diferentes épocas del año, es posible hacer análisis temporales de la oferta de frutos y relacionarlos con datos climáticos. En general, permite analizar la disponibilidad de recursos alimenticios para la fauna a una determinada escala espacial y temporal, así como los síndromes de dispersión (interacción con fauna).

A continuación se presentan los resultados preliminares de la aplicación de la metodología de estimación de la oferta de frutos en dos bosques ribereños del área de estudio, donde se muestran algunos de los datos que se pueden obtener con la metodología propuesta, el esfuerzo requerido para obtenerlos y por tanto evaluar su aplicabilidad y pertinencia.

Se encontraron diferencias cualitativas en el número de individuos con frutos entre los bosques de la quebrada La Cristalina y la quebrada El Naranjal. La abundancia de individuos con fruto fue mayor en los transectos del Naranjal, tanto en el interior como en el borde del bosque. Mientras que en los transectos de la quebrada La Cristalina, se registraron abundancias totales menores. En general en el borde, se observó un mayor número de individuos con fruto (Figura 2).

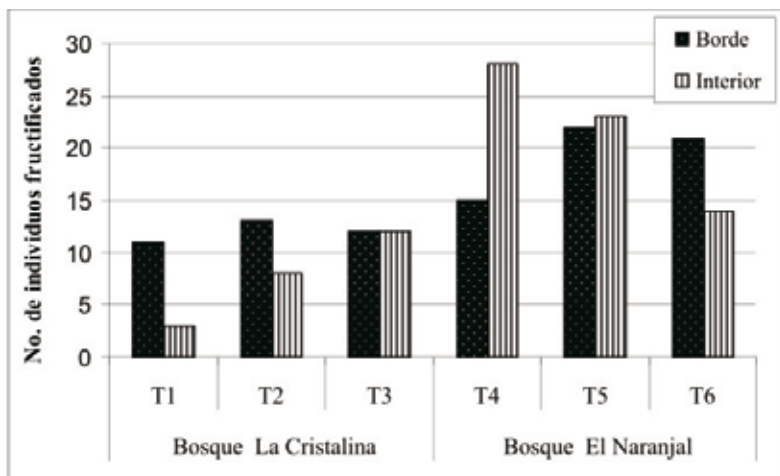


Figura 2. Abundancia de individuos fructificados en transectos de 50 x 4 m, en dos bosques riparios de la cuenca del río La Vieja.

Aunque en la fotografía área los dos bosques presentaban coberturas similares, se registraron diferencias en la composición florística y en la estructura. El bosque de la quebrada El Naranjal presentaba un dosel discontinuo y una gran abundancia y riqueza de lianas. En el bosque de la quebrada La Cristalina el dosel era continuo y presentaba pocas lianas. Las diferencias entre los dos bosques se reflejan en la figura 2. Se observa que los transectos 1, 2, y 3 de La Cristalina son más similares entre sí. Lo mismo ocurre con los transectos 4, 5 y 6. Aparentemente hay una mayor abundancia de individuos fructificados en el bosque adyacente a la quebrada el Naranjal.

En el cuadro 1, se observan algunas diferencias en cuanto a número de individuos fructificados entre borde y el interior de los transectos. También se observan diferencias importantes en el número de familias, géneros y especies entre los dos bosques.

En el muestreo se registro un total de 33 familias, 56 géneros y 68 morfoespecies fructificadas en el área de estudio. La familia con mayor número de individuos fructificados fue Solanaceae (26), seguida de Piperaceae (25) y Rubiaceae (20), los géneros con mayor número de individuos fructificados fueron *Solanum* (24), *Piper* (19) y *Coffea* (16). En uno de los bosques ribereños se registraron 16 plantas de café en el interior de los transectos. No es claro si se originaron a partir de semillas de árboles cultivados o si se trata de individuos que fueron rodeados por la vegetación en sucesión.

Cuadro I. Riqueza florística de los taxa fructificados en transectos de 50 x 4 m, en dos bosques ribereños de la cuenca del río La Vieja.

Sitio		No. de Familias			No. de Géneros			No. de morfoespecies		
		Borde	Interior	Total	Borde	Interior	Total	Borde	Interior	Total
Bosque Qda. La Cristalina	T1	7	3	10	8	3	11	9	3	12
	T2	5	4	9	6	4	10	6	4	10
	T3	4	4	7	7	4	10	7	6	12
Bosque Qda. El Naranjal	T4	11	10	16	11	14	22	11	16	27
	T5	10	10	17	11	12	20	14	13	24
	T6	10	10	16	10	11	18	10	11	18

El análisis de la información recopilada en el muestreo preliminar permite obtener la cuantificación diferencial de la oferta de frutos en los transectos de borde e interior según la estratificación vertical y las formas de crecimiento o tipos funcionales de plantas. La clasificación de los tipos de frutos según Spjut 2004 permite establecer los síndromes de dispersión de semillas en cada bosque.

Conclusiones

La metodología propuesta es de fácil aplicación, permite obtener estimaciones cuantitativas y cualitativas de la oferta de frutos, se puede utilizar en áreas con diferente grado de perturbación, permite comparaciones entre coberturas y sistemas productivos, así como al interior de cada cobertura (estratificación, formas de crecimiento o tipos funcionales de plantas), pues se fundamenta en obtener información de la oferta de frutos como recurso potencial para fauna. Igualmente no requiere de periodos largos de trabajo en campo.

La principal fuente de error se puede encontrar en la estimación de la oferta de frutos totales a partir del conteo de frutos en árboles grandes, puesto que si no se realiza de forma sistemática, se puede sobreestimar el valor real. Para controlar este tipo de error es muy importante que los observadores lleven a cabo conteos repetidos, con binoculares si se requiere, desde distintas posiciones sobre una misma rama o volumen previamente definido. La estimación del volumen total de frutos a partir del cálculo del volumen de la copa del árbol y el conteo de frutos por rama o por m³ en árboles de mayores de 25 m es compleja. Se requiere por lo tanto considerar la arquitectura de la especie e incluir trampas para frutos para obtener una medida adicional que permita calibrar las observaciones.

Recomendaciones

Se recomienda aplicar la metodología en otras coberturas de los diferentes sistemas productivos de la región y en diferentes épocas del año para poder realizar comparaciones espaciales y temporales.

Es necesario estandarizar el número de transectos necesarios para analizar por unidad de cobertura, que permita obtener una estimación más acorde con el área mínima de muestreo.

Agradecimientos

Presentamos un agradecimiento especial al señor Javier Londoño y familia, por permitirnos el acceso a su propiedad y por su excelente disposición y colaboración en el desarrollo de este trabajo. Igualmente agradecemos a Mario Mora por su valioso apoyo durante la fase de campo.

Referencias

Chapman, C.A., Chapman L. J., Wingham R., Hunt K., Gebo D. & Gardner, L. 1992. Estimators of Fruit Abundance of Tropical Trees. *Biotropica*, Vol. 24, No. 4. (Dec., 1992), pp. 527-531.

Chapman, C.A., Wingham R. & Chapman, L. J. 1994. Indices of Habitat-wide Fruit Abundance in Tropical Forest. *Biotropica*, Vol. 26, No. 2. (Jun., 1994), pp. 160-171.

Fielder, P.L. & Kareiva, P.M. 1998. Conservation biology: for the coming decade. Second edition. Chapman & Hall. U.S.A. 533 p.

Font-Quer, P. 1982. Diccionario de botánica. Editorial labor, Barcelona.

Franco-R, P., Betancur, J. & Fernández-A. J. L. 1997. Diversidad florística en dos bosques subandinos en el sur de Colombia. *Caldasia* 19 (1-2): 205-234.

Moreno, N. P. 1984. Glosario botánico ilustrado. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Compañía Editorial Continental. S.A. México.

Nathan, R. & Muller-Landau, H. C. 2000. Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. *Trends in Ecology and Evolution* 15:278-285.

Noss, R. F. 1987. From plant communities to landscapes in conservation inventories: a look at The Nature Conservancy (USA). *Biological Conservation* 41:11-37.

Parrado-Rosselli A., Machado J. & Prieto-López T. 2006. Comparison between Two Methods for Measuring Fruit Production in a Tropical Forest. *Biotropica*, Volume 38, Issue 2: 267-271.

Saunders, D.A. Hobbs, H.J. & Margules, C.R. 1991. Biological consequences of Ecosystem Fragmentation: a review. *Conservation Biology* 5 (1): 18-27.

Spjut R. W. 2004. A Systematic Treatment of Fruit Types. *Memoirs of the New York Botanical Garden* No. 70.

Stevenson, P., Quiñones, M. J. & Ahumada, J.A. 1998. Annual Variation in Fruiting Pattern Using Two Different Methods in a Lowland Tropical Forest, Tinigua National Park, Colombia. *Biotropica*, Volume 30, Issue 1: 129-134.

Stevenson P., Quiñones M., Ahumada J. 2000. Influence of Fruit Availability on Ecological Overlap among Four Neotropical Primates at Tinigua National Park, Colombia. *Biotropica*, Volume 32, Issue 3: 533-544.

Wilcox, B.A. & Murphy, D.D. 1985. Conservation strategy: the effects of fragmentation on extinction. *The American Naturalist* 125:879-889.

Wilson, E. O. 1988. *Biodiversity*. National Academy Press, Washington, D.C. U.S.A. 521 p.

WWF-Colombia. 2002. [En línea]

www.wwf.org.co/colombia/cifras/datos_andes_del_norte.php. [Consulta agosto 31 2004].



Murciélagos Asociados a Sistemas Naturales y Transformados en la Ecorregión Eje Cafetero



Fondo.
Árbol Finca El Ocaso ,
Fotografía: Mauricio Echeverry

Foto 1.
Artibeus

Foto 2.
Glossophaga

Fotografías:
Jairo Pérez Torres

Murciélagos Asociados a Sistemas Naturales y Transformados en la Ecorregión Eje Cafetero

Pérez-Torres, J., Sánchez-Lalinde, C., Cortés-Delgado, N.
Centro de Investigaciones y estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos
CIEBREG
Laboratorio de Ecología Funcional, Unidad de Ecología y Sistemática (UNESIS),
Departamento de Biología, Facultad de Ciencias.
Cra. 7 No. 43-82 Bogotá, Colombia.
e-mail: jaiperez@javeriana.edu.co

Abstract

In the Colombian coffee region (Called Eje Cafetero), almost 20% of the natural forest persists as immerse fragments in the predominant matrix of productive systems dedicated to agriculture and cattle ranching. Variations in the functional role of bats will depend on the nature of the matrix surrounding the fragments and the actual vegetation coverage. The structure and the assemblage composition of bats were evaluated in natural and transformed environments (agriculture and extensive cattle ranching for meat and/or milk) in Risaralda and Quindío (Colombia, South America) (2005-2006). The type of habitat (forest plantations, bamboo, pastures, shaded coffee plantations and perennial crops) was considered. Mist nets at different heights were used. The forests showed the largest amount and richness in species, followed by bamboo, perennial crops and pastures. The greatest variety of functional groups was found in forests whereas pollinators were more abundant in coffee plantations; only seed dispersers were found in the pastures. The structure and composition of assemblage is simplified locally. The increase in the complementariness on a regional level shows that the functional groups have differential answer to the type of vegetation cover.

Keywords: assemblage, Chiroptera, disperser, pollinators, productive system.

Resumen

En la región cafetera de Colombia (llamada eje cafetero), persiste menos del 20% de los bosques naturales como fragmentos inmersos en matrices dedicadas principalmente a la agricultura y la ganadería. Variaciones en el papel funcional de los murciélagos dependerán de la naturaleza de la matriz

que rodea los fragmentos y del tipo de vegetación presente. Se describe la estructura y composición del ensamblaje de murciélagos en ambientes naturales y transformados (agricultura y ganadería para carne y leche) en los departamentos de Risaralda y Quindío (Colombia, Suramérica) (2005-2006). Se tuvo en cuenta el tipo de hábitat (bosque, guadua, pastizales, plantaciones de café con sombrero y cultivos perennes). Se colocaron redes de niebla a diferentes Alturas. El bosque mostró la mayor cantidad y riqueza de especies, seguido de los guaduales, los cultivos perennes y los pastizales, respectivamente). La mayor variedad de grupos funcionales se encontró en los bosques, mientras que los polinizadores fueron más abundantes en los cafetales con sombrero; en los pastizales se encontraron únicamente dispersores de semillas. La estructura y composición del ensamblaje se está simplificando localmente. El incremento en la complementariedad regional muestra que los diferentes grupos funcionales muestran una respuesta diferencial al tipo de vegetación en cada hábitat.

Palabras clave: dispersor, ensamblaje, Chiroptera, polinizador, sistema productivo.

Introducción

Una de las regiones que presenta la mayor tasa de deforestación y pérdida de hábitat en Colombia es el eje cafetero. En esta región cerca del 78.09% del bosque andino ha sido transformado (CARDER 2004, Kattan *et al.* 2004) a sistemas productivos como la ganadería (para leche y carne) y cultivos (café, plátano, mixtos, guadua), donde la cobertura predominante es el pastizal (36.5%), seguida de los bosques (25.3%) y cultivos (19.8%) (Otero *et al.* 2005). Los paisajes de la región están constituidos por mosaicos de vegetación con una complejidad estructural diferente. De acuerdo al grado de complejidad estructural de los sistemas productivos (monocultivos, sistemas agroforestales, sistemas silvopastoriles, etc.) éstos pueden albergar una mayor diversidad y cumplir una función como corredores biológicos y como sitios para el mantenimiento de servicios ambientales (Weibull *et al.* 2003, CARDER 2004).

Los murciélagos cumplen funciones importantes en la regeneración de áreas disturbadas (Fleming 1988 y Gorchov *et al.* 1993) y el control de plagas. Aproximadamente el 30% de las especies conocidas de murciélagos son parcial o totalmente dependientes de las plantas como recurso alimenticio (Fleming 1982), obteniendo el alimento en forma de néctar, polen o fruta mientras proveen la movilidad de los granos de polen o semillas de las plantas (Fleming 1982). En este sentido, los cambios en el papel funcional (dispersores o predadores de semillas, polinizadores, controladores de plagas de insectos) que cumplen los murciélagos dependerán de la naturaleza de la matriz que rodea los fragmentos y de los hábitats presentes. En este estudio se describe la estructura y composición del ensamblaje de murciélagos en algunos ambientes naturales (bosque) y transformados (guadual, pastizal, cultivos) en el eje cafetero.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en cuatro fincas y dos áreas protegidas en Risaralda y Quindío (2005-2007) en las regiones de las cuencas de los ríos La Vieja y Otún: Reserva Forestal Bremen (extracción de madera), Finca El Descanso (cafetal con sombrío), Hacienda Nápoles (cultivos de guadua) y Finca La Floresta (ganadería para carne), Finca la Ramada (ganadería para leche), Santuario de Flora y Fauna Otún-Quimbaya (bosque natural).

Diseño de Muestreo

Se consideró el tipo de hábitat presente (bosque, gradual, pastizal, cafetal con sombrío y cultivo perenne) en cada uno de los sistemas productivos, donde se instalaron redes de niebla a diferentes alturas para la captura de los murciélagos. Las redes estuvieron abiertas desde las 18:00 hasta las 6:00 horas del día siguiente y fueron revisadas cada 15 minutos. A los murciélagos capturados se les tomaron las medidas morfométricas correspondientes y fueron identificados hasta el nivel de especie, se realizaron colectas de algunos individuos por especie como referencia para cada una de las zonas de muestreo. Los demás murciélagos capturados fueron marcados y liberados.

Análisis de los Datos

Se estimó la diversidad, riqueza y dominancia de murciélagos en cada uno de los tipos de hábitat con el índice de Shannon, índice alpha de Fischer e índice de Simpson en el programa Past (version 1.53). Se calculó la similitud entre hábitats con el índice de similitud de Jaccard en el programa Biodiversity Pro (versión 2).

Resultados y Discusión

Se registró la presencia de veintidós (22) especies de murciélagos de la familia Phyllostomidae: *Artibeus glaucus*, *Artibeus jamaicensis*, *Artibeus lituratus*, *Platyrrhinus dorsalis*, *Platyrrhinus helleri*, *Platyrrhinus* sp., *Uroderma magnirostrum*, *Vampyressa pusilla*, *Carollia perspicillata*, *Carollia brevicauda*, *Sturnira bidens*, *Sturnira erythromos*, *Sturnira ludovici*, *Sturnira* sp., *Sturnira* sp., *Mimon crenulatum*, *Glossophaga longirostris*, *Glossophaga soricina*, *Glossophaga* sp., *Anoura caudifer* y *Desmodus rotundus* (Tabla 1). Y tres (3) especies de la familia Vespertilionidae: *Eptesicus brasiliensis*, *Eptesicus furinalis* y *Myotis keaysi* (Cuadro 1).

Sturnira ludovici presentó la mayor abundancia en el bosque (23.60%) seguida de *Carollia perspicillata* (13.4%) y *Artibeus lituratus* (10.1%), sin embargo *S. ludovici* se capturó únicamente en el bosque mientras que *C. perspicillata* y *A. lituratus* se capturaron en la mayoría de los hábitats muestreados. Esto se podría explicar

por la alta abundancia de plantas pioneras del género *Piper* y *Solanum*, que son características de hábitats disturbados y son de gran importancia en la dieta de estas especies (Fenton et al. 1992, Galindo-González et al. 2000, Medellín et al. 2000, Schulze et al. 2000, Estrada y Estrada-Coates 2002, Montero & Espinoza 2005).

Un resultado similar lo encontró Cortés-Delgado (2007) en La Reserva Natural La Montaña del Ocaso (Quindío), donde la especie de murciélago frugívoro más abundante fue *Artibeus lituratus* (29%) seguida de *Carollia perspicillata* (24%) y *Artibeus jamaicensis* (23%).

Cuadro I. Especies de murciélagos capturadas en cada hábitat. B=bosque, CS=cafetal con sombrío, G=guadual, GB=guadual-bosque ripario, CC=cultivo de cítricos, PI=platanera, P=pastizal

Familia	Subfamilia	Especie	Hábitat	Gremio	Grupo funcional
Phyllostomidae	Carollinae	<i>Carollia perspicillata</i>	B, CS, G, GB	Frugívoro	Dispensor
		<i>Carollia brevicauda</i>	B	Frugívoro	Dispensor
	Desmodontinae	<i>Desmodus rotundus</i>	B, GB	Hematófago	Hematófago
	Glossophaginae	<i>Anoura caudifera</i>	CS	Nectarívoro	Polinizador
		<i>Glossophaga longirostris</i>	B, CC, PI	Nectarívoro	Polinizador
		<i>Glossophaga soricina</i>	B, CS, GB	Nectarívoro	Polinizador
		<i>Glossophaga</i> sp.	B, CS	Nectarívoro	Polinizador
	Phyllostominae	<i>Mimon crenulatum</i>	G	Insectívoro	Depredador
	Stenodermatinae	<i>Artibeus glaucus</i>	B	Frugívoro	Dispensor
		<i>Artibeus jamaicensis</i>	CC, GB, PI	Frugívoro	Dispensor
		<i>Artibeus lituratus</i>	B, CS, CC, G, GB, P	Frugívoro	Dispensor
		<i>Platyrrhinus dorsalis</i>	B	Frugívoro	Dispensor
		<i>Platyrrhinus helleri</i>	B	Frugívoro	Dispensor
		<i>Platyrrhinus</i> sp.	B	Frugívoro	Dispensor
		<i>Sturnira bidens</i>	B	Frugívoro	Dispensor
		<i>Sturnira bogotensis</i>	B	Frugívoro	Dispensor
		<i>Sturnira erythromos</i>	B	Frugívoro	Dispensor
		<i>Sturnira ludovici</i>	B	Frugívoro	Dispensor
		<i>Sturnira</i> sp.	B	Frugívoro	Dispensor
		<i>Sturnira</i> sp.	B	Frugívoro	Dispensor
		<i>Uroderma magnirostrum</i>	B	Frugívoro	Dispensor
		<i>Vampyressa pusilla</i>	B	Frugívoro	Dispensor
		Vespertilionidae	Myotinae	<i>Myotis keaysi</i>	B
Vespertilioninae	<i>Eptesicus brasiliensis</i>		B	Insectívoro	Depredador
	<i>Eptesicus furinalis</i>		B	Insectívoro	Depredador

En general el gremio que presentó más especies fue el de los frugívoros (81.9%). El bosque fue el único hábitat que presentó los cuatro gremios (frugívoro, nectarívoro, insectívoro y hematófago), siendo el de los frugívoros el más abundante (86.52%) seguido de los insectívoros (7.87%), nectarívoros (4.49%) y hematófago (1.12%) (Figura 1). En general, el bosque presentó el mayor porcentaje y número de especies (23), seguido del cafetal con sombrío y el guadual-bosque ripario (5 cada una), el guadual y el cultivo de cítricos (3, respectivamente) y por último el pastizal (1) (Figura 2). Esta diversidad trófica se refleja en la alta diversidad de especies encontradas en el bosque (Numa 2002) lo cual podría estar relacionado con la estructura de la vegetación en este hábitat y la mayor disponibilidad de recursos.

El bosque presentó la diversidad más alta lo cual puede atribuirse a un mayor esfuerzo de muestreo en este tipo de hábitat respecto a los demás. Sin embargo, la mayoría de estudios en esta zona han encontrado que el bosque presenta una mayor diversidad de especies de murciélagos respecto a los agroecosistemas (Moná & Sanabria 2001, Numa 2002, Aguilar 2005, Estrada 2005). *Artibeus glaucus*, *Carollia brevicauda*, *Eptesicus brasiliensis*, *Eptesicus furinalis*, *Myotis keaysi*, *Platyrrhinus dorsalis*, *Platyrrhinus helleri*, *Platyrrhinus* sp., *Sturnira bidens*, *Sturnira erythromis*, *Sturnira ludovici*, *Sturnira* sp., *Uroderma magnirostrum* y *Vampyressa pusilla* fueron las especies capturadas únicamente en el bosque.

Los demás hábitats con excepción del gradual y el pastizal presentaron siempre murciélagos frugívoros y nectarívoros. En el cultivo de cítricos se capturaron murciélagos nectarívoros y frugívoros (Figura 1).

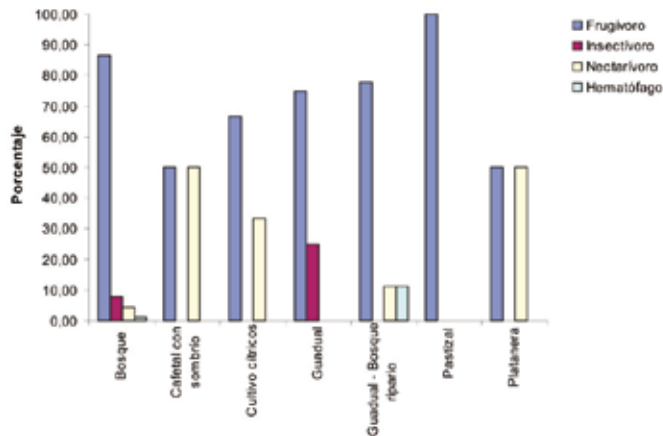


Figura 1. Porcentaje de murciélagos por gremio en cada tipo de hábitat.

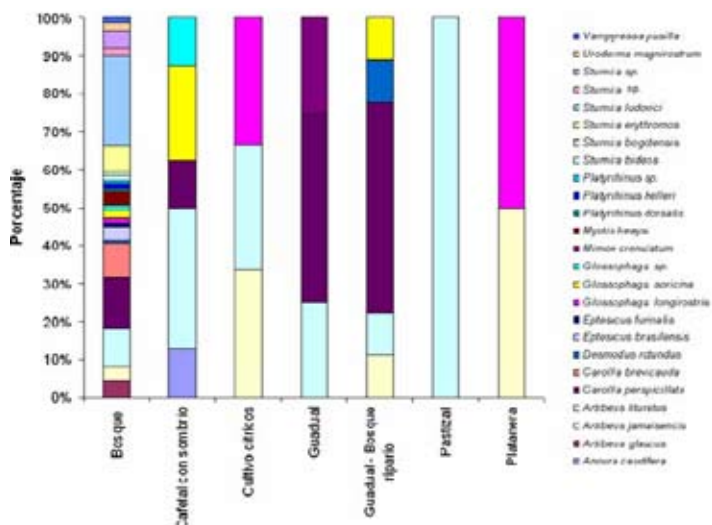


Figura 2. Porcentaje de especies de murciélagos en cada tipo de cobertura.

En el guadual se encontraron frugívoros e insectívoros. Numa (2002) encontró que el aporte del guadual a la abundancia y riqueza total de murciélagos era diferente según la matriz a la que estaba asociado, y que favorecen la abundancia de frugívoros sedentarios (como *C. perspicillata*). Esto concuerda con lo encontrado en este trabajo donde la mayoría de individuos capturados en guadual y en guadual de bosque ripario pertenecían a la especie *C. perspicillata*.

Sólo se capturó un individuo de *Artibeus lituratus* en el pastizal, un frugívoro nómada que vuela grandes distancias durante el forrajeo (Soriano 1983). Este resultado concuerda con estudios que han mostrado que en los pastizales se presenta una menor diversidad y riqueza de especies de murciélagos que en otros hábitats con una mayor complejidad estructural (Estrada et al. 1993, Galindo-González 2004, Montero & Espinoza 2005). La riqueza de murciélagos que visitan los pastizales es favorecida por la vegetación riparia y por los árboles aislados (Galindo-González & Sosa 2003), lo que les permite llegar con facilidad a las áreas abiertas. Junto con las aves, los murciélagos son los dispersores de semillas más importantes para las plantas del bosque tropical en los pastizales y vegetación sucesional temprana, ya que la estructura simplificada de esos hábitats no es una barrera para el movimiento como si lo es para otros vertebrados frugívoros (Ingle 2003).

Los murciélagos nectarívoros fueron más abundantes en el bosque y en el cafetal con sombrío, lo que puede deberse a la alta disponibilidad de plantas con flor y al uso como sitio de paso respectivamente. Estos murciélagos pueden ser más sensibles a la intervención como los mostró el estudio realizado por Quesada et al. (2003) quienes compararon hábitats disturbados y no disturbados. Encontraron que los murciélagos nectarívoros se encontraron en mayor proporción en hábitats no disturbados donde el número de granos de polen depositados en los estigmas fue significativamente mayor respecto a las flores de los hábitats disturbados. Castaño et al. (2004) estudiaron el ensamblaje de murciélagos en ocho localidades de los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío conformadas por plantaciones, cafetales y fragmentos de bosque. En la localidad donde dominaron las zonas abiertas y los pastizales encontraron que la proporción de nectarívoros fue menor que las de insectívoros y frugívoros.

El cafetal con sombrío fue el hábitat que ocupó el segundo lugar en diversidad y riqueza entre los diferentes hábitats. En general, los cafetales con sombrío presentan una mayor biomasa vegetal, cantidad de nutrientes y diversidad de organismos (Perfecto et al. 1996, Perfecto & van der Meer 1996, Eccardi 2002). La estructura vertical de la vegetación que presentan estos cafetales y que es proporcionada por los árboles que le sirven de sombrío, puede proveer a los murciélagos de una gran variedad de recursos alimenticios (insectos, frutos, polen y néctar), sitios de percha en el dosel y huecos en los troncos de los árboles (Estrada et al. 1993 y Estrada-Coates 2002).

Ortegón (2005) encontró que un cafetal con sombrío en Santander (Colombia) tenía condiciones similares de conservación a las de un bosque de acuerdo con la riqueza y diversidad que reportó. Esto lo explicó por las especies de plantas utilizadas para el sombrío ya que son consumidas por las especies de murciélagos frugívoros que encontró. Así mismo, en el eje cafetero Numa (2002) estableció la influencia del tipo de cultivo de café y la matriz comparando la abundancia y riqueza de murciélagos en cuatro tipos de hábitat: café con sombra, café asociado, bosque y guadual. Encontró que estos últimos no albergan tanta diversidad de murciélagos como los fragmentos de bosque y los cultivos con sombra.

El bosque presentó la mayor diversidad ($H' = 2.623$) en todos los sistemas productivos, seguido del cafetal con sombrío ($H' = 1.494$), guadual-bosque ripario ($H' = 1.303$), cultivo de cítricos ($H' = 1.099$), guadual ($H' = 1.04$), platanera ($H' = 0.693$) y pastizal ($H' = 0$). Aunque el bosque presentó la mayor diversidad, en general se considera que hay una baja diversidad para todos los hábitats. Lo anterior puede ser aun el reflejo de los pocos datos acumulados hasta el momento.

El bosque presentó la mayor riqueza ($\alpha = 10.05$), seguido del cafetal con sombrío ($\alpha = 5.705$), guadual ($\alpha = 5.453$), guadual - bosque ripario ($\alpha = 4.632$), la platanera, el pastizal y el cultivo de cítricos tuvieron una riqueza de cero ($\alpha = 0$).

En cuanto a la similitud entre los diferentes hábitats muestreados, según el índice de Jaccard, la platanera y el cultivo de cítricos presentaron un porcentaje de similitud del 66%, seguido del cafetal con sombrío y el guadual-bosque ripario (42.8%), y el resto de coberturas con excepción del bosque (33%). En general, los siete hábitats comparten pocas especies. El bosque compartió menos especies formando un grupo aparte (Figura 3).

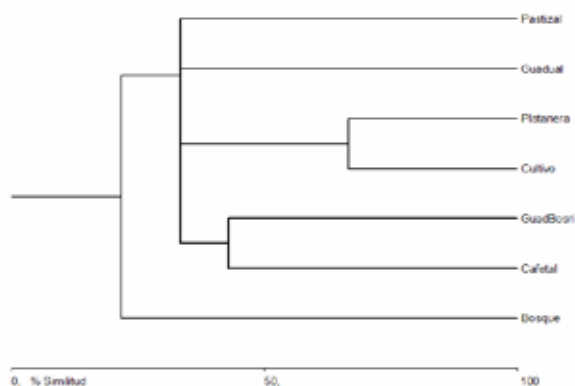


Figura 3. Índice de similitud de Jaccard de los diferentes tipos de cobertura.

En otros tipos de cultivo con sombrío, se ha reportado que cultivos (café y cacao) tienen una mayor riqueza de especies de murciélagos al comparar con cultivos

de cítricos y pimienta (Estrada *et al.* 1993) y que actúan como matriz entre los parches de bosque, y que proveen refugio (por los árboles del sombrío) y alimento (por las plantas del sotobosque) a los murciélagos (Faria 2006).

Conclusiones

El bosque fue el hábitat con mayor riqueza y diversidad respecto a los demás hábitats, sin embargo los agroecosistemas más complejos estructuralmente (ej. cafetal con sombrío) pueden llegar a albergar una diversidad similar de especies de murciélagos.

Los pastizales sirven de paso para los murciélagos que vuelan grandes distancias, pero no están aportando recursos para su persistencia.

Los murciélagos prestan servicios ambientales importantes para la regeneración de los bosques como la dispersión de semillas y la polinización, y como controladores de plagas en la predación de insectos. Por esta razón la conservación de los bosques es prioritaria ya que ofrecen mayor calidad de hábitat para los murciélagos y a su vez permiten que estos puedan cumplir su papel ecológico en los agroecosistemas.

Agradecimientos

A la Pontificia Universidad Javeriana que apoyo logística y financieramente este trabajo. Jairo Humberto Cifuentes, Ángela Umaña, Arturo Morillo, Doris Morales, Andrés Castillo de la Universidad Javeriana por el invaluable apoyo administrativo y financiero. A los dueños de la fincas La Ramada, La Floresta, El Descanso, Hacienda Nápoles. Administradores y directores de la Reserva Forestal Bremen y el Santuario de Flora y Fauna Otún-Quimbaya. John Mario Rodríguez, Juan Carlos Camargo y demás personal administrativo del CIEBREG en la oficina de Pereira. Mauricio Romero, Felipe Vélez y Tatiana Enríquez por el apoyo administrativo en la oficina del CIEBREG en Bogotá. Laura Pérez por la colaboración en campo en el Santuario Otún-Quimbaya. Amanda Varela (coordinadora) y demás colegas de la Unidad de Ecología y Sistemática (UNESIS).

Referencias

Aguilar, M. D. 2005: Dispersión de semillas por murciélagos en cuatro estados sucesionales de una localidad subandina. Tesis Biología. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de estudios ambientales y rurales. Bogotá, Colombia. 11 p.

CARDER.2004: Ecorregión eje cafetero: un territorio de oportunidades. Proyecto: Construcción de un ordenamiento territorial para el desarrollo sostenible en la Ecorregión del Eje Cafetero. Convenio CARDER-FONADE No 1068.

Convenio Corporación ALMA MATER-FOREC. Entidades ejecutoras: CARDER, CORPOCALDAS, CVC, CORTOLIMA, UAESPNN, CRQ, Corporación Red de Universidades Publicas del Eje Cafetero ALMA MATER, Universidad de Caldas, Universidad del Quindío, Universidad del Tolima, Universidad Tecnológica de Pereira, Escuela Superior de Administración Pública, Universidad Nacional Sede Manizales. Segunda Edición. Pereira.

Castaño, J.H., J.E. Botero, S. Velásquez, Corrales J.D. 2004: Murciélagos en agroecosistemas cafeteros de Colombia. *Chiroptera Neotropical* 10(1-2), 196-199.

Cortés-Delgado, N. 2007: Relación entre el tipo de hábitat en el borde con la dispersión potencial de semillas por murciélagos frugívoros hacia áreas abiertas en la reserva natural la montaña del ocaso (Quimbaya- Quindío). Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Bogotá D.C. 147 p.

Eccardi, F. 2002: América Latina y el café. *National Geographic* 11(3), Conservación.

Estrada, S. 2005: Ensamblaje de murciélagos y la dispersión de semillas que generan en diferentes hábitats de un bosque subandino colombiano. Tesis Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias biológicas. Bogotá, Colombia. 94p.

Estrada, A., R. Coates-Estrada y D. Meritt. 1993: Bat species richness and abundance in tropical rainforest fragments and in an agricultural habitats at Los Tuxtlas, México. *Ecography* 16, 309-318.

Estrada, A. & Estrada-Coates, R. 2002: Bats in continuous forest, forest fragments and in an agricultural mosaic habitat-island at Los Tuxtlas, Mexico. *Biological Conservation* 103, 237-245.

Faria, D. 2006: Phyllostomid bats of a fragmented landscape in the north-eastern Atlantic forest, Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 22, 531-542.

Fenton, M.B., L. Acharya, D. Audet, M.B.C. Hickey, C. Merriam, M.K. Obrist y D.M. Syme. 1992: Phyllostomid bats (Chiroptera: Phyllostomidae) as indicators of habitat disruption in the Neotropics. *Biotropica* 24(3), 440-446.

Fleming, T.H. 1982: Foraging strategies of plant visiting bats. En: *Ecology of Bats*. Kunz, T.H (ed.). Plenum Press. New York, USA.

Fleming, T.H. 1988: The short-tailed fruit bat: a study in plant animal interactions. University of Chicago Press. Chicago, Illinois, USA.

Galindo-González, Guevara, J., S., Sosa V.J. 2000: Bat and bird generated seed rains at isolated trees in pastures in a tropical rainforest. *Conservation Biology* 14 (6), 1693-1703.

Galindo-González, J., Sosa V.J: 2003: Frugivorous bats in isolated trees and riparian vegetation associated with human-made pastures in a fragmented tropical landscape. *Southwestern Naturalist* 48 (4), 579-589.

Galindo-González, J. 2004: Clasificación de los murciélagos de la región de Los Tuxtlas, Veracruz, respecto a su respuesta a la fragmentación del hábitat. *Acta Zoológica Mexicana* 20(2), 239-243.

Gorchov, D.L., Cornejo, F., Ascorra, C., Jaramillo, M. 1993: The role of seed dispersal in the natural regeneration of rain forest after strip-cutting in the Peruvian Amazon. In: Fleming, T.H., Estrada, A. (Eds.), *Frugivory and seed dispersal: ecological and evolutionary aspects*. Kluwer Academic Publishers, Belgium.

Ingle, N.R. 2003: Seed dispersal by wind, birds and bats between Philippine montane rainforest and successional vegetation. *Oecologia* 134, 251-261.

Iudica, C.A. 1995: Frugivoria en murciélagos: el frutero común (*Sturnira lilium*) en las Yungas de Jujuy, Argentina. En: Brown, A.D., Grau, H.R. (Eds.), *Investigación, conservación y desarrollo en selvas subtropicales de montaña*.

Kattan, G., Valderrama, C., Trujillo, A.F., Rojas-Díaz, V. 2004: Análisis de representatividad en el SIRAP EC. En: *Análisis de representatividad y biodiversidad para la construcción del sistema regional de áreas protegidas del eje cafetero*. Fundación EcoAndina, programa Colombia de Wildlife Conservation Society. World Wildlife Fund-Colombia.

Medellín, R., Gaona O. 1999: Seed dispersal by bats and birds in forest and disturbed habitats of Chiapas, México. *Biotropica* 31 (3), 478-485.

Medellín, R.A., Equihua, M., Amin, M.A. 2000: Bat diversity and abundance as indicators of disturbance in Neotropical rainforest. *Conservation Biology* 14 (6), 1666-1675.

Moná, Y., Sanabria, P.A. 2001: Composición de la comunidad de murciélagos (Chiroptera) en la franja cafetera (Quindío, Colombia). Tesis Licenciatura en biología y educación ambiental. Universidad del Quindío. Facultad de educación. Armenia, Quindío.

Montero, J., Espinoza, C. 2005: Murciélagos filostómidos (Chiroptera: Phyllostomidae) como indicadores del estado del ambiente en el Parque Nacional Piedras Blancas. Instituto Nacional de Biodiversidad.

Numa, C. 2002: Patrones espaciales de la estructura de la comunidad de quirópteros en agroecosistemas cafeteros del departamento del Quindío. Tesis Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Bogotá D.C. 98 p.

Ortegón, D.A. 2005: Estructura y composición del ensamblaje de murciélagos (Chiroptera) presentes en un cafetal con sombrío (Santander, Colombia). Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Bogotá D.C. 79 p.

Otero, J., Quiceno, M.P., Vieira, M.I., Cárdenas, K., Cabrera, E. 2005: Las Cercas Vivas: Oportunidades de uso y conservación de biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C.

Perfecto, I, Rice, A., Greenberg, R., van der Voort, M. 1996: Shade coffee: A disappearing refuge for diversity. *BioScience* 46, 598-608.

Perfecto, I, Vandermeer J. 1996: Microclimatic changes and the indirect loss of ant diversity in a tropical agroecosystem. *Oecologia* 108, 577-582.

Quesada, M., Stoner, K., Rosas-Guerrero, V., Palacios-Guevara, C., Lobo J.A. 2003: Effects of habitat disruption on the activity of nectarivorous bats (Chiroptera: Phyllostomidae) in a dry tropical forest: implications for the reproductive success of neotropical tree *Ceiba grandiflora*. *Oecologia* 135, 400-406.

Schulze, M.D., Seavy, N.E., Whitacre D.F. 2000: A comparison of the phyllostomid bat assemblages in undisturbed neotropical forest and in forest fragments of a slash-and-burn farming mosaic in Petén, Guatemala. *Biotropica* 32(1), 174-184.

Soriano, P.J. 1983: La comunidad de los chiropteros de las selvas nubladas de Los Andes de Mérida. Patrón reproductivo de los frugívoros y estrategias fenológicas de las plantas. Tesis Maestría. Maestría en Ciencias, Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 113p.

Weibull, A.C., Östmann, Ö., Granqvist, A. 2003: Species richness in agroecosystems: the effect of landscape, habitat and farm management. *Biodiversity and Conservation* 12, 1335-1355.



Estructura y Composición de la Vegetación Arbórea en el Agropaisaje del Río La Vieja



Fondo:

Guadales de la cuenca media del río La Vieja

Foto 1.

Potrero arborizado.

Foto 2.

Palma zancona (*Syagrus sancona*, arecaceae)

Foto 3.

Bosque ribereño.

Foto 4.

Paisaje del río La Vieja.

Foto 5.

Palma real o corozo de puerco (*Attalea butyracea* arecaceae).

Fotografías: Zoraida Calle

Estructura y Composición de la Vegetación Arbórea en el Agropaisaje del Río La Vieja

Calle, Z. Méndez, L. E.

Investigadores Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos
Genéticos, CIEBREG

Fundación CIPAV

Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción
Agropecuaria, CIPAV. Carrera 2 oeste No. 11-54 Barrio Santa Teresita, Cali,
Colombia

e-mail: Zoraida.Calle@cipav.org.co

Abstract

Vegetation composition and structure were studied in 15 habitat types defined by land use at the agricultural landscape of La Vieja river middle basin, including several types of forests, pasturelands and plantations. The inventory of trees and shrubs (DBH > 2.5 cm) was done in 393 plots (one thousand square meter each) distributed in 100 farms at the municipalities of Alcalá, Ulloa, Cartago, (Valle del Cauca), Circasia, Montenegro, Quimbaya and La Tebaida (Quindío) all located between 982 and 1,730 m.a.s.l. The study showed a marked contrast in vegetation structure between forests (mature, secondary, riparian and giant bamboo stands) and non-forest land uses (agriculture and cattle ranching). A total of 36,240 individual trees and shrubs were recorded belonging to 398 species, 222 genera and 81 plant families. The populations of two thirds of the tree and shrub species and a larger proportion of species of global conservation concern are confined to forest fragments with low structural connectivity. Most of the trees present in non-forest land uses do not belong to the native flora of La Vieja river basin. The highest species richness is concentrated in the Lauraceae (37), Rubiaceae (24), Moraceae (21), Euphorbiaceae (19) and Solanaceae (16). The species with the highest importance value in this landscape was giant bamboo or guadua *Guadua angustifolia* Kunth.

Keywords: biodiversity, ecologic restoration flora, forest, land use

Resumen

La composición y estructura de la vegetación se estudiaron en 15 tipos de hábitat definidos por el uso de la tierra en el agropaisaje de la cuenca media del río La Vieja, incluyendo varios tipos de bosques, potreros y cultivos. El inventario de árboles y arbustos (DAP > 2.5 cm) se llevó a cabo en 393 parcelas de 1,000 m² distribuidas en 100 fincas de los municipios de Alcalá, Ulloa y Cartago, (Valle del Cauca), Circasia, Montenegro, Quimbaya y La Tebaida (Quindío), con elevaciones entre 982 y 1,730 m.s.n.m. El estudio muestra que existe un contraste marcado en la estructura de la vegetación entre los usos forestales (bosques maduros, secundarios, ribereños y guaduales) y los usos no forestales de la tierra (sistemas ganaderos y cultivos). Se registró un total de 36,240 individuos pertenecientes a 398 especies, 222 géneros y 81 familias en el agropaisaje. Las poblaciones de dos terceras partes de las especies de árboles y arbustos, y una proporción mayor aún de las especies de interés para la conservación global, están confinadas en relictos de bosque con un bajo nivel de conectividad estructural. La mayoría de los árboles presentes en los usos no forestales de la tierra no hacen parte de la flora autóctona de la cuenca. La mayor riqueza de especies se concentra en las familias Lauraceae (37), Rubiaceae (24), Moraceae (21), Euphorbiaceae (19) y Solanaceae (16). La guadua *Guadua angustifolia* Kunth. es la especie con el mayor Índice de Valor de Importancia en el agropaisaje, con una amplia ventaja sobre otras especies dominantes, frecuentes y abundantes.

Palabras clave: biodiversidad, bosques, flora, restauración ecológica, usos de la tierra.

Introducción

El inventario de biodiversidad es un proceso estático que se aplica a la identificación de uno o varios objetivos de conservación y es una herramienta útil para planificar los esfuerzos de conservación y restauración ecológica a una escala local (Gordon & Newton, 2006).

Este artículo es una síntesis del estudio sobre la estructura y composición de la vegetación arbórea y arbustiva del agropaisaje de la cuenca media del río La Vieja, en el cual se reconoce la naturaleza heterogénea de la matriz antropogénica del paisaje. Este análisis comparativo de la riqueza y complejidad estructural de vegetación en los principales usos de la tierra, es útil para interpretar los patrones de distribución espacial de otros grupos de organismos en este paisaje. A la vez, proporciona información para orientar la restauración ecológica de los bosques y la reconversión de los sistemas productivos hacia usos de la tierra más adecuados para la conservación de la biodiversidad en el mediano plazo.

Materiales y Métodos

La cuenca media y baja del río La Vieja corresponde a las zonas de vida bosque húmedo premontano bh-PM, bosque muy húmedo premontano bmh-PM y bosque seco tropical bs-T en el sistema de Holdridge (Espinal *et al.* 1977). En esta zona, predomina el paisaje de piedemonte parcialmente disectado, representado por extensos y espesos depósitos de origen fluvio-volcánico y fluvio-glaciario, con una morfología ondulada y pendientes inclinadas. En el valle del río La Vieja, el relieve está dominado por vegas y terrazas, constituidas por depósitos no consolidados de bloques, gravas, arenas y limos (IGAC-CVC, 2004). Durante las últimas décadas los bosques de la zona han sido sometidos a procesos de tala y transformados en cultivos de yuca, cítricos, café con poco sombrero y sistemas ganaderos.

Los inventarios basados en parcelas de área fija son considerados más robustos estadísticamente y más confiables como método para estimar la riqueza de especies e identificar las especies amenazadas, que otros métodos de evaluación de la diversidad florística (Gordon & Newton, 2006).

El muestreo se llevó a cabo en parcelas de 1000 m² e incluyó todos los árboles y arbustos con un diámetro a la altura del pecho (DAP) > 2.5 cm. En la mayoría de los casos, se establecieron parcelas de 50 x 20 m. Sin embargo, en elementos del paisaje con forma alargada las parcelas fueron de 100 x 10 m. Las cercas vivas se evaluaron en transectos lineales. La mayoría de parcelas tuvieron una orientación norte-sur.

Se evaluó un total de 393 parcelas distribuidas de la siguiente forma en el agropaisaje del río La Vieja: bosque maduro BP (3), bosque ribereño BR (107), bosque secundario BS (24), cerca viva manejada CM (22), cultivo semi-perenne CS (13), cultivo perenne (café con sombrero) FO (18), cultivos de frutales FR (12), guadual GU (24), pastura degradada (vegetación) PDV (4), pastura mejorada con árboles PMA (16), pastura mejorada sin árboles PMS (119), pastura natural con árboles PNA (6), pastura natural sin árboles PNS (44), sistema silvopastoril intensivo SS (3) y sucesión vegetal SV (8). Los usos de la tierra se describen en detalle en Murgueitio *et al.* 2003.

El número de parcelas refleja la representatividad de cada uso de la tierra en el paisaje. Sin embargo, se hizo un mayor esfuerzo de muestreo en los bosques ribereños por la importancia de esta información para definir el ecosistema de referencia para la restauración ecológica en la cuenca.

Los análisis y curvas de acumulación de especies se hicieron con el programa *EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples*, Versión 7.5 (Colwell, 2005). Para este fin se agruparon las parcelas de algunos usos de la tierra con vegetación de estructura similar: bosques maduros y secundarios (BP+BS); cercos vivos, cultivos semi-perennes, café con sombra y cultivos de

frutales (CM+CS+FO+FR); pasturas degradadas, pasturas mejoradas con árboles en alta y baja densidad y pasturas naturales con árboles en alta y baja densidad (PDV+PMA+PMS PNA+PNS).

Resultados y Discusión

La densidad de tallos corresponde al número de individuos con DAP > 2.5 cm por parcela en todos los usos de la tierra, a excepción del guadual, donde refleja el número de culmos de la guadua. La mayor densidad de tallos se presenta en los guaduales, seguidos por los bosques ribereños, secundarios y maduros (Fig. 1). Entre los usos no forestales de la tierra, los cultivos semi-perennes se destacan como el uso de la tierra con mayor densidad de tallos, que en su mayoría corresponden a las especies cultivadas (plátano y café). La menor densidad de tallos se registra en seis tipos de sistemas ganaderos estudiados.

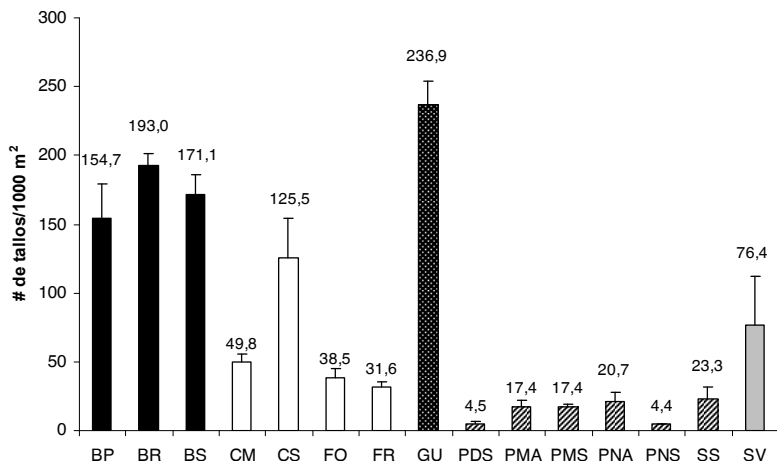


Figura 1. Densidad de tallos (DAP > 2.5 cm, promedio y error estándar) en diferentes usos de la tierra de la ventana del río La Vieja. BP=bosque maduro, BR=bosque ribereño, BS=bosque secundario, CM=cerca viva, CS=cultivo semiperenne, FO=café con sombrío, FR=cultivo de frutales, GU=guadual, PDS=pastura degradada, PMA=pastura mejorada con árboles, PMS=pastura mejorada sin árboles, PNA=pastura natural con árboles, PNS=pastura natural sin árboles, SS=sistema silvopastoril intensivo y SV=sucesión vegetal.

La comparación del área basal en los diferentes usos de la tierra revela un patrón similar al anterior (Fig. 2), con las mayores áreas basales en los bosques y guaduales. Las pasturas naturales y mejoradas con árboles (PNA y PMA respectivamente) tienen un bajo número de árboles pero una alta área basal, lo cual se debe a que poseen algunos árboles de gran tamaño.

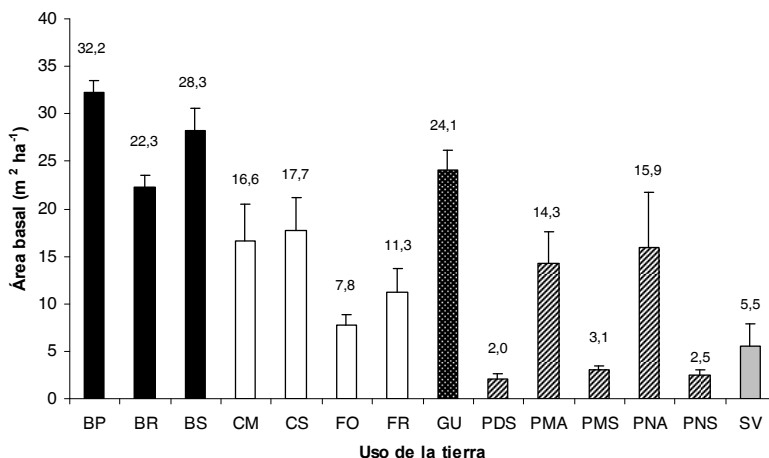


Figura 2. Área basal (DAP > 2.5 cm) promedio y error estándar en 14 usos de la tierra de la ventana del río La Vieja

Los bosques maduros (BP), secundarios (BS) y ribereños (BR) de la zona, se caracterizan por la compleja estructura vertical y la presencia de árboles de gran porte. En contraste, los bosques dominados por la guadua (GU), tienen una distribución diamétrica y de alturas más simple (Cuadro I) y una menor proporción de árboles de gran porte.

Cuadro I. Distribución diamétrica y de alturas de la vegetación en bosques, potreros y cultivos de la ventana del río La Vieja (número promedio de individuos por parcela de 1000 m²)

DAP (cm)	Bosques				Potreros						Cultivos			
	BP	BR	BS	GU	PDV	PMA	PMS	PNA	PNS	SS	CM	CS	FO	FR
< 10	93,7	112,5	116,8	132,3	1,3	4,4	0,7	5,8	1,2	21,3	24,4	52,6	17,3	10,1
10 a 20	35,7	75,2	39,3	103	0,5	4,3	0,8	4	1,2	1,8	11,8	58,6	15,3	11,2
20 a 30	13,3	2,9	8,3	0,6	2	4,4	0,7	3,8	1,2	0	7,1	13,2	4,3	6
30 a 40	5,3	1	3	0,2	0,5	1,9	0,5	4,3	0,4	0	3	0,5	0,8	3,2
>40	6,7	1,3	3,7	0,8	0,3	2,3	0,8	2,7	0,4	0,3	3,5	0,5	0,8	1,2
TOTAL	154,7	193	171,1	236,9	4,5	17,4	3,4	20,7	4,4	23,3	49,8	125,5	38,5	31,6

Altura (m)	Bosques				Potreros						Cultivos			
	BP	BR	BS	GU	PDV	PMA	PMS	PNA	PNS	SS	CM	CS	FO	FR
<5	11,7	8,1	14,5	9,3	1,3	2,0	0,3	6,0	0,5	4,0	13,2	98,5	17,2	4,4
5 a 10	67,0	38,4	74,7	31,7	1,5	8,3	1,9	5,7	2,9	18,0	29,0	25,9	17,2	25,4
10 a 15	28,7	88,7	48,3	89,5	1,3	4,9	0,7	4,7	0,7	1,3	3,5	0,8	2,8	1,0
15 a 20	34,7	55,5	29,2	98,0	0,5	1,6	0,4	3,5	0,3	0,0	2,4	0,3	1,3	0,6
20 a 25	6,3	1,8	2,7	7,8	0	0,6	0,1	0,7	0	0	1,7	0	0	0,1
25 a 30	3,3	0,3	1,3	0,4	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0,1	0,1
>30	3,0	0,1	0,3	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	154,7	192,9	171,0	236,9	4,5	17,4	3,4	20,7	4,4	23,3	49,8	125,5	38,5	31,6

Los bosques maduros (BP) y secundarios (BS) tienen los promedios más altos de riqueza de especies, seguidos por los bosques ribereños, en tanto los bosques

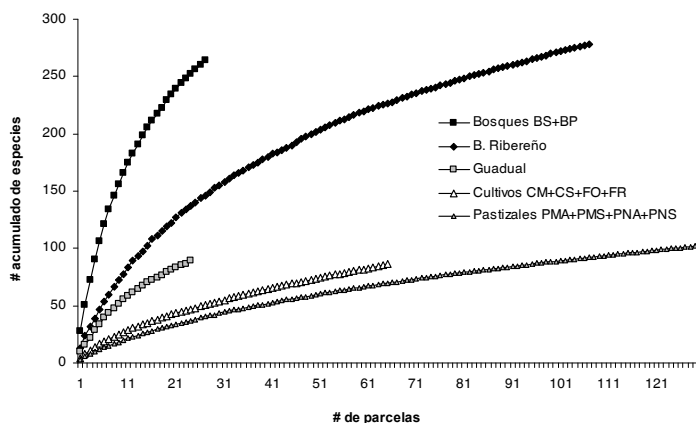
dominados por la guadua tienen en promedio un tercio de la riqueza de los bosques maduros y secundarios (Cuadro 2). Entre los sistemas productivos, la mayor riqueza se presenta en las pasturas con árboles, los cafetales con sombrío y los cultivos de frutales.

El promedio de índices de diversidad de Shannon muestra que todos los usos no forestales de la tierra, a excepción de los cultivos semi-perennes, tienen mayor diversidad de árboles y arbustos que los bosques de guadua. Esto se debe a que los guaduales presentan el menor valor promedio de equitatividad entre todos los usos de la tierra en el agropaisaje, como consecuencia de la dominancia de la guadua.

Cuadro 2. Índices de riqueza y diversidad en 11 usos de la tierra en la cuenca media del río La Vieja (promedio en negrillas y error estándar en cursivas)

Índice	Bosques				Potreros					Cultivos			
	BR	BP	BS	GU	PDS	PMA	PMS	PNA	PNS	CM	CS	FO	FR
Número de Individuos	192,95 <i>8,20</i>	154,67 <i>20,33</i>	171,13 <i>14,45</i>	236,92 <i>16,86</i>	4,50 <i>1,69</i>	17,38 <i>3,77</i>	3,38 <i>0,38</i>	20,67 <i>6,98</i>	4,42 <i>0,72</i>	49,77 <i>5,43</i>	125,54 <i>28,56</i>	38,50 <i>6,95</i>	31,58 <i>3,59</i>
Número de Especies	12,59 <i>1,09</i>	33,67 <i>1,86</i>	27,58 <i>2,96</i>	9,38 <i>1,86</i>	2,50 <i>1,19</i>	4,38 <i>0,60</i>	1,83 <i>0,19</i>	6,33 <i>0,92</i>	2,05 <i>0,23</i>	3,41 <i>0,60</i>	2,62 <i>0,46</i>	5,56 <i>1,09</i>	5,25 <i>1,38</i>
Índice de Shanon	0,95 <i>0,09</i>	2,65 <i>0,21</i>	2,24 <i>0,19</i>	0,45 <i>0,09</i>	0,58 <i>0,15</i>	1,00 <i>0,08</i>	0,64 <i>0,07</i>	1,47 <i>0,11</i>	0,68 <i>0,09</i>	0,51 <i>0,10</i>	0,21 <i>0,10</i>	1,05 <i>0,15</i>	1,03 <i>0,21</i>
Índice de Simpson	0,34 <i>0,03</i>	0,84 <i>0,05</i>	0,74 <i>0,05</i>	0,17 <i>0,04</i>	0,32 <i>0,06</i>	0,50 <i>0,03</i>	0,37 <i>0,04</i>	0,71 <i>0,02</i>	0,41 <i>0,05</i>	0,26 <i>0,05</i>	0,10 <i>0,05</i>	0,52 <i>0,06</i>	0,50 <i>0,08</i>
Equitatividad	0,37 <i>0,03</i>	0,75 <i>0,05</i>	0,68 <i>0,05</i>	0,20 <i>0,03</i>	0,96 <i>0,01</i>	0,76 <i>0,02</i>	0,91 <i>0,01</i>	0,83 <i>0,04</i>	0,89 <i>0,03</i>	0,48 <i>0,06</i>	0,24 <i>0,07</i>	0,68 <i>0,06</i>	0,75 <i>0,06</i>

La altura relativa y las pendientes de las curvas de acumulación de especies de los diferentes usos de la tierra muestran una mayor riqueza y una mayor diversidad beta (recambio de especies entre parcelas) respectivamente en los bosques secundarios (BS) y maduros (BP), seguidos por los ribereños (BR), los guaduales (GU), los cultivos y los pastizales (Figura. 3). La curva de acumulación para el agropaisaje muestra una tendencia asintótica (Figura. 3), por lo cual se considera que el muestreo es representativo de la diversidad de árboles y arbustos.



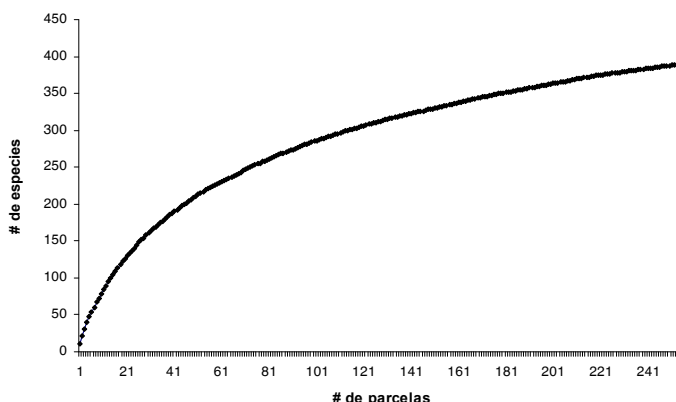


Figura 3. Tendencias de acumulación de especies en diferentes usos de la tierra y en el agropaisaje de la cuenca media de La Vieja

El cuadro 3 resume los valores de riqueza de especies para diferentes usos de la tierra y la riqueza esperada según seis estimadores de riqueza, tres de ellos basados en la incidencia de las especies (ICE, Chao2, y Jack2) y los otros en la abundancia (ACE, Chao1 y Jack1). La eficiencia del inventario de biodiversidad fue mayor para los bosques y guaduales, intermedia para cultivos y más baja para las pasturas (Cuadro 3). Para el paisaje completo se estima una eficiencia del muestreo entre 78 y 86%.

La eficiencia relativamente baja del inventario en los sistemas ganaderos no se debe a un menor esfuerzo de muestreo sino a la baja pendiente de la curva de acumulación de especies. Estos hábitats o usos de la tierra se caracterizan por bajas densidades de árboles y bajos números de especies. La tendencia de acumulación de especies es muy lenta, y por lo tanto, se requiere un número muy grande de parcelas para abarcar nuevas especies. Además, no fue posible incorporar en este análisis las parcelas que no presentaron árboles o arbustos (24 parcelas de PMS y 6 parcelas de PNS).

Cuadro 3. Riqueza de especies observada y esperada y eficiencia del muestreo de vegetación en diferentes usos de la tierra.

PARÁMETROS	USOS DE LA TIERRA					
	Bosques secundarios y maduros	Bosques ribereños	Guadales	Cultivos	Pasturas	Agro-paisaje
	BP + BS	BR	GU	CM+CS+FO+FR	PMA+PMS+PNA+PNS	Todos los usos
Número de parcelas	27	107	24	65	129	255
Especies observadas	264	278	89	86	102	390
Especies con un único registro	68	65	26	32	57	114
Especies con dos registros	29	32	12	11	13	59
Estimadores de riqueza						
ACE	322	333	111	123	172	452
ICE	362	391	144	166	204	490
Chao1	342	343	116	131	166	465
Chao2	359	394	141	157	222	499
Jack1	362	382	131	132	159	504
Jack2	409	439	156	164	202	558
Eficiencia del muestreo según ACE	82%	83%	80%	70%	59%	86%
Eficiencia del muestreo según Chao 2	73%	71%	63%	55%	46%	78%

Nota: La eficiencia se definió con base en un estimador de riqueza sensible a la abundancia (ACE) y uno sensible a la incidencia (Chao 2).

El análisis de similitud florística basado en la presencia-ausencia de especies en 11 usos de la tierra muestra dos grupos principales formados por los usos forestales (BS, BR, GU y BP) y los usos no forestales de la tierra (Fig. 4). Al interior de este segundo grupo, más heterogéneo, son evidentes diferentes agrupaciones de usos ganaderos y agrícolas.

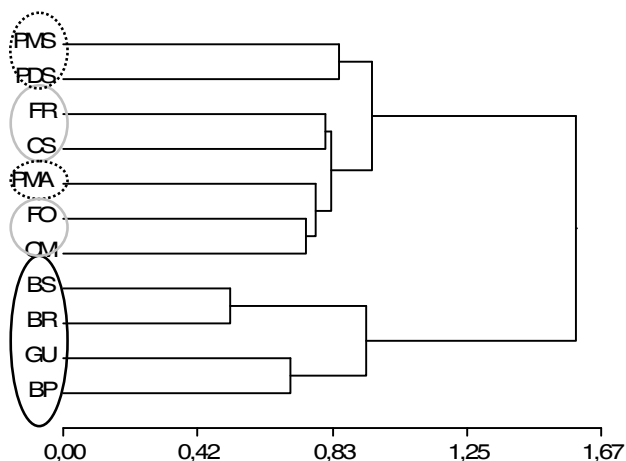


Figura 4. Similitud florística entre usos de la tierra (agrupamientos basados en distancia de Dice). Coberturas forestales en negro, cultivos en gris y sistemas ganaderos en línea punteada.

Las familias con la mayor riqueza de especies en el agropaisaje del río La Vieja son Lauraceae con 37 especies (9.3% del total), Rubiaceae 24 (6%), Moraceae 21 (5.3%), Euphorbiaceae 19 (4.7%), Solanaceae 16 (4%), Arecaceae (3.7%), Mimosaceae 14 (3.5%), Melastomataceae 13 (3.3%), Meliaceae con 12 (3%) y Papilionaceae 11 (2.7%).

En la Figura 5 se presentan las 20 familias y las 20 especies con mayor Índice de Valor de Importancia (IVI) en el agropaisaje. El alto valor de IVI de la familia Poaceae se debe casi exclusivamente a la dominancia de la guadua, mientras que en la familia Lauraceae, el alto IVI refleja la riqueza de especies y la alta representatividad de árboles como *Cinnamomum triplinerve* y *Persea americana*. Otras familias en las que el alto valor de IVI se distribuye entre más de 11 especies son Rubiaceae, Moraceae, Euphorbiaceae, Solanaceae, Arecaceae, Mimosaceae, Meliaceae y Papilionaceae.

Es importante destacar la dominancia de la guadua, cuyo valor de IVI equivale a cuatro veces el de la especie que le sigue, *Inga edulis* Mart. (Mimosaceae). Por otra parte, los guaduales son los bosques con los más bajos índices de riqueza de especies, diversidad y equitabilidad. Si bien la guadua es elemento de gran importancia funcional en este paisaje, probablemente el énfasis tan fuerte que se la ha dado a su utilización para la restauración ecológica no es la mejor estrategia para la conservación de la biodiversidad. Para optimizar la generación de bienes y servicios ambientales en las áreas restauradas es fundamental asociar a la guadua con un amplio número de especies.

Se registraron 345 especies de árboles y arbustos en los usos forestales de la tierra y 152 en los usos no forestales. Los árboles nativos más ubicuos en el paisaje (presentes en usos forestales y varios usos no forestales) son *Cecropia angustifolia* Trecul. (Cecropiaceae), *Zanthoxylum rhoifolium* Lam (Rutaceae), *Albizia caribea* (Urb.) Britton et Rose (Mimosaceae), *Cinnamomum triplinerve* (R & P) Kostermans (Lauraceae), *Cupania americana* L. (Sapindaceae), *Guarea guidonia* (L.) Sleumer (Meliaceae), *Cestrum microcalix* Francey (Solanaceae), *Croton magdalenensis* Muell. Arg. (Euphorbiaceae), *Luehea seemanii* Tr. & Pl. y *Machaerium* sp. (Papilionaceae).

De las especies propias de los bosques y guaduales de la cuenca media del río La Vieja, solo 98 (28.4%) están representadas al menos por un individuo fuera del bosque. Las restantes 247 especies, es decir 71.6% de la flora arbórea nativa, no están representadas en los usos no forestales de la tierra. Por lo tanto, las poblaciones de estas especies se encuentran confinadas en los relictos de bosque, donde su viabilidad en el mediano plazo probablemente dependerá del grado de conectividad estructural que sea posible restablecer en el paisaje.

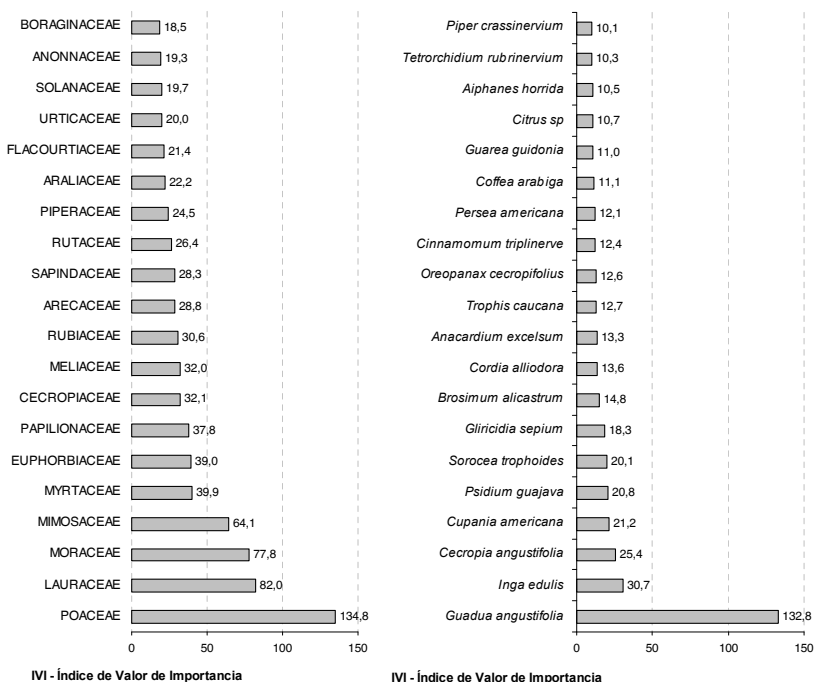


Figura 5. Familias y especies con mayor Índice de Valor de Importancia (IVI) en el agropaisaje del río La Vieja

Conclusiones y Recomendaciones

A pesar del alto nivel de fragmentación y de la pérdida de una alta proporción de los bosques originales, la cuenca media del río La Vieja, aún conserva una importante diversidad de árboles y arbustos.

Los patrones de riqueza y diversidad de especies en los diferentes usos de la tierra revelan que la mayor parte de la diversidad de árboles y arbustos está confinada en los fragmentos de bosque y corredores ribereños, y que existe un marcado contraste en la estructura y composición de la vegetación entre los usos forestales y los no forestales de la tierra.

La conservación de la biodiversidad en el mediano plazo requiere la protección de todos los relictos boscosos y la restauración de áreas degradadas con el fin de aumentar la conexión entre estos fragmentos. Adicionalmente, se requieren cambios en la estructura y composición de la matriz ganadera y agrícola para disminuir el contraste entre los sistemas de producción y los bosques y aumentar la conectividad en el paisaje.

Es necesario aumentar la representatividad de algunas especies arbóreas y arbustivas en los usos no forestales de la tierra, a través de la siembra directa y el manejo de la regeneración natural.

Algunas especies de interés para la conservación, que tienen bajos valores de abundancia, frecuencia y dominancia, y existen en poblaciones fragmentadas y aisladas, requieren planes especiales de manejo para garantizar la viabilidad de las poblaciones en el mediano y largo plazo.

Agradecimientos

Este estudio inició como parte del componente de Monitoreo de Biodiversidad del Proyecto Regional *Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas* Banco Mundial, en el cual colaboran el fondo GEF (Global Environmental Facility), la FAO, American Bird Conservancy, el CATIE (Costa Rica), Nitlapán (Nicaragua) y CIPAV (Colombia). Agradecemos a los productores de la cuenca media del río La Vieja por permitirnos hacer los inventarios biológicos en sus fincas. David Fajardo y Leonardo Rivera colaboraron en la edición de la base de datos de vegetación y en el análisis de datos, respectivamente.

Referencias

Colwell, R. K. 2005. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Versión 7.5. User's guide and application. Disponible en: <http://purl.oclc.org/estimates>.

Espinal, L. S., Tosi J. A. Jr., Montenegro, E., Toro, G., Diazgranados, D. 1977. Mapa Ecológico de Colombia (21 planchas). Ministerio de Hacienda, IGAC.

Gordon J.E. y A.C. Newton. 2006. Efficient floristic inventory for the assessment of tropical tree diversity: a comparative test of four alternative approaches. *For. Ecol. & Manag.* 237: 546-573.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi, CVC, 2004. Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del departamento del Valle del Cauca. Bogotá, Colombia, 774 p. (dos tomos).

Murgueitio, E., Ibrahim, M., Ramírez, E., Zapata, A., Mejía, C., Casasola., F. 2003. Usos de la Tierra en fincas Ganaderas. Guía para el Pago de Servicios Ambientales en el proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas. CIPAV, Cali, Colombia. 2 ED., 97 p.



Diversidad de Hormigas en el Paisaje Ganadero de la Cuenca Media del Río La Vieja



Fondo.

Hormiga Arbórea (*Dolichoderus Bispinosus*) depredando nido de abejas sin agujijón (*Meliponas*).

Fotografía: Leonardo Rivera

Foto 1.

Hormiga Nómada (*Subfia: Ecitoninae*) en columna de depredación

Fotografía: Leonardo Rivera

Foto 2.

Hormiga Arriera (*Atta cephalotes*) transportando semilla de leucaena (*Leucaena leucecephala*)

Fotografía: Selene Escobar

Foto 3.

(*Linepithema sp*) depredando chinche (Orden: Hemiptera)

Fotografía: Alex Wild

Diversidad de Hormigas en el Paisaje Ganadero de la Cuenca Media del Río La Vieja

Rivera, L.

Investigador Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos, CIEBREG.

Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, CIPAV. Carrera 2 oeste No. 11-54 Barrio Santa Teresita, Cali, Colombia

e-mail: leonardo@cipav.org.co

Abstract

The conventional model of land management in Latin America promotes the decrease of tree canopy cover in order to set huge extensions of cattle pastures. Colombia has experienced an important increase in these kind of activities and a higher increase is expected in the next decades. The model of intensive cattle raising should change for a sustainable one, using silvopastoral systems and other practices in order to help to diminish the negative impact of livestock on the landscape. These practices provide environmental benefits and improve life quality of people who depends on livestock activities. This project analyzed diversity, identity and some ecological relationships among the ant assemblages of forest and livestock systems at the "Río La Vieja" middle basin. Ants are ecologically important because of the number of complex ecological relationships they establish with other organisms. Recent studies in the livestock agroecological landscapes of Colombia have concluded that ant assemblages indicate the degree of habitat recovery. This study found that ant species composition is affected by the type of habitat. Different land uses are clearly separated into three discrete groups of ant species composition, according to habitat disturbance or modification. Results showed that the presence of trees is a determinant factor in the increase or decrease of ant species in this Andean agroecological landscape. The forest patches in the region are source and refuge of vulnerable species and their conservation is strongly recommended.

Keywords: formicidae, Bioindicators, Silvopastoral system, land use, forest patches.

Resumen

El modelo de convencional de ganadería que se maneja en América Latina, promueve la disminución de la cobertura arbórea con el fin de instalar grandes extensiones de pasto para forraje del ganado. En Colombia las áreas dedicadas a esta actividad han ido en aumento y la tendencia en los próximos años es ha seguir creciendo. Usando modelos de ganadería sostenible como los sistemas silvopastoriles, es posible disminuir el impacto que ejerce el ganado en el paisaje. Estas prácticas además de brindar servicios ambientales mejoran la calidad de vida de quienes dependen de la actividad ganadera. En el marco de este proyecto se analizó la diversidad, identidad y las relaciones de los ensamblajes de hormigas presentes en sistemas forestales y ganaderos de la cuenca media del río La Vieja. Las hormigas como grupo son importantes ecológicamente por el número de interrelaciones complejas que ellas establecen con otros organismos. Estudios recientes en agropaisajes ganaderos de Colombia, han concluido que los ensamblajes de hormigas pueden indicar el grado de recuperación del hábitat. Este estudio encontró que la composición de especies se ve afectada por el tipo de hábitat. Diferentes usos de la tierra están claramente separados en tres grupos discretos de composición de especies de hormigas de acuerdo a la perturbación y modificación del hábitat. Los resultados mostraron que la presencia de árboles es un factor determinante en el aumento o disminución de hormigas en el agropaisaje ganadero en los Andes. Se recomienda la conservación de parches de bosque, ya que son una importante fuente y refugio de especies vulnerables en el paisaje ganadero.

Palabras Clave: bioindicadores, formicidae, sistemas silvopastoriles, usos de la tierra, parches de bosque.

Introducción

La combinación de pastos con árboles y arbustos de alto valor nutricional en ganadería, conocida como sistemas silvopastoriles, genera servicios ambientales y contribuye a mejorar la calidad de vida de quienes dependen de esta actividad (Murgueitio *et al.* 2003).

Tradicionalmente se ha asumido que los paisajes agrícolas y ganaderos tienen poco valor de conservación, pero algunos estudios recientes indican que una proporción considerable de la biodiversidad original puede persistir en dichos paisajes, si éstos retienen suficiente cobertura arbórea y el paisaje mantiene un cierto grado de conectividad (Daily *et al.* 2001; Harvey *et al.* 2004; Rivera & Armbrrecht, 2005).

Por sus cualidades como indicadores de biodiversidad y perturbación, las hormigas han sido utilizadas para monitorear el impacto de actividades humanas como la ganadería y la agricultura en los ecosistemas (Majer, 1985). Su alta diversidad, abundancia en casi todo tipo de ambientes, variedad de funciones dentro de

los ecosistemas, rápida respuesta a cambios ambientales, facilidad de muestreo y taxonomía relativamente conocida (Andersen, 1999; Alonso & Agosti 2000), han dado pie para que también se usen como indicadores ecológicos y/o de biodiversidad (Peck et al. 1998; Andersen, 2000; Andersen et al. 2002; Andersen & Majer, 2004; Rivera & Armbrrecht, 2005). Sin embargo, algunos trabajos cuestionan la utilidad de las hormigas como indicadoras de biodiversidad de otros taxa (Alonso, 2000).

Pocos estudios han explorado los patrones de diversidad y composición de hormigas en sistemas ganaderos. Este trabajo busca contribuir al conocimiento sobre el papel de los sistemas silvopastoriles en la conservación de la biodiversidad, y ratificar la importancia de las hormigas como bioindicadoras.

Materiales y Métodos

Se seleccionaron 11 fincas, ubicadas en los municipios de Alcalá, Circasia, La Tebaida, Montenegro y Ulloa, entre 990 y 1800 m.s.n.m., con temperatura promedio de 24° C y precipitación promedio anual de 1000-2000 mm. La región comprende dos zonas de vida en la Ecoregión Cafetera colombiana (bosque seco tropical bs-T y bosque premontano b-PM, Espinal, 1967) localizadas en la cuenca media del río La Vieja.

Se muestrearon usos de la tierra representativos y contrastantes: pastura mejorada sin árboles (PMS), sistema silvopastoril intensivo con *Leucaena leucocephala* (SS), cerca viva permanente (CP), pastura mejorada con alta densidad de árboles (PMA), cultivo homogéneo de frutales (cítricos) (FR), bosque o plantación de guadua o bambú (GU) y bosque secundario (BS).

Se realizaron tres muestreos por un periodo de dos años. Dentro de cada lote se eligió aleatoriamente un transecto sobre el cual se ubicaron 10 estaciones de muestreo (EM) (o sitios donde se instalaron trampas y cebos) por temporada. Se utilizaron trampas de caída enterradas a ras de suelo por un tiempo de 12 h y cebos de atún y miel dispuestos tanto en el suelo como en el tronco de los árboles más cercanos a cada estación (a una altura DAP) por 30 minutos. Se muestrearon 21 lotes (siete usos con tres réplicas), con 10 estaciones separadas 10 m y 3 trampas/estación (consistentes en cebos [suelo y arbóreo] + 1 trampa pitfall). En total se evaluaron 630 muestras y 210 EM. En el uso de tierra PMS (sin árboles), se emplearon ramas secas de guadua para instalar los cebos arbóreos. Simultáneo a la colecta de hormigas (en diciembre-enero de 2006) en cada EM se evaluaron cuatro variables ambientales en cada uso de la tierra con sus réplicas: (1) temperatura en la superficie de la hojarasca mediante termómetro de suelo; (2) volumen de hojarasca de hojarasca, tomando toda la hojarasca presente en un metro cuadrado e introduciéndola en un recipiente marcado; (3) cobertura del dosel mediante densiómetro esférico de vegetación (Forestry supplies, Inc., modelo C) y (4) altura sobre el nivel del mar de cada finca.

Se realizó un análisis de riqueza y abundancia de hormigas por usos y por subfamilias. La riqueza específica es la forma más sencilla de medir la diversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tener en cuenta el valor de importancia de las mismas (Moreno, 2001). Se efectuaron análisis de conglomerados con el índice de Sokal Sneath (Ward) y correlaciones con el software Infostat.

Resultados y Discusión

Se registraron 52,745 individuos de hormigas en tres temporadas de muestreo. El registro de colección alcanza las 233 especies (o morfoespecies), pertenecientes a 47 géneros de las ocho subfamilias y los 116 géneros registrados para el neotrópico (Fernández, 2003).

Aproximadamente la mitad de especies (108) colectadas a lo largo de los muestreos pertenecen a la subfamilia Myrmicinae. Esta es la subfamilia más grande y con mayor distribución de Formicidae (Fernández, 2003). Otras subfamilias con alta riqueza de morfoespecies fueron Formicinae con 47, Ponerinae con 28, Pseudomyrmecinae con 19, Dolichoderinae con 15, Heteroponerinae con 6, Ecitoninae con 5 y Ectatomminae con 4 especies. Al nivel de los géneros, los más ricos en especies fueron *Pheidole*, *Pseudomyrmex*, *Brachymyrmex*, *Solenopsis* y *Pachycondyla* con 39, 20, 18, 17 y 15 morfos respectivamente.

El mayor número de especies se colectó en las pasturas con árboles (PMA), con el 48% del acumulado de especies registradas en el estudio (112 especies, figura 1). El resultado revela que estos sistemas pueden ser de gran importancia como hábitats para muchos organismos silvestres y para el movimiento de los individuos entre parches de bosque (Perfecto, 2003) y en condiciones apropiadas, pueden reducir la probabilidad de extinción global de una población (Armbrecht en prensa)

La riqueza de especies en PMA es cercana a la encontrada en los bosques secundarios, los cuales presentaron el 47% de la diversidad total encontrada. Los frutales por su parte alcanzan en total 99 especies, los guaduales 96, las cercas vivas 93, los sistemas silvopastoriles con leucaena 78 y la pastura mejorada sin árboles 49 especies (Figura 1).

Los usos de la tierra sin árboles hacen una contribución muy baja a la riqueza de especies en el paisaje. En la figura 1 se puede observar como las pasturas con árboles ingresan un número de especies al listado total muy cercano al de los bosques, frente a las 6 especies que aportan las cercas vivas y a las dos especies exclusivas que aportan las pasturas sin árboles. Al calcular en porcentaje estas especies exclusivas, se observa que el 9% de las especies fueron capturadas en bosque, el 9% en pasturas con árboles y el 7% en guaduales. Frente a estos resultados, las pasturas sin árboles presentan menos del 1% (0.8%) de la fauna exclusiva del sistema (Figura 1).

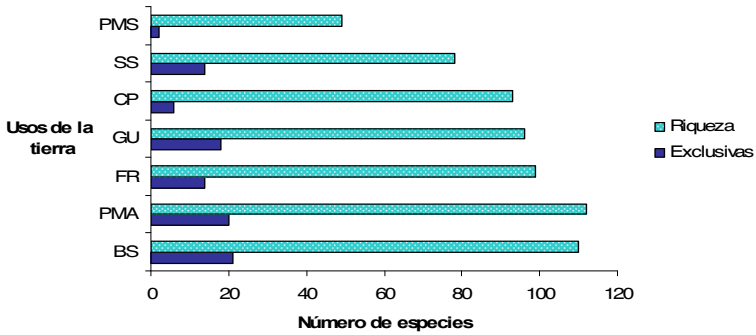


Figura 1. Especies acumuladas y exclusivas de siete usos de la tierra en zona ganadera del Valle del Cauca y Quindío, Colombia. Pastura natural sin árboles (PNS); cercas vivas permanentes (CP); pastura mejorada con alta densidad de árboles (PMA); plantación de frutales (FR); sistema silvopastoril intensivo (SS); bosque o plantación de guadua o bambú (GU); bosque secundario (BS).

El análisis de similaridad basado en el índice de Jaccard (presencia-ausencia), separa los usos de la tierra que no se explotan intensivamente, es decir, aquellos que más se asemejan a la vegetación natural de la zona (BS y GU) del resto de usos. Los tratamientos con fluctuaciones ambientales más extremas y sin presencia de vegetación arbórea (PMS y SS) se segregan del resto de usos de la tierra. (Figura 2). Este resultado se presentó en cada época de muestreo, con lo que se muestra una tendencia estable al separar la composición de especies según el grado de manejo.

Los tres grupos en los que separamos la composición son: A: con explotación intensiva (alta modificación en el hábitat), B: con manejo intermedio (ambientalmente amigable), C: sin manejo o explotación económica. Además estos usos de la tierra se agrupan según la presencia de vegetación arbustiva.

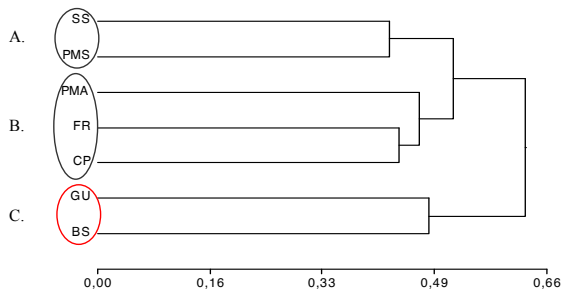


Figura 2. Agrupamiento por similaridad de los siete usos de tierra, usando el índice de similitud de Sokal Sneath. Pastura natural sin árboles (PNS); cercas vivas permanentes (CP); pastura mejorada con alta densidad de árboles (PMA); plantación de frutales (FR); sistema silvopastoril intensivo (SS); bosque o plantación de guadua o bambú (GU); bosque secundario (BS).

De las variables evaluadas en cada sitio de muestreo, la cobertura vegetal es la que mayor correlación positiva presenta con la riqueza observada (Spearman $\rho = 0.82$, $N=7$, $p < 0.0005$) (Figura 3). La variable biótica volumen de hojarasca presenta también un buen porcentaje de relación con la riqueza de especies, lo que sugiere que a mayor espesor de hojarasca se espera encontrar más especies e individuos de hormigas. El análisis de estas variables muestra que las condiciones de manejo propias de cada tratamiento y los factores climáticos, explican en forma efectiva cómo la intensificación en el uso de la tierra y la extracción de la cobertura arbórea para establecer sistemas ganaderos tienden a disminuir la riqueza de especies en comparación con los sitios poco explotados (i.e: usos forestales).

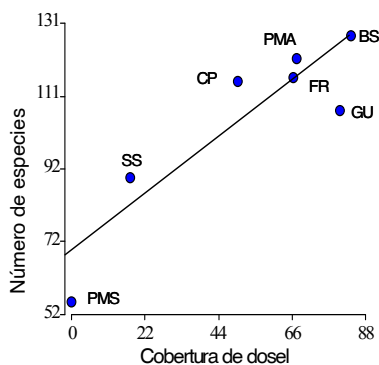


Figura 3. Correlación entre cobertura vegetal (Porcentaje de sombra de dosel que incide en cada EM) y riqueza de hormigas en el agropaisaje ganadero del Valle del Cauca y Quindío, Colombia.

Conclusiones

La composición de la fauna de hormigas se vio fuertemente afectada por el tipo de hábitat. Según los datos de incidencia de especies en cada uso y/o cobertura, la diversidad de hormigas de un lugar está ligada a la presencia de árboles y la complejidad estructural de la vegetación. La riqueza de hormigas aumenta en sistemas restaurados y con mayor componente arbóreo.

Se observó que la composición de hormigas de los sistemas trabajados segrega a las especies en tres grupos que van de acuerdo al grado de modificación del hábitat. Los bosques y guaduales fueron los usos de la tierra con mayores diferencias respecto a los demás usos.

Los resultados muestran que el factor con mayor peso sobre la reducción de la riqueza de hormigas en la zona, es la disminución de la cobertura del dosel en los usos de la tierra ganaderos.

La conservación de la riqueza de hormigas a la escala del paisaje ganadero depende de la conservación de los parches de bosque.

Agradecimientos

A la Fundación CIPAV a través del proyecto “Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas” y a la Universidad del Valle por el apoyo financiero y logístico respectivamente para la realización de este estudio. A Enrique Murgueito, Julián Chará y Zoraida Calle por su apoyo constante. A los dueños de fincas y agregados que nos permitieron trabajar en sus predios. A Maria Botero, Selene Escobar, Catalina Sanabria, Jairo Montoya, Alirio Bolívar, Paola González, Héctor Henao y Gloria Gallego por toda la ayuda e interés tanto en el trabajo de campo como en el de laboratorio y a todos los taxónomos que nos colaboraron con la identificación a nivel de especie, en especial a Tania Arias, Gustavo Zabala, Alex Wild y al doctor Fernando Fernández y su equipo de estudiantes.

Referencias

- Alonso, L.E. & D. Agosti. 2000. Biodiversity Studies; Monitoring, and Ants: An Overview. Cap. 1, págs. 1-8 en: D. Agosti, J. D. Majer, L. E. Alonso & T. Schultz (eds.). ANTS. Standard methods for measuring and monitoring biodiversity. Smithsonian Institution Press, London and Washington. 280 pp.
- Andersen, A. N. 1999. My bioindicator or yours? Making the selection. *Journal of Insect Conservation*, 3: 61-64.
- Andersen, A.N. 2000. Global Ecology of rainforest ants, functional groups in relation to environmental stress and disturbance. Pages 25-34 In
- Andersen A.N., B.D. Hoffmann, W.J. Muller and A.D. Griffiths. 2002. Using ants as bioindicator in land management: simplifying assessment of ant community responses. *Journal of Applied Ecology* 39:8-17.
- Andersen, A.N. & J.D. Majer. 2004. Ants show the way Down Under: invertebrates as bioindicators in land management. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 6:291-298.
- Calle, Z; Murgueitio, E; & Calle, N. 2002. Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas. Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria – CIPAV. 2ª edición. Pág. 65. Cali, Colombia.
- Daily, G. 2001. Ecological forecasts. *Nature* 411:245.
- Espinal, L. S. 1967. Apuntes sobre Ecología Colombiana. Universidad del Valle. Departamento de Biología. Cali.

Fernández, F. 2003. Subfamilia Myrmicinae. Cap. 22, pags 307-330 en: Fernández, F (ed.) Introducción a las hormigas de la región Neotropical. Instituto de Investigación de Recursos biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia. XXVI + 398 p.

Harvey, CA, Tucker, N, & Estrada, A. 2004. Live fences, isolated trees and windbreaks: tools for conserving biodiversity in fragmented tropical landscapes? en Schroth,G, Fonseca, GAB, Harvey, CA, Gascon, C, Vasconcelos, HL, Izac,AMN. eds. Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes. Washington, DC, US, Island Press. p. 261-289.

Majer, J. D. 1985. Recolonisation by ants of rehabilitated mineral sand mines on North Stradbroke Island, Queensland, with particular reference to seed removal. *Australian Journal of Ecology*. 10, 31-48.

Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T Manuales y Tesis SEA, vol. I. Zaragoza. 84 pp. (<http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>)

Murgueitio, E., Ibrahim, M., Ramírez, E., Zapata, A., Mejía, C. & Casasola, F. 2003. Usos de la tierra en fincas ganaderas: Guía para el pago de servicios ambientales en el proyecto “Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas”. Centro para la investigación en sistemas sostenibles de producción agropecuaria CIPAV, www.cipav.org.co

Rivera, L.F. & I. Armbrrecht. 2005. Diversidad de tres gremios de hormigas en cafetales de sombra, de sol y bosques de Risaralda. *Revista Colombiana de Entomología* 31 (1): 89-96.

Peck, S. L.; Mcquaid, B.; Campbell, L. Using ant species (Hymenoptera: Formicidae) as a biological indicator of agroecosystem condition. *Environmental Entomology*. v. 27, n. 5, p. 1102-1110, 1998.

Perfecto, I. 2003. Conservation biology and agroecology: De un pájaro las dos alas. *Endangered species Update* 20(4-5):133-145.



Contenido de Dióxido de Carbono en Suelos de la Cuenca del Río Otún



Fondo.
Laguna del Otún

Foto 1.
Vegetación de Páramo

Foto 2 y 3.
Laguna del Otún

Foto 4, 5 y 6.
Cuenca Media Alta Otún

Fotografías:
Miguel Angel Dossman

Contenido de Dióxido de Carbono en Suelos de la Cuenca del Río Otún

Arias-Giraldo, L.M¹; Camargo, J.C²; Dossman, M.A¹.

¹Investigadores CIEBREG. Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo de Investigación Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos

²Investigador CIEBREG. Profesor Asociado Universidad Tecnológica de Pereira. Director Grupo de Investigación Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos
e-mail: larias@utp.edu.co

Abstract

Carbon dioxide fixed in soils at 50 cm of depth (CO₂S) was quantified within transformed and untransformed ecosystems of Otun river basin, state of Risaralda, Colombia. A systematic sampling design was used and the study area was divided in four subzones along an elevation gradient: La Florida (1750 m.a.s.l); La Suiza–El Cedral (2018 m.a.s.l) Cedral–Peña Bonita (2431 m.a.s.l) and Laguna del Otún (3975 m.a.s.l). Thereafter, comparisons of CO₂S between subzones and soil covers were performed.

An average of 857 Tn ha⁻¹ of CO₂S was estimated. Significant differences ($p < 0.05$) were evidenced for CO₂S among subzones. Thus, lower contents of CO₂S were found associated to low elevation (726 Tn ha⁻¹) in La Florida and La Suiza, whereas CO₂S increased at higher elevations (1,130 Tn ha⁻¹ and 1,044 Tn ha⁻¹) in El Cedral–Peña Bonita and Laguna del Otún, respectively.

Also CO₂S was significantly different ($p < 0.05$) among soil covers. The higher values of CO₂S were found under paramo vegetation, eucalypt plantation and natural forest with 1,044 Tn ha⁻¹, 916 Tn ha⁻¹ and 910 Tn ha⁻¹, respectively. Values of CO₂S resulted significantly lower in soils covered by aromatic plants plantation, pastures and onion cultivation with values between 680 and 811 Tn ha⁻¹ of CO₂S. These results show how soils can support agroecosystems and provide environmental services as carbon sequestration as well. Thereby carbon sequestration tends to increase under untransformed soil covers (ie. forest, paramo vegetation) and over 2000 (m.a.s.l) where most of the territory belong to protected areas being more efficient as carbon sink.

Keywords: carbon sequestration, environmental services, farm systems, forest, global climate change.

Resumen

Se cuantificó el contenido de dióxido de carbono (CO_2) en suelos en ecosistemas transformados y no transformados de la cuenca del río Otún, departamento de Risaralda - Colombia. Para el muestreo, la cuenca se dividió de forma sistemática en cuatro subventanas de estudio de acuerdo al gradiente altitudinal, Subventana 1: Sector La Florida (1750 msnm); Subventana 2: Sector La Suiza–El Cedral (2018 msnm); Subventana 3: Sector El Cedral–Peña Bonita (2431 msnm); Subventana 4: Sector Laguna del Otún (3975 msnm). Se realizaron comparaciones del almacenamiento de carbono entre subventanas y entre las coberturas del suelo encontradas.

Se encontró en promedio para el área de estudio un contenido de $857 \text{ TnCO}_2^* \text{ha}^{-1}$ a 50 cm de profundidad. Pruebas no paramétricas mostraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre los contenidos de carbono edáfico de las subventanas, encontrando menores valores en la 1 y 2 con $726 \text{ TnCO}_2^* \text{ha}^{-1}$ en cada una y, valores más altos en las subventanas 3 y 4 con $1,130 \text{ TnCO}_2^* \text{ha}^{-1}$ y $1,044 \text{ TnCO}_2^* \text{ha}^{-1}$ respectivamente; evidenciando mayor almacenamiento de carbono en áreas que se encuentran a alturas superiores a los 2000 msnm y que en este caso coinciden con zonas de parques naturales ó áreas protegidas.

A nivel de coberturas y usos los valores de CO_2 fueron significativamente distintos ($P < 0.05$). El mayor contenido de dióxido de carbono edáfico se dio en áreas protegidas de páramo con $1,044 \text{ TnCO}_2^* \text{ha}^{-1}$, seguida por plantación de Eucalipto Baby-blue con $916 \text{ TnCO}_2^* \text{ha}^{-1}$ y Bosque con $910 \text{ TnCO}_2^* \text{ha}^{-1}$. Menores valores se presentan en cultivos de Aromáticas, sistemas silvopastoriles de cercas vivas y cultivos de hortalizas con $696 \text{ TnCO}_2^* \text{ha}^{-1}$, $694 \text{ TnCO}_2^* \text{ha}^{-1}$ y $680 \text{ TnCO}_2^* \text{ha}^{-1}$ respectivamente. Por otra parte, el cultivo de cebolla presenta contenidos de $710 \text{ TnCO}_2^* \text{ha}^{-1}$ mientras las pasturas presentan $811 \text{ TnCO}_2^* \text{ha}^{-1}$. Estos resultados muestran cómo los suelos además de ser soporte de los agroecosistemas proporcionan servicios ambientales como la captura de carbono, servicio que tiende a aumentar en suelos de coberturas no transformadas (bosque, vegetación de páramo) y a más de 2000 msnm, donde la mayor parte del territorio hace parte de áreas protegidas.

Palabras clave: cambio climático global, captura de carbono, servicios ambientales, sistemas productivos, bosque.

Introducción

Existe confluencia mundial en que es primordial la generación de nuevos paradigmas de desarrollo, planteando la necesidad de acciones como inventarios de emisiones de gases efecto invernadero GEI, programas de mitigación del cambio climático global, investigación de base, promoción de la investigación, transferencia tecnológica, promoción y protección de sumideros de GEI, intercambio de información y participación ciudadana (Callo-Concha et al. 2001).

El dióxido de carbono (CO_2) es uno de los gases que contribuye al efecto de invernadero y consecuentemente al cambio climático a nivel global. Este gas es principalmente capturado de la atmósfera en sistemas terrestres mediante la fotosíntesis en las plantas. Al mismo tiempo que las plantas crecen y mueren el carbono de la planta entra al suelo, donde puede ser almacenado en la materia orgánica del suelo, tanto en la superficie como a mayores profundidades. El carbono orgánico del suelo es más o menos tres veces mayor (1550 Pg^1) que el retenido en los organismos vivos (550 Pg) (Lal *et al.* 1995); según Brown (1997) los bosques mundiales contienen alrededor de 830 Petagramos de Carbono (Pg C) en su vegetación y suelo, con 1.5 veces aproximadamente más en el suelo que en la vegetación.

Pequeños cambios en las reservas del carbono orgánico del suelo pueden tener un efecto sustancial al disminuir o aumentar los niveles de la concentración de CO_2 en la atmósfera y consecuentemente en el clima global (Schlesinger, 1995). Por lo tanto, una política exitosa para el cambio climático debe tomar en consideración la dinámica del carbono en la superficie terrestre (Stuart & Moura Costa, 1998).

En este artículo se presentan resultados sobre los contenidos de dióxido de carbono edáfico bajo diferentes usos del suelo, tanto naturales como transformados, en la cuenca del río Otún, departamento de Risaralda - Colombia y, los cambios que representan de acuerdo a cada cobertura y su ubicación espacial.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada entre los 1668 msnm y 4061 msnm, y entre los $4^{\circ}42'16.06''$ – $4^{\circ}47'00.4''$ latitud norte y $75^{\circ}24'25.3''$ – $75^{\circ}38'21.1''$ longitud oeste. El área corresponde a la cuenca del río Otún, la cual para fines de la investigación se dividió en cuatro unidades espaciales de análisis (subventanas) ubicadas en cuatro ecosistemas bien definidos (Fandiño y Wyngaarden, 2002) por cinturones altitudinales con similitudes en su flora y fauna, así: Ecosistema transformado (subventana 1: Sector La Florida); ecosistema de bosque subandino (subventana 2: Sector La Suiza–El Cedral); ecosistema de bosque altoandino (subventana 3: Sector El Cedral–Peña Bonita); y ecosistema de páramo (subventana 4: Sector Laguna del Otún) (Figura 1).

¹ 10^{15} gramos.

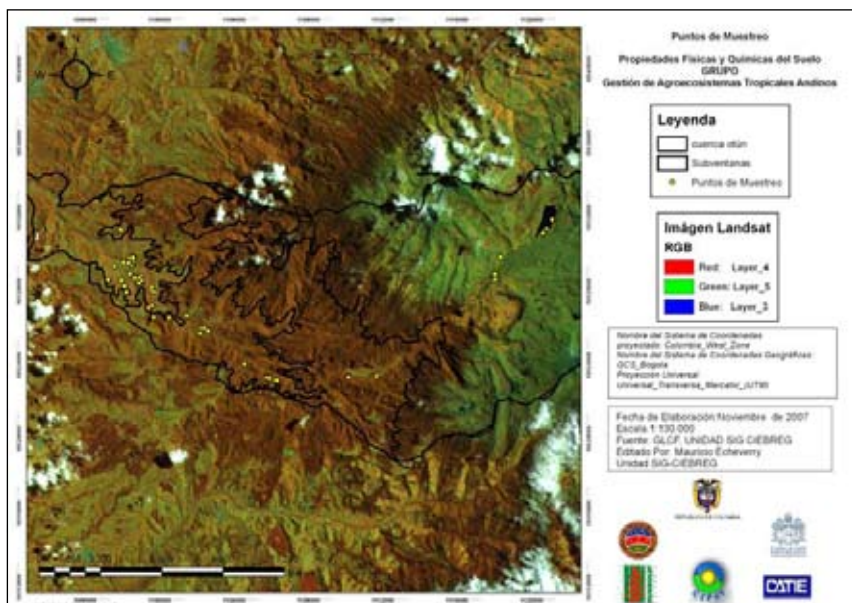


Figura 1. Mapa ecosistemas de estudio (subventanas) y puntos de muestreo para medición de carbono, Cuenca del río Otún.

Para el muestreo un total de 76 puntos fueron aleatoriamente localizados sobre ocho coberturas del suelo, entre transformados y no transformados distribuidos en los cuatro ecosistemas de estudio. Los puntos se distribuyeron en 36 puntos sobre el ecosistema transformado; 12 puntos sobre el ecosistema de bosque sub-andino; 12 puntos en el ecosistema de bosque alto-andino y 16 puntos en el ecosistema de páramo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Sitios de muestreo de carbono edáfico, cuenca del río Otún.

Subventana	Ecosistema	Ubicación	Altura promedio	Coberturas	Nº Puntos
1	Transformado	Sector La Florida	1750 msnm	Cultivo de Aromáticas Cultivo de Hortalizas Cultivo de Cebolla Plantación Eucalipto Baby-blue Pasturas Sistemas silvopastoriles Bosque	4 10 9 3 5 2 3
2	Bosque sub-andino	Sector La Suiza-El Cedral	2018 msnm	Bosque	12
3	Bosque alto-andino	Sector El Cedral-Peña Bonita	2431 msnm	Bosque Pasturas	9 3
4	Páramo	Sector Laguna del Otún	3975 msnm	Vegetación de Páramo	16

Medición y Cuantificación del Almacenamiento de Dióxido de Carbono en Suelos

En cada punto de muestreo se tomaron dos muestras de suelo compuestas, de 0–25 cm y de 25–50 cm de profundidad (P), teniendo en cuenta que el contenido

de materia orgánica decrece con la profundidad en el perfil del suelo y que la mayor parte del carbono orgánico se encuentra en la capa de 30 cm sobre el suelo (Fassbender, 1986; Kanninen, 2001). El contenido de materia orgánica (%MO) se halla por medio del método de Walkley-Black (MacDicken, 1997) y se determina el porcentaje de carbono orgánico a partir de ésta ($CC = MO/1.72$). Para estimar la densidad aparente (DA) del suelo se tomaron muestras con cilindros de volumen conocido a las mismas profundidades.

El contenido de carbono fue estimado como: **Carbono en suelo ($TnC \text{ ha}^{-1}$) = CC DA P** (Schlegel *et al.* 2001). Luego a partir del factor de conversión 3.67 se determinó el contenido de dióxido de carbono (CO_2).

Análisis de Datos

Para determinar diferencias del contenido de carbono bajo los usos y coberturas evaluadas y, entre ecosistemas, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis; para los análisis se usó un nivel de significancia del 95% y se utilizó el software estadístico SPSS versión 10.0 (SPSS, 1999).

Resultados y Discusión

Cuantificación del almacenamiento de dióxido de carbono edáfico por ecosistemas

El contenido de CO_2 en los suelos varía significativamente ($P < 0.05$) entre ecosistemas. Los ecosistemas de páramo y bosque alto-andino mostraron valores por encima de las $1,000 TnCO_2 \text{ ha}^{-1}$ en promedio a 50 cm de profundidad (Figura 2). Además de estar a mayor altitud estos ecosistemas, la mayoría de los muestreos se realizaron en coberturas boscosas y en vegetación de páramos, razón por la cual hay mayor acumulación de materia orgánica y por lo tanto mayor almacenamiento de CO_2 .

Condiciones climáticas como la temperatura influyen en el contenido de materia orgánica en el suelo; encontrando que el contenido de materia orgánica aumenta a medida que la temperatura disminuye (Fisher, 2000). De acuerdo con Fassbender (1986), estudios en suelos de Colombia también han evidenciado una relación inversa entre la materia orgánica y la temperatura, es decir, que al aumentar la temperatura decrece el contenido de materia orgánica de los suelos; en forma complementaria se puede esperar que exista un aumento del contenido de materia orgánica con la altura. La temperatura influencia tanto la producción de restos vegetales y animales que se incorporan al suelo como la velocidad de su mineralización; la mineralización se inicia a $10^\circ C$ y aumenta hasta alcanzar su máximo entre $30-40^\circ C$; de esto resulta que a temperaturas relativamente bajas se producen más restos de los que se mineralizan y a temperaturas mayores de $25-28^\circ C$ la materia orgánica disminuye; por lo tanto, temperaturas bajo el nivel crítico permiten una acumulación de materia orgánica con la mejora de una serie

de propiedades de los suelos (Fassbender, 1986) incluido el aumento del contenido de carbono edáfico.

Las altas cantidades de dióxido de carbono encontradas en el suelo de los páramos ponen en evidencia la gran capacidad de captura y almacenamiento de carbono de estos ecosistemas y la necesidad de promover un manejo sostenible en éstos (Rondón et al. 2002).

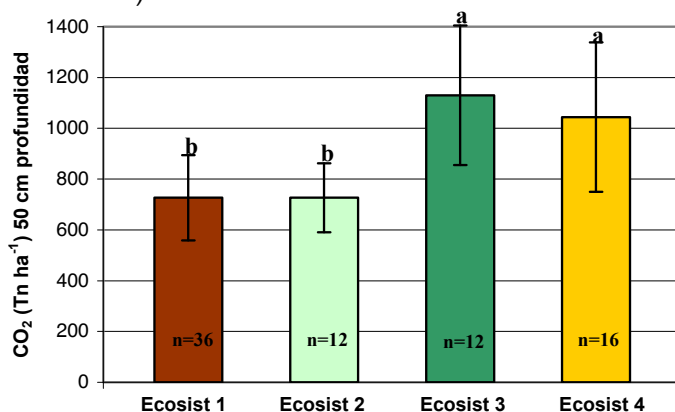


Figura 2. Contenidos de carbono en suelos (TnCO₂ ha⁻¹) a 50 cm de profundidad, por Ecosistema, cuenca del río Otún. Líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).

Comparaciones dentro de los ecosistemas, muestran también diferencias importantes entre usos y coberturas; en donde coberturas boscosas tienden a tener los valores más altos (Cuadro 2). También se destacan las pasturas que además de los factores que favorecen la acumulación de materia orgánica se agrega que éstas tienen un alto potencial para almacenar carbono orgánico en el suelo, restaurar la fertilidad natural de la tierra y aumentar la actividad biológica (Kanninen, 2000). En este sentido, se ha encontrado en algunas zonas donde la vegetación incluye tanto bosques como praderas, que el contenido de materia orgánica en el suelo es mayor en los suelos bajo praderas que bajo bosques, pues la naturaleza de los residuos orgánicos de las praderas y su descomposición permiten una tasa menor de descomposición y un mayor nivel orgánico que la que se encuentra bajo bosques (Fisher, 2000).

Cuadro 2. Contenido de CO₂ (Tn ha⁻¹ 50 cm profundidad) en suelos bajo diferentes usos y coberturas por ecosistema, en la cuenca del río Otún.

Uso o Cobertura	Ecosistema			
	1	2	3	4
Cultivo de Aromáticas	696			
Cultivo de Hortalizas	680			
Cultivo de Cebolla	710			
Plantación de Eucalipto Baby-blue	916			
Pasturas	674		1,039	
Sistemas silvopastoriles con cercas vivas	694			
Bosque	893	726	1,160	
Vegetación de Páramo				1,044

Determinaciones del contenido de carbono en el suelo, con base en los modelos de las respuestas a los incrementos del CO₂ en la atmósfera y al calentamiento global asociado, indican que el suelo bajo praderas tropicales tiene un gran potencial para el secuestro de carbono (Parton *et al.* 1995).

Cuantificación del Almacenamiento de Dióxido de Carbono en Suelos de la Cuenca del Río Otún

El promedio de dióxido de carbono en los suelos para el área de estudio fue de 857 TnCO₂ ha⁻¹ a 50 cm de profundidad; contenido que se considera alto comparado con otros estudios en condiciones similares (Orrego y Del Valle, 2001; Kanninen, 2001). Estos valores son explicables por el predominio en la cuenca de suelos andisoles, los cuales tienen gran capacidad de almacenar materia orgánica y carbono orgánico debido a los complejos que se forman con los componentes amorfos de la matriz del suelo (Veldkamp, 1993).

Los análisis realizados muestran una mayor capacidad de secuestro de carbono bajo vegetación de páramo con 1,044 TnCO₂ ha⁻¹, seguida por plantaciones de eucalipto baby-blue, bosque y pasturas. Los menores valores se presentan en los cultivos de cebolla, aromáticas, sistemas silvopastoriles con cercas vivas y cultivos de hortalizas, siendo este último el más bajo con 680 TnCO₂ ha⁻¹. Diferencias estadísticamente significativas (P<0.05) se observan entre los niveles de carbono encontrados en los suelos de páramo (sector Laguna del Otún) con el cultivo de aromáticas, hortalizas, cebolla, pasturas y sistemas silvopastoriles. También se evidencian diferencias estadísticamente significativas (P<0.05) entre el bosque y los cultivos de hortalizas (Figura 3).

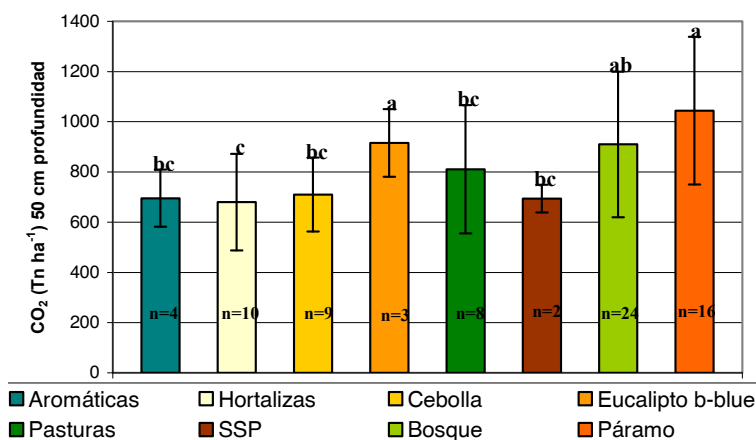


Figura 3. Contenidos de carbono en suelos (TnCO₂ ha⁻¹) a 50 cm de profundidad, bajo distintos usos y coberturas en la cuenca del río Otún. Líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).

Resultados de investigaciones muestran que los páramos andinos tienen la capacidad de almacenar importantes cantidades de carbono debido a condiciones como las bajas temperaturas, que conllevan a bajas tasas de mineralización y de reciclaje de nutrientes, favoreciendo la acumulación de materia orgánica y el almacenamiento de carbono (Rondón et al. 2002).

Aunque no se presentan diferencias estadísticamente significativas entre el CO₂ contenido en los suelos bajo bosque con respecto al eucalipto baby-blue, el mayor valor encontrado en este último puede deberse a que las prácticas de manejo determinan en gran medida el aporte y la descomposición de la materia orgánica. Es claro que a mayor productividad biológica del sistema ocurre un mayor secuestro de carbono, por lo tanto sistemas de explotación agrícola pueden tener mayor capacidad de fijar carbono que otros sistemas naturales e incluso que los bosques maduros tropicales (Botero, 2000). Este resultado es similar a lo registrado por Acosta et al. (2001) en una región Mexicana donde la cantidad de carbono del suelo en los sistemas agrícolas fue mayor que en los sistemas de bosque natural.

Sin embargo, el valor de almacenamiento arrojado por los bosques sigue siendo alto, con valores incluso superiores a los reportados para bosques tropicales donde el depósito de carbono en el suelo varía entre 60 y 115 TnC ha⁻¹ a 30 cm de profundidad (Kanninen, 2001). Estos ecosistemas de bosque presentan una diversa composición florística, predominando varios estratos herbáceos y arbóreos, los cuales aportan cantidades importantes de materia orgánica al suelo (Montenegro y Abarca, 2000).

Conclusiones

Contenidos de carbono más altos se encontraron en las subventanas 3 (sector El Cedral-Peña Bonita) y 4 (sector Laguna del Otún), coincidentes con áreas protegidas de parques naturales; evidenciando la importancia de estos ecosistemas en la generación de bienes y servicios ambientales.

Las coberturas que muestran una mayor capacidad de secuestro de carbono son las áreas protegidas de páramo seguidas por el Eucalipto baby-blue, bosque y pasturas. Menores valores se presentan en los cultivos de cebolla, aromáticas, sistemas silvopastoriles y hortalizas.

Los bosques presentan un importante almacenamiento de carbono edáfico; los valores encontrados son incluso superiores a valores reportados para bosques tropicales.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los propietarios de las fincas visitadas en la cuenca del río Otún quienes nos permitieron realizar muestreos dentro de sus predios y

nos proporcionaron su tiempo e información. De igual forma agradecemos a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira “Aguas y Aguas S.A.” por permitirnos tomar muestras de suelo en predios de su propiedad. Al Parque Nacional Natural Los Nevados por el permiso otorgado para realizar el muestreo en el sector de la Laguna del Otún y por su apoyo y acompañamiento durante dicho muestreo, en especial al doctor Jorge Lotero y a los funcionarios Milton Arias Fierro y John Eduard Rojas Osorio. A la Corporación Autónoma Regional de Risaralda CARDER por permitir el muestreo en predios de su jurisdicción (Parque Regional Natural Ucumari). A Giovanni Grajales, Harold Cardona y Juan Carlos Botero compañeros del Grupo de Investigación.

Referencias

Acosta, M; Etchevers, J.D; Monreal, C; Quednow, K; Hidalgo, C. 2001: Un método para la medición del carbono en los compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. En: Memorias del Simposio Internacional “Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales” Valdivia – Chile.

Botero, J.A. 2000: Contribución de los sistemas ganaderos tropicales al secuestro de carbono. En: Encuentro de la Red de Agroforestería Brasileira.

Brown, S. 1997: Los bosques y el cambio climático: El papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. Bosques y cambio climático y la función de los bosques como sumideros de carbono. En: XI Congreso Forestal Mundial. Antalya, Turquía.

Callo-Concha, D; Krishnamurthy, L; Alegre, J. 2001: Cuantificación del carbono secuestrado por algunos SAF's y testigos, en tres pisos ecológicos de la amazonía del Perú. In Proceedings International Symposium “Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales”. Valdivia, Chile.

Fandiño Lozano, M; Wyngaarden, V.W. 2002: Parque Nacional Natural Los Nevados Un Caso de Selección y Zonificación de Áreas de Conservación Biológica. IDEADE-DET. Bogotá D.C.

Fassbender, H.W. 1986: Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.

Fisher, M.J. 2000: Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de CO₂. Informes sobre recursos mundiales de suelos. FAO. Roma, Italia.

Kanninen, M. 2001: Sistemas silvopastoriles y almacenamiento de carbono: Potencial para América Latina. En: Conferencia Electrónica "Potencialidades de los Sistemas Silvopastoriles para la Generación de Servicios Ambientales". CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Kanninen, M. 2000: Secuestro de carbono en bosques: El papel de los bosques en el ciclo global de carbono. En: II Conferencia Electrónica "Agroforestería para la Producción Animal en América Latina". FAO – CIPAV.

Lal, R., J. Kimble, E. Levine, y C. Whitman. 1995: World soils and greenhouse effect: An overview. En: Soils and global change. Advances in Soil Science series. Lewis Pubs. Estados Unidos.

MacDicken, K.G. 1997: A guide to monitoring carbon storage in forestry and Agroforestry projects. Winrock International Institute for Agricultural Development. Arlington.

Montenegro, J; Abarca, S. 2000: Emisión de gases con efecto invernadero y fijación de carbono en el sistema de producción de café (*Coffea arabica*) en Costa Rica. En: Memorias del XIX Simposio Latinoamericano de Caficultura. San José, Costa Rica.

Orrego, S. A; Del Valle, J. I. 2001. Existencias y tasas de incremento neto de la biomasa y del carbono en bosques primarios y secundarios de Colombia. En: Memorias del Simposio Internacional "Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales". Valdivia, Chile.

Parton, W.J; Scurlock, J.M.O; Ojima, D.S; Schimel, D.S; Hall, D.O; Scopegram Group Members. 1995: Impact of climate change on grassland production and soil carbon worldwide. Revista Global Change Biol. No. 1.

Rondón, M; Amézquita, E; Díaz, E; Chávez, L.F; Paz, L; Chávez, J. 2002: Efecto de cambios en el uso del suelo sobre los almacenamientos de carbono y flujos de gases de efecto invernadero en áreas del páramo de las ánimas, Cauca, Colombia. En: Memorias Congreso Mundial de Páramos. Tomo I. Paipa, Colombia.

Schlesinger, W.H. 1995: An overview of the carbon cycle. In: R. Lal, J. Kimble, E. Levine and B.A. Stewart (eds.) Soils and global change. Lewis Publishers, Boca Raton, Louisiana, USA.

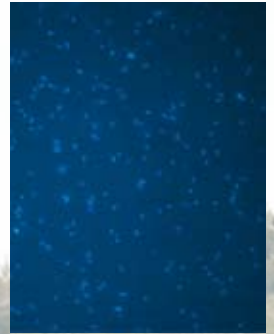
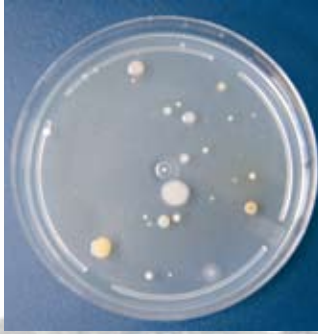
SPSS. 1999: SPSS 10.0 Syntax Reference Guide. Copyright 1999 by SPSS Inc. USA.

Stuart, M.D; Moura Costa, P. 1998: Climate change mitigation by forestry: a review of international initiatives. Policy that works for forests and people series No.

8 Discussion Paper. International Institute for Environment and Development. London.

Schlegel, B; Gayoso, J; Guerra, J. 2001: Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF D9811076. Valdivia, Chile.

Veldkamp, E. 1993: Soil organic carbon dynamics in pastures established after deforestation in the humid tropics of Costa Rica. PhD Thesis. Wageningen, NL, University of Wageningen.



Evaluación del Efecto de Diferentes Usos del Suelo sobre Grupos Funcionales Microbianos Edáficos en la Ecorregión Cafetera Colombiana



Fondo.

Cultivos mixtos en el Eje Cafetero

Fotografía: Fabio Roldán

Foto 1.

Recuento de bacterias heterótrofas en agar r2a

Fotografía: Fabio Roldán

Foto 2.

Cultivos de Café en la ventana del río La Vieja.

Fotografía: Amanda Varela

Foto 3.

Recuento de células utilizando DAPI en una muestra de suelo

Fotografía: Fabio Roldán

Foto 4.

Recuento de hongos totales en agar rosa de bengala

Fotografía: Amanda Varela

Evaluación del Efecto de Diferentes Usos del Suelo sobre Grupos Funcionales Microbianos Edáficos en la Ecorregión Cafetera Colombiana

Roldán F²., Varela A¹., García E²., Sierra L¹., Vallejo V²., Berdugo M²., Aguilera M¹., Santos, D¹., Cubillos A²., Gómez M²., Gómez-Sarmiento M¹., Latorre N²., Vela, A².

Investigadores Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos – CIEBREG.

¹ Laboratorio de Ecología de Suelos y Hongos Tropicales – LESHYT.

² Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental – USBA. Facultad de Ciencias. Pontificia Universidad Javeriana. Cra. 7 No. 43-82 Bogotá, Colombia. fabio.roldan@javeriana.edu.co, avarela@javeriana.edu.co

Abstract

The soil use effect was evaluated upon different functional microbial groups and their possible use as biological indicators of soil health. The study was based on the existing relationship between microorganisms and the ecosystems processes in which they are involved. The microbial density for each functional group was estimated by culture them in synthetic media, in two seasons (rain and dry) and these densities were correlated with physicochemical parameters (pH, temperature and soil humidity). Results indicated that highly disturbed soils by anthropogenic activities such as pastures, coffee plantation with and without shade and onion plantations create microclimatic conditions that favor the increasing of microbial abundance for the majority of functional groups evaluated. All physicochemical variables affected microbial populations of soil, but pH showed the highest effect. On the other hand, the rainy season increased microbial abundances. Microbial functional groups such as oxidizing ammonia bacteria, total fungi, and cellulolytic and proteolytic fungi showed significant differences among vegetation covers, indicating that they are highly sensitive to soil use and that they could be use as soil health indicators.

Keywords: biogeochemical cycle, quality indicators, microorganisms.

Resumen

Debido a la relación existente entre los microorganismos y los procesos mediados por ellos en los ecosistemas, se evaluó el efecto que tiene la cobertura vegetal sobre distintos grupos funcionales microbianos, y su posible utilización como indicadores

biológicos de la calidad del suelo. Por medio de técnicas dependientes de cultivo se estimaron las densidades microbianas para cada grupo funcional en dos épocas climáticas distintas (seca y de lluvia) y los resultados se correlacionaron con variables fisicoquímicas como pH, temperatura y humedad del suelo. Los resultados demostraron que las coberturas altamente intervenidas por el hombre (pastizal, cafetal con y sin sombrío y cebolla) crean condiciones microclimáticas específicas que favorecen el aumento en la densidad microbiana para la mayoría de los grupos funcionales evaluados. También se observó que las variables fisicoquímicas analizadas influyen en el comportamiento de las poblaciones microbianas edáficas y, que el pH es la variable que ejerce la mayor influencia. Por otra parte, la época climática también ejerció un efecto en las densidades microbianas, provocando un aumento en época de lluvia. Grupos funcionales como bacterias oxidadoras de amonio, hongos totales, celulolíticos y quitinolíticos se caracterizaron por presentar diferencias significativas constantes entre coberturas, indicando que son altamente sensibles a cambios en su microhábitat y por lo tanto tienen un gran potencial para ser utilizados como indicadores de calidad de los suelos.

Palabras clave: ciclos biogeoquímicos, indicadores de calidad, microorganismos, uso del suelo.

Introducción

Históricamente, los ecosistemas de los Andes centrales colombianos han sido fuertemente afectados por las actividades humanas. Debido a la elevada tasa de transformación de estos ecosistemas, se ha perdido una parte importante de la biodiversidad afectando los servicios ecológicos que la región provee y el desarrollo social y económico de la población (Rodríguez *et al.* 2004). Los efectos generados por la transformación y cambio en el uso del suelo son las principales causas de pérdida de fertilidad del suelo y diversidad de organismos, siendo los microorganismos los que presentan la mayor abundancia y diversidad metabólica en estos ecosistemas (Lambin *et al.* 2001; Tobor-Kaplon *et al.* 2005). Los microorganismos participan en procesos ecosistémicos durante la liberación y mineralización de nutrientes que son de crucial importancia en los ciclos biogeoquímicos (Lodge *et al.* 1996; Silver *et al.* 1996; Schlöter *et al.* 2003). La estrecha relación existente entre los microorganismos edáficos y las plantas también es altamente sensible a los cambios generados por la transformación de los ecosistemas (Stenberg, 1999), por esta razón los microorganismos son frecuentemente utilizados como indicadores integrales de la calidad del suelo tanto en ecosistemas naturales como en agroecosistemas (Schlöter *et al.* 2003). Sin embargo, debido a la dificultad para identificar y clasificar muchos microorganismos, la composición de las comunidades microbianas es estudiada frecuentemente teniendo en cuenta no las especies, sino los grupos funcionales definidos por sus características fisiológicas y metabólicas (Steneck y Dethier, 1994). Estos grupos son de gran importancia en procesos ecosistémicos dominantes como los ciclos

biogeoquímicos (carbono, nitrógeno, fósforo), degradación de contaminantes y mineralización de materia orgánica (Díaz y Cabido, 1997; Blondel, 2003).

Los grupos funcionales que participan directa o indirectamente en estos procesos mantienen la calidad y funcionalidad del suelo al interactuar con otros organismos, plantas y factores físico-químicos (Torres y Lizarazo, 2006). Para el estudio de los microorganismos se emplean técnicas tanto dependientes como independientes de cultivo. En las primeras se utilizan recuentos en medios de cultivo selectivos o diferenciales (recuento en placa, número más probable) y pruebas bioquímicas. Las técnicas independientes de cultivo se basan en pruebas moleculares como PCR (del inglés, polymerase chain reaction) y DGGE (del inglés, denaturant gradient gel electrophoresis), entre otras (Hill *et al.* 2000). Aunque las técnicas dependientes de cultivo sólo permiten recuperar cerca del 1% de la población total, tienen la ventaja de ser económicas, proveer información de las comunidades activas y permitir la recuperación de los microorganismos para futuros estudios (Kirk *et al.* 2004).

A pesar de la importancia de los microorganismos en los ecosistemas terrestres, la mayoría de estudios se han centrado en la función ecosistémica sin hacer referencia a las poblaciones microbianas que llevan a cabo los procesos en el suelo. Por esta razón es necesario cuantificar y entender la relación entre las comunidades microbianas y los cambios en los procesos del suelo cuando los ecosistemas son perturbados (Balsler *et al.* 2002). Teniendo en cuenta lo anterior, en este estudio se evaluó el efecto de diferentes usos del suelo sobre distintos grupos funcionales microbianos (bacterias y hongos) y se identificaron aquellos grupos que pueden ser usados como indicadores de la calidad del suelo y pérdida de funcionalidad.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en la ecorregión cafetera en los departamentos de Risaralda y Quindío. Se seleccionaron ventanas de estudio en las cuencas hidrográficas de los ríos La Vieja y Otún con base en criterios de heterogeneidad espacial, gradiente altitudinal, estructura del paisaje, la presencia de diferentes sistemas productivos y categorías de manejo (CIEBREG, 2006). En cada una de las ventanas se seleccionaron los usos más representativos y se eligieron dos fincas donde estuviera presente cada uno de ellos (Cuadro 1).

Toma de Muestras

En cada uso del suelo fue seleccionado por finca se delimitaron tres cuadrantes de 2.5 x 2.5 m ubicados por lo menos a 30 m del borde. En los vértices y centro de cada cuadrante se tomaron muestras de suelo (0-20 cm de profundidad), para obtener una muestra compuesta (~500 g), la cual fue conservada (4-6°C) hasta

su análisis. Se realizaron dos eventos de muestreo (EM) en dos épocas climáticas en Junio y Septiembre (seca y lluvia, respectivamente) para un total de 108 muestras.

Cuadro I. Sitios de muestreo por uso del suelo y sistema productivo

Cuenca	Uso del suelo	Finca	Sistema productivo predominante
La Vieja	Guadual	La Ramada	Ganadería de carne
		La Comarca	Cultivos Mixtos
	Bosque	La Ilusión	Ganadería de carne
		Bremen	Ganadería de leche
	Pastizal	La Ramada	Ganadería de leche
		Villa Ximena	Ganadería de leche
Café sin sombrero (CSS)	El Bolsillo	Cultivos Mixtos	
	La Alegría	Cultivos Mixtos	
Café con sombrero (CCS)	Buenos Aires	Cultivos Mixtos	
	Villa María	Cultivos Mixtos	
Otún	Bosque	Santa Helena	Cultivos Mixtos
		La Pastora	Área protegida
	Guadual	La Playa	Cultivos Mixtos
		Mandalay	Cultivos Mixtos
	Cebolla	Bella Vista	Cultivos Mixtos
		Macarena	Cultivos Mixtos
Plantación forestal	Playa Rica	Cultivo forestal	
	Lisbrán	Cultivo forestal	

Variables evaluadas

Se evaluaron *in situ* la profundidad de hojarasca, densidad de plantas herbáceas y arbustivas, temperatura del suelo y ambiental. En el laboratorio se determinaron parámetros fisicoquímicos como: pH por el método 9045C (EPA, 1995), porcentaje de humedad (IGAC, 1979) y concentración de nitratos por el método No. 366 (HACH, 1994).

Análisis Microbiológicos

Se determinaron las densidades de grupos funcionales relacionados con los ciclos del carbono (C) como bacterias degradadoras de hidrocarburos (HCs), heterótrofos, hongos y bacterias celulolíticos y proteolíticos, y hongos quitinolíticos. De igual manera se evaluaron microorganismos asociados al ciclo del nitrógeno (N) como las bacterias libres fijadoras de nitrógeno (BFN), nitrificantes (oxidadoras de amonio, BOA y nitrito, BON) y denitrificantes, y bacterias solubilizadoras de fosfato (BSP). Se evaluó la densidad de microorganismos totales por recuento directo por fluorescencia, utilizando DAPI (4'-6-Diamidino-2-fenilindol diclorhidrato), la de bacterias heterótrofas empleando agar R₂A, así como hongos totales por recuento en placa utilizando el Agar Rosa de Bengala (Merck®).

Para el recuento de bacterias degradadoras de HCs se utilizó la técnica de número más probable (NMP) en placas de 96 pozos, empleando el medio mínimo de sales Bushnell Haas y XTT (Polyscience) para evidenciar el metabolismo activo de los microorganismos (McCluskey *et al.* 2005; Vallejo *et al.* 2007). BON, BOA y denitrificantes también fueron cuantificados por NMP utilizando medios de cultivo específicos y modificados para cada grupo funcional (Stienstra *et al.*, 1993; Aakra *et al.* 1999; Casasús *et al.*, 2005, respectivamente). Para BOA y denitrificantes se utilizó el indicador difenilamina (Yuan *et al.* 2005) y para BON, el reactivo de Griess Ilovays (Aakra *et al.* 1999).

Para los otros grupos funcionales evaluados se utilizó el método de recuento en placa realizando diluciones seriadas en solución salina estéril (0.85%) y sembrando en medios selectivos y diferenciales para cada grupo. Para microorganismos proteolíticos se utilizó el medio descrito por Page y Col. (1982), modificado por la adición de 1 g de leche entera en polvo en lugar de gelatina. Para BFN, se utilizó el medio NFMM (Xie *et al.* 2003) modificado con la adición de 5 ml de azul de bromotimol (0.5%); para BSP, el medio Picovskaya de Nautiyal (1999); para quitinolíticos, el medio de Hsu y Lockwood (1975); para celulolíticos se utilizó el medio con celulosa microcristalina propuesto por Ramírez y Cocha (2003).

Análisis estadístico

Se evaluó la homogeneidad de varianzas y el ajuste a la distribución normal a través de las pruebas de Levene y Kolmogorov-Smirnov, encontrando que los datos obtenidos no cumplieron con estos parámetros, razón por la cual se utilizaron pruebas no paramétricas. Se realizó la prueba de Kruskal-Wallis para establecer diferencias entre los usos del suelo para cada grupo funcional. Posteriormente, para los grupos que presentaron diferencias se realizó la prueba de comparación múltiple entre tratamientos propuesta por Siegel y Castellan (1995). Se utilizó la prueba de U-Mann Whitney para establecer las diferencias entre EM (Junio y Septiembre) por grupo funcional y una correlación de Spearman para evaluar el efecto de las variables fisicoquímicas sobre las densidades de los grupos funcionales. Se utilizaron los programas estadísticos Statistica® versión 6.0 y JMP-IN® versión 4.04. Para todos los análisis se utilizó un nivel de significancia de 0.05.

Resultados y Discusión

En general, los usos del suelo con manejo intensivo generaron un aumento en las densidades de los grupos funcionales microbianos evaluados, indicando un efecto de esta intervención sobre el suelo, al transformar los hábitat naturales (Figuras 1 y 2). Las prácticas agrícolas empleadas durante el manejo del cultivo, como el uso de fertilizantes químicos y orgánicos y, plaguicidas probablemente son las principales causas de este aumento.

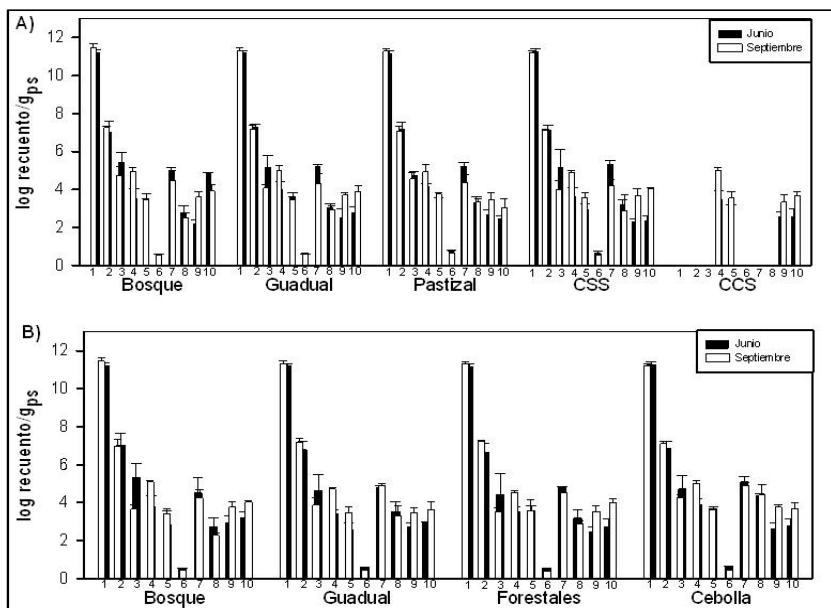


Figura 1. Densidad de los grupos funcionales de bacterias evaluados por uso de suelo en las dos ventanas A) La Vieja y B) Otún. Los números indican los grupos funcionales 1) DAPI, 2) Heterótrofos, 3) Degradadores de HCs, 4) Proteolíticas, 5) Celulolíticas, 6) Denitrificantes, 7) BON, 8) BOA, 9) BSP y 10) BFN.

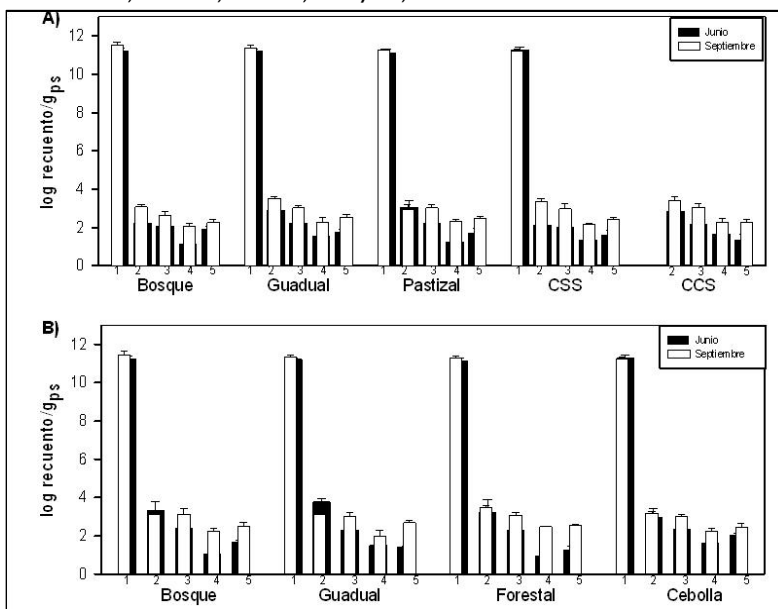


Figura 2. Densidad de los grupos funcionales de hongos evaluados por uso de suelo en las dos ventanas A) La Vieja y B) Otún. Los números indican los grupos funcionales: 1) DAPI, 2) Totales, 3) Proteolíticos, 4) Celulolíticos y 5) Quitinolíticos.

El uso de fertilizantes químicos aumenta la disponibilidad de nutrientes (N y P) que son utilizados principalmente para la formación de biomasa; sin embargo, estos elementos pueden ser empleados como fuente de energía por microorganismos quimiolitotrofos (BOA, BON y BSP). Resultados similares han sido reportados por Bruns *et al.* (1999), quienes evaluaron la diversidad de BOA en diferentes suelos y encontraron que suelos cultivados presentaron las mayores densidades en comparación con suelos nativos, debido a que la adición de fertilizantes generó un efecto de selección sobre estos grupos que se encontraban adaptados a altas concentraciones de N (NO_3^- y NH_4^+). Por esta razón, se puede reducir la heterogeneidad de hábitat en el suelo, generando un incremento de las abundancias y disminución de la riqueza taxonómica.

El uso de fertilizantes orgánicos para aumentar la producción agrícola, aporta al suelo material vegetal compuesto principalmente por polímeros como la celulosa, hemicelulosa y lignina que son de difícil degradación. Por esta razón, se necesita de la acción combinada de diversos microorganismos con actividades enzimáticas específicas (Coyne, 2000); esto podría explicar el aumento de las densidades de hongos y bacterias celulolíticas encontradas en este estudio.

La aplicación de plaguicidas probablemente estimuló la densidad de bacterias degradadoras de HCs, ya que algunos microorganismos pueden utilizarlos como fuente de carbono y energía. De igual forma, otros pueden degradar estos compuestos por cometabolismo sin obtener energía, proporcionando nuevos sustratos fácilmente asimilables para otras poblaciones (Paul *et al.* 2005). El efecto de los plaguicidas sobre los insectos, genera una amplia disponibilidad en el suelo de compuestos como la quitina, que hace parte del exoesqueleto de éstos artrópodos y por lo tanto, estimularía la densidad de hongos quitinolíticos (Ramírez, 1996).

Por otra parte, en los suelos bajo bosque se observaron las densidades más bajas para la mayoría de grupos funcionales (Figuras 1 y 2), debido posiblemente a que este uso es un sistema que posee una alta diversidad vegetal, ofreciendo una diversa gama de sustratos que favorece la riqueza de microorganismos mas no la densidad, a diferencia de los usos manejados intensivamente por el hombre. Así lo demuestra un estudio reportado por el Instituto Agustín Codazzi (IGAC, 1993 citado por Mora, 2006) durante la evaluación de la distribución de las poblaciones de hongos, actinomicetos y bacterias, bajo diferentes usos de la tierra en el departamento de Caquetá. Los autores encontraron que los suelos de bosque presentaron el índice más alto de diversidad y de riqueza biológica, mientras, que la mayor densidad poblacional fue aislada de suelos cultivados que proporcionaron condiciones favorables para el crecimiento microbiano.

Asimismo, las plantaciones forestales de pino presentaron densidades microbianas bajas para los grupos funcionales evaluados, indicando que su comportamiento ecosistémico es similar al de los bosques y que por lo tanto su uso en restauración

de áreas fuertemente degradadas por acciones humanas es una buena alternativa, adicionalmente, puede ayudar a incrementar la diversidad de grupos funcionales microbianos importantes en la producción de bienes y servicios ecosistémicos. Kelty (2006) hace referencia a la importancia del uso de plantaciones forestales en la recuperación de ecosistemas perturbados ya que éstos permiten la restauración de la vegetación nativa, un establecimiento secuencial de las especies de organismos y microorganismos asociados y la regulación de sus procesos biológicos, recuperando la funcionalidad de los ecosistemas. Sin embargo, es necesario resaltar que la conversión de bosques naturales en plantaciones forestales altera procesos biológicos claves para la autorregulación de los ecosistemas como el ciclaje de nutrientes y las tasas de descomposición de materia orgánica debido principalmente a las prácticas de manejo empleadas (Pandey *et al.* 2007).

Por otro lado, en este estudio no se encontraron diferencias significativas de las densidades en CSS y CCS a diferencia de lo reportado por González (2002), quien encontró que el CCS tiene una estructura vegetativa altamente compleja (variedad y número de estratos arbóreos), lo que produce una amplia riqueza y diversidad de especies vegetales, así como microclimas variados. Estas condiciones permiten la coexistencia de una gran cantidad de microhábitat que toleran la presencia e interrelación de muchas especies de organismos y microorganismos manteniendo el equilibrio del ecosistema. Altieri y Nicholls (2002) indicaron que la degradación de los suelos en CCS es menor a la de CSS, presentando diferencias en las propiedades de fertilidad y afectando negativamente la capacidad de mantenimiento de las poblaciones microbianas. Sin embargo, en el presente estudio los CSS estaban asociados a plátano que simulaban condiciones de sombra haciendo que este tipo de cultivos presentaran un comportamiento similar al CCS.

El guadual no presentó un efecto significativo respecto a los otros usos del suelo en la densidad de los microorganismos en los grupos funcionales evaluados, indicando que posiblemente este tipo de uso no tiene un efecto marcado sobre las poblaciones microbianas asociadas. Sin embargo, esto también puede atribuirse a que hay pocas áreas de guadales en la cuenca del Otún y los que se usaron en este estudio se encontraban altamente intervenidos por el hombre.

En cuanto a la época climática se presentó un incremento significativo de las densidades de microorganismos totales (DAPI) y para la mayoría de los grupos funcionales de hongos en el segundo evento de muestreo ($P < 0,05$) (Figura 2). La época de lluvia puede afectar los recuentos debido a que el agua ejerce un efecto sobre factores ambientales como la temperatura del suelo, humedad y pH que influyen de manera importante en la actividad microbiana. Además, el agua es importante para los microorganismos del suelo ya que favorece el transporte y la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de estos, siempre y cuando el nivel de agua no sobrepase la capacidad de campo creando condiciones anoxigénicas (Coyne, 2000).

Por otra parte, se evidenció que los parámetros físico-químicos evaluados ejercen efectos significativos sobre las densidades de los grupos funcionales. Variables como el pH, temperatura del suelo y concentración de nitrato se correlacionaron positivamente con la densidad de grupos como BOA ($r = 0.55 P = 0.0049$; $r = 0.49 P = 0.01$; $r = 0.67 P = 0.003$), BON ($r = 0.52 P = 0.008$; $r = 0.47 P = 0.02$; $r = 0.48 P = 0.017$) y denitrificantes ($r = 0.66 P = 0.005$; $r = 0.63 P = 0.009$; $r = 0.58 P = 0.02$), mientras que la humedad tuvo una relación negativa con estas poblaciones ($r = -0.54 P = 0.006$; $r = -0.44 P = 0.03$; $r = -0.65 P = 0.005$, respectivamente).

El pH también influye en la actividad y sobrevivencia de las comunidades microbianas, debido a que los procesos de nitrificación son más rápidos en suelos con rangos de pH neutro a alcalino que en los de pH ácido (Coyne, 2000) como los encontrados en este estudio, cuyos valores de pH oscilan entre 4.0 y 6.0.

Las densidades de BSP, bacterias proteolíticas, hongos celulolíticos y quitinolíticos aumentaron con el pH, ya que el crecimiento microbiano es generalmente favorecido por valores de pH cercanos a la neutralidad al generar una mayor disponibilidad de nutrientes (Hartel, 2005). Además, la actividad de las enzimas microbianas es altamente sensible a cambios de pH y se ve altamente reducida en suelos ácidos (Coyne, 2000).

En cuanto al efecto de la humedad se encontró que la mayoría de grupos funcionales se correlacionaron negativamente con esta variable, debido posiblemente a que el exceso de agua disminuye las concentraciones de oxígeno y causa la lixiviación de nutrientes, limitando así la actividad microbiana especialmente de grupos funcionales aerobios (Atlas y Bartha, 1998).

Debido a la importancia de la calidad del suelo para el mantenimiento sostenible de su fertilidad y por ende de la productividad, es importante contar con indicadores biológicos que permitan evaluar esta condición. Los microorganismos se convierten en una herramienta útil para determinar la calidad del suelo ya que tienen la capacidad metabólica de responder rápidamente a cambios ambientales generados por prácticas agrícolas, contaminación y áreas perturbadas (Ritz, *et al.* 1994; Pankhurst *et al.* 1995; George, 2006). Aunque los usos del suelo evaluados llevan más de 15 años en el área, se observa que las densidades de los grupos funcionales BOA, hongos totales, celulolíticos y quitinolíticos permiten evidenciar el efecto del uso del suelo al presentar diferencias significativas entre estos, indicando que son sensibles a cambios en su microhábitat, y por lo tanto, pueden ser utilizados como indicadores de cambio en el uso del suelo.

Conclusiones

Los grupos funcionales BOA, hongos totales, celulolíticos y quitinolíticos pueden ser utilizados como indicadores de la calidad del suelo al mostrar en términos

de su abundancia que son sensibles a los diferentes usos del suelo. Los usos con manejo intensivo por parte del hombre como los cultivos, provocan un aumento significativo en las densidades de la mayoría de los grupos funcionales. Las variables fisicoquímicas evaluadas (pH, temperatura del suelo y humedad) mostraron efectos sobre la densidad de los grupos funcionales; sin embargo, el pH es el que ejerce una mayor influencia sobre el crecimiento microbiano y su metabolismo. Para continuar con otros estudios de densidad microbiana y efecto del uso del suelo en esta zona se recomienda aumentar el número de fincas muestreadas y no tener en cuenta el gradual en la cuenca del Otún, por no presentar las condiciones ideales para la ejecución de este tipo de estudios en el área.

Referencias

Aakra, A., Utaker, J., Nes, I. and Bakken, L. 1999: An evaluated improvement of the extinction dilution method for isolation of ammonia-oxidizing bacteria. *Journal of Microbiological Methods* 39. 23-31.

Altieri, M. y Nicholls, C. 2002: Sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos en el agroecosistema de café. *Agroecology in action*. Universidad de California. Berkeley, U.S.A. 17 p.

Atlas, R. and Bartha, R. 1998: *Microbial ecology: Fundamentals and applications*. Fourth Edition. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. California, United States of America. 694 p.

Balser, T., Kinzig, A. & M. K. and Firestone. 2002. Linking Soil Microbial Communities and Ecosystem Functioning. In: P. S. W. Kinzing AP, Tilman D., (Editor). *The Functional Consequences of Biodiversity: Empirical Progress and Theoretical Extensions*. Princeton University Press. 392 p.

Blondel, J. 2003: Guilds or functional groups: does it matter? *Oikos* 100. 223-231.

Bruns, M., Stephen J., Kowalchuk, G., Prosser, J. and Eldor P. 1999: Comparative diversity of Ammonia Oxidizer 16S rRNA gene sequences in native, tilled, and successional soils. *Applied and Environmental Microbiology* 65 (7). 2994-3000.

Casasús, A., Hamilton, R., Svoronos, S. and Koopman, B. 2005: A simple model for diauxic growth of denitrifying bacteria. *Water Research* 39. 1914 -1920.

CIEBREG-Centro de investigaciones y estudios en biodiversidad y recursos genéticos. 2006: Informe bianual. Pereira, Colombia. 52 p.

Coyne, M. 2000: *Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio*. Ed. Paraninfo. Madrid, España. 416 p.

Díaz, S. and Cabido, M. 1997: Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. *Journal of Vegetation Science* 8. 463-474.

EPA. 1995: Determination of pH in soils (Method 9045C). Revisión No. 4. Pp 1-8.

George, A. 2006: Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Tesis de Maestría. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica. 118 p.

González, J. 2002: Cafetales con sombra mezclada, hábitat para fauna silvestre. *Ambientico (Artículo informativo)* 103. 1-2.

HACH. 1994 DRL/2000: Spectrophotometer Handbook. HACH, Company. Procedures Manual. USA. 567 p.

Hill, G., Mitkowski, N., Aldrich-Wolfe, L., Emele, L., Jurkonie, D., Ficke, A., Maldonado-Ramirez, S., Lynch, S. and Nelson, E. 2000: Methods for assessing the composition and diversity of soil microbial communities. *Applied Soil Ecology* 15. 25-36.

Hartel, P. 2005: Chapter 2: The soil habitat. In: Principles and applications of soil microbiology. Second Edition. Prentice Hall. New Jersey, U.S.A. 640 p.

Hsu, S. and Lockwood, J. 1975: Powdered chitin agar as a selective medium for enumeration of actinomycetes in water and soil. *Applied Microbiology* 29. 422-426.

IGAC. 1979: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Métodos analíticos de laboratorio de suelos Subdirección agrológica. Ministerio de Hacienda y Crédito público. Cuarta edición. Bogotá, Colombia. Pp. 61-67, 95-97.

Kelty, M. 2006: The role of species mixtures in plantation forestry. *Forest Ecology and Management* 233. 195-204.

Kirk, J., Beaudette, L., Hart, M., Moutoglis, P., Khironomos, J., Lee, H. and Trevors, J. 2004: Methods of studying soil microbial diversity. *Journal of Microbiological Methods* 58. 169-188.

Lambin, E., Turner, B., Geist, H., Agbola, S., Angelsen, A., Bruce, J., Coomes, O., Dirzo, R., Fisher, G., Folke, C., George, P., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Xiebin, L., Moran, E., Mortimore, M., Ramakrishnan, P., Richards, J., Skånes, H., Steffen, W., Stone, G., Svedin, U., Veldkamp, T., Vogel, C. and Xu, J. 2001:

The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11 (4): 261-269.

Lodge, D., Hawksworth, D. and Ritchie, B. 1996: Chapter 5: Microbial diversity and tropical forest functioning. In: D. a. C. e. Orians (Editor). *Ecological Studies, Biodiversity and Ecosystem Processes in Tropical Forests*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Berlin, Alemania. Pp.69.

MacCluskey, C., Quinn, J and McGrath, J. 2005: An evaluation of three new-generation tetrazolium salts for the measurements of respiratory activity in activate sludge microorganisms. *Microbial Ecology* 49. 379-387.

Mora, J. 2006: La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo. Trabajo experimental desarrollado para un Seminario Académico del Programa de Biología del suelo, Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia.6 p.

Nautiyal, C. 1999: An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS Microbiology Letters* 170. 265-270.

Page, A., Miller, R. and Keeney, D. 1982: *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and Microbiological properties*. Second Edition. Soil Science Society of America, Inc. Publisher. Wisconsin, USA. 1159 p.

Pandey, G., Sharma, S., Tripathi, G. and Singh, A. 2007: Litterfall, litter decomposition and nutrient dynamics in a subtropical natural oak forest and managed plantation in northeastern India *Forest Ecology and Management* 240. 96–104.

Pankhurst, C., Hawke, B., Mc Donald, H., Kirkby, C., Michelsen, P., O'Brien, K., Gupta, VVSR and Doube, B. 1995: Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 35. 1015- 1028.

Paul, D., Pandey, G., Pandey, J. and Jain, R. 2005: Accesing microbial diversity for bioremediation and environmental restoration. *Trends in Biotechnology* 23 (3). 135-142.

Ramírez, P. y Cocha, J. 2003: Degradación enzimática de celulosa por actinomicetos termófilos: aislamiento, caracterización y determinación de la actividad celulolítica. *Revista Peruana de Biología* 10 (1). 67-77.

Ramírez, C. 1996: Efecto de las prácticas agrícolas sobre la microflora del suelo: Oportunidades en la fitoprotección. En memorias: X Congreso Nacional Agronómico. Facultad de Agronomía. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 81-84 p.

Ritz, K., Dighton, J. and Giller, K. 1994: Beyond the biomass. British Society of soil Science and Sayce Publishing. United Kingdom. 271 p.

Rodríguez, N., Armenteras, D., Sua, S., Morales, M. and Rincón, A. 2004: Forest Biodiversity Indicators in the Colombian Andes. In Proceedings, 24th ESRI Users Conference, August. San Diego, USA. 25p.

Schlöter, M., Dilly, O. and Munch, J. 2003: Indicators for evaluating soil quality. Agriculture, Ecosystems & Environment 98. 255-262.

Siegel, S. y Castellan, N. 1995: Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta. Cuarta edición. Editorial Trillas. México, D.F., México. 437 p.

Silver, W., Brown, L. and Lugo, A. 1996: Effects of changes in biodiversity on ecosystem function in tropical forests. Conservation Biology 10. 17-24.

Stenberg, B. 1999: Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. Acta Agriculture Scandinavica sect B. Soil and Plant Science 49. 1-24.

Steneck, R. and Dethier, M. 1994: A functional group approach to the structure of algal-dominated communities. Oikos 69 (3). 476-498.

Stienstra, A., Both, G., Gerards, S. and Laanbroek, H. 1993: Numbers of nitrite-oxidizing bacteria in the root zone of grassland plants. FEMS Microbiology Ecology 12. 207-214.

Tobor-Kaplon, M., Bloem, J., Romkens, P. and De Ruiter, P. 2005: Functional stability of microbial communities in contaminated soils. Oikos 111. 119-129.

Torres, M. y Lizarazo, L. 2006: Evaluación de grupos funcionales (ciclo del C, N, P) y actividad de la fosfatasa ácida en dos suelos agrícolas del departamento de Boyacá (Colombia). Agronomía Colombiana 24 (2). 317-325.

Vallejo, V., Gutiérrez, V., Berdugo, B. y Roldán, F. 2007: Comparación de dos sales de tetrazolium para la estimación de la densidad de microorganismos degradadores de hidrocarburos (HCs) en la ecorregión cafetera-Colombia. En: Memorias del VI simposio Latinoamericano de Biodegradación y Biodeterioro (6-LABS). Bogotá-Colombia.

Xie G., Cai, M., Tao, G. y Steinberger, Y. 2003: Cultivable heterotrophic N₂-fixing bacterial diversity in rice fields in the Yangtze River Plain. Biology and Fertility of Soils 37. 29-38.

Yuan, F., Ran, W., Shen, Q. and Wang, D. 2005: Characterization of nitrifying bacteria communities of soils from different ecological regions of China by molecular and conventional methods. Biology and Fertility of Soils 41. 22-27.

Estructuras Familiares en Agroecosistemas en la Cuenca del Río La Vieja, Colombia



Fondo
Casa Campesina
Fotografía: Mauricio Echevery

Foto 1.
Productor Cartago

Fotografía: Sebastián Ramírez Arias

Estructuras Familiares en Agroecosistemas en la Cuenca del Río La Vieja, Colombia

Zúñiga, María.C¹., Feijoo -Martínez, Alexander¹., Quintero, Heimar².
Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos,
CIEBREG.

¹ Profesores Universidad Tecnológica de Pereira, Grupo en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos, GATA. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Tecnológica de Pereira. A.A. 097. Pereira, Colombia. e-mail: connie@utp.edu.co

² Profesor Pensionado Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.

Abstract

In 29 farms from La Vieja river watershed were examined the demographic characteristics of the population and the allocation of working times between the different activities to get the relationships between culture and nature. The information was collected through dialogues, interviews and participant observations. In male the group older than 46 years old constituted 82.7%, in women the range between 23-30 years was 41.7% in the farms. The generational change for men as well as for women revealed the demographic decrease and community's aging. Relating employment, productive activity and farm size were found that when predominates specialized productive systems transitory handwork is disperse, while the diversity of services offered by diversified agriculture maintains the permanence of the farm family. The female work has been invisible without monetary recognition despite of the importance for the reproductivity of the productive systems. The agricultural surfaces and the activities dedicated to the monetary production are under the men control. The unbalance of the patriarch model in aspects of gender, generations and civil states is another factor that contributes in the instability and conflict in the farmer's traditional systems.

Keywords: age, farmer, farm activities, gender, social structure.

Resumen

En 29 fincas de la cuenca del río La Vieja, Colombia se examinaron las características demográficas de la población y la asignación de tiempos de trabajo entre las diferentes actividades para interpretar relaciones entre culturas y naturaleza. La información se recolectó mediante diálogos, entrevistas y observaciones

participantes. Los sectores masculinos mayores de 46 años constituyeron el 82.7% de la población, en las mujeres el rango de 23-30 años fue el de más ocurrencia con un 41.7%. La ausencia de generación de relevo tanto para hombres como mujeres revela el declive demográfico y envejecimiento de las comunidades. Al relacionar empleo, actividad productiva y tamaño del predio se encontró que cuando predominan sistemas productivos especializados se dispersa la mano de obra transitoria, mientras que la variedad de oficios ofrecidos por la agricultura diversificada mantiene la permanencia de los miembros de la familia campesina. El trabajo femenino continuo siendo invisible sin reconocimiento monetario a pesar de la importancia para la reproductividad de los sistemas de producción. Las superficies agrícolas y las actividades dedicadas a la producción monetaria están bajo el control masculino. La inequidad del modelo patristico en aspectos de género, de generaciones, de estados civiles es otro factor que contribuye en la inestabilidad y conflicto en los sistemas tradicionales del campesinado.

Palabras clave: actividades de finca, agricultores, estructuras sociales, edad, género.

Introducción

Los estudios rurales cubren asuntos relacionados con el manejo del paisaje, la planificación, los sistemas agrícolas y usos del terreno para la evaluación de políticas, impacto ambiental y mapeo geográfico (Moller & Adriansen, 2006; Hesperger, 2006). Sin embargo, poco se ha abordado desde la interacción entre la dupla familia - finca, la estructura familiar y las relaciones de género y generacionales y la vida cotidiana de los miembros de la familia ampliada.

Desde el género (mujeres / hombres, niñas / niños), se dividen labores y se asignan funciones en los espacios de la finca, en las esferas de producción, reproducción y circulación (Robson, 2004). Los niveles jerárquicos en la estructura familiar también se asocian con la edad, al valorar aspectos tales como nivel de experiencia del operador, habilidad física para manejar la empresa particular e influencia en las decisiones. La actividad frente al uso de herramientas, asociada con la edad del agricultor, pueden servir en la definición del potencial de cambio en las fincas (Burton, 2006); por ejemplo los jóvenes se inclinan a propiciar la introducción de sistemas industriales, mientras que los adultos mayores tienden a la conservación de las prácticas tradicionales.

Las superficies de la finca se asignan en unidades espaciales discretas en las cuales es posible definir sistemas de actividades (Groot et al. 2007), con participación heterogénea de los miembros de la familia. La distribución de los espacios y de las tareas se puede abordar como indicadores en la formulación de estrategias de desarrollo encaminadas a superar las inequidades del modelo campesino patristico y para que se reproduzcan como espacios de conservación de la cultura y de prestación de servicios ambientales.

El estudio se propuso reconocer las estructuras familiares campesinas y analizar el papel del género (mujeres / hombres, niñas / niños) y de las generaciones en el sistema de actividades y toma de decisiones de las fincas. La hipótesis supuso que con la intensificación de la agricultura cambian las relaciones entre la asignación de los usos del terreno, las formas de las estructuras familiares y las edades de los miembros del núcleo familiar.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El trabajo se realizó desde julio de 2006 hasta junio de 2007 en 29 fincas (Cuadro I) de la cuenca del río La Vieja, situadas al sur occidente de Colombia en los municipios de Alcalá, Cartago, Circasia, Filandia y Quimbaya (Feijoo et al. Sin publicar).

La selección de los predios se determinó a partir del método de ventanas (nueve ventanas en forma de malla de 1 km²) que permitió el reconocimiento de fincas sin contacto e incluir diversos usos del terreno y en cada una se situaron con el GPS 16 puntos en una malla regular y distribuida cada 200 m. El diseño utilizado fue el sistemático estratificado en dos dimensiones (modelo de red cuadrada), con la selección de un par de números al azar para fijar las coordenadas de la unidad superior izquierda, el cual disminuye los efectos de la autocorrelación (Cochran, 1974); además permitió construir la grilla alineada o desalineada de manera bidimensional, de acuerdo con proyectos previos de otros programas internacionales (BIOASSESS, 2003; Mathieu et al. 2005). Las fincas se mapearon con base en las coordenadas geográficas, se midió la extensión, límites y superficies (agrícola y construida) (Figura 1). Los usos del terreno se agruparon en agropecuarios (productores que combinan cultivos con cría de animales), agrícolas (énfasis en cultivo en surcos o mixtos), pecuarios (exclusividad en la cría animal) y mixtos (usos del terreno agropecuarios con actividad extrapredial de los productores) de acuerdo con el énfasis de los agricultores - criadores en las actividades productivas de las fincas.

Cuadro I. Miembros familiares y especialización de las 29 fincas en la cuenca del río La Vieja, Colombia.

Municipio / Finca	Coordenadas		Altitud (m)	Extensión (ha)	Miembros familia	Énfasis Actividad Productiva	Superficie (ha)	
	Norte	Occidente					Agrícola	Construida
Cartago								
Remolinos	4°40'57,1"	75°50'59,1"	998	19.26	4	P	17.23	0.06
La Fontana	4°40'57,7"	75°50'52,6"	998	60.8	2	A	51.84	-
San Sebastián	4°40'44,8"	75°50'52,6"	989	38.4	2	P	36.48	-
Pinares	4°40'45,3"	75°50'39,5"	1019	83.2	4	P	70.4	-
Las Brisas	4°38'23,8"	75°51'59,7"	1340	9.1	5	AP	8.9	0.2
El Pital	4°38'10,8"	75°51'59,8"	1340	27.09	3	P	27.02	0.063
Tesorito	4°38'17,3"	75°51'46,8"	1340	14.53	9	AP	9.9	0.073
La Esperanza 2	4°38'23,8"	75°51'40,3"	1340	11.16	5	A	4	0.1
Quimbaya								
La Siberia 1	4°39'06,7"	75°46'03,3"	1302	0.64	2	AGPE	0.071	-
Villa Natalia	4°38'47,6"	75°45'57,5"	1310	7.3	4	AG	7.09	0.17
Miraflores	4°38'53,8"	75°46'03,3"	1302	11.83	5	AG	11.1	0.72
El Carey	4°38'47,3"	75°46'03,3"	1302	7.68	3	AG	7.28	-
La Esperanza 1	4°39'07,4"	75°46'56,9"	1310	2.07	4	AG	1.71	0.35
Villa Tatiana	4°39'01,0"	75°46'56,9"	1310	1.75	5	AG	1.6	0.13
La Marina	4°39'00,3"	75°46'03,3"	1302	1.38	11	AGPE	1.25	0.12
La Pastora	4°39'08,6"	75°46'50,5"	1310	9.8	5	AP	9.6	0.16
San Pedro	4°38'56,8"	75°45'44,1"	1310	8.3	6	AP	7.7	0.58
Tinajas	4°38'25,8"	75°46'26,0"	1279	4.6	4	AP	4.09	0.096
El Portal	4°38'21,6"	75°46'21,5"	1279	129.28	5	AP	-	-
Brasilia	4°38'26,3"	75°46'19,9"	1308	19.2	3	Agrícola	17.92	-
La Gaviota	4°34'49,8"	75°46'09,0"	1320	5.53	3	AP	4.4	0.18
La Palmera	4°34'46,6"	75°46'07,4"	1320	1.94	2	AGPE	1.82	0.11
Siberia 2	4°34'37,4"	75°46'05,7"	1320	1.18	3	A	0.84	0.083
Diamante	4°34'50,9"	75°46'02,9"	1312	50.8	8	A	47.8	-
El Tablazo	4°34'38,4"	75°45'59,5"	1312	11.6	3	AP	10.65	0.28
Circasia								
La Unión	4°37'10,2"	75°39'31,9"	1747	1.92	4	A	1.28	-
Arizona	4°37'04,6"	75°39'35,2"	1747	44.8	10	AGPE	32	-
La Clarita	4°37'15,8"	75°39'09,2"	1747	11.52	3	P	9.6	-
Filandia								
Serrana	4°41'38,5"	75°39'25,2"	1865	23.01	4	P	22.45	0.489

- = No se midió. P = Pecuario. A = Agrícola. AP = Agropecuario. AGPE = Agropecuario y trabajo extrapredial

La selección de subsistemas permite periodizar la visibilidad de los cuerpos (masculinos o femeninos; infantiles, juveniles o adultos) de los integrantes permanentes o temporales de la familia ampliada en la ejecución, coordinación o planeación de las diversas operaciones de los itinerarios de prácticas o de técnicas (Zúñiga et al. 2003; Zuñiga et al. 2004). Al cruzar la información se distribuyen los miembros de la familia ampliada por sexo y rangos de edades con las diferentes coberturas de la superficie.

Resultados y Discusión

Características de las familias

En las 29 fincas la familia estuvo conformada por dos (San Sebastián, La Fontana Palmera y La Siberia) u 11 miembros (Arizona y La Mariana). En La Esperanza y Villa Natalia el núcleo estuvo conformado por la pareja (esposa/esposo) y dos hijos en edades tempranas.

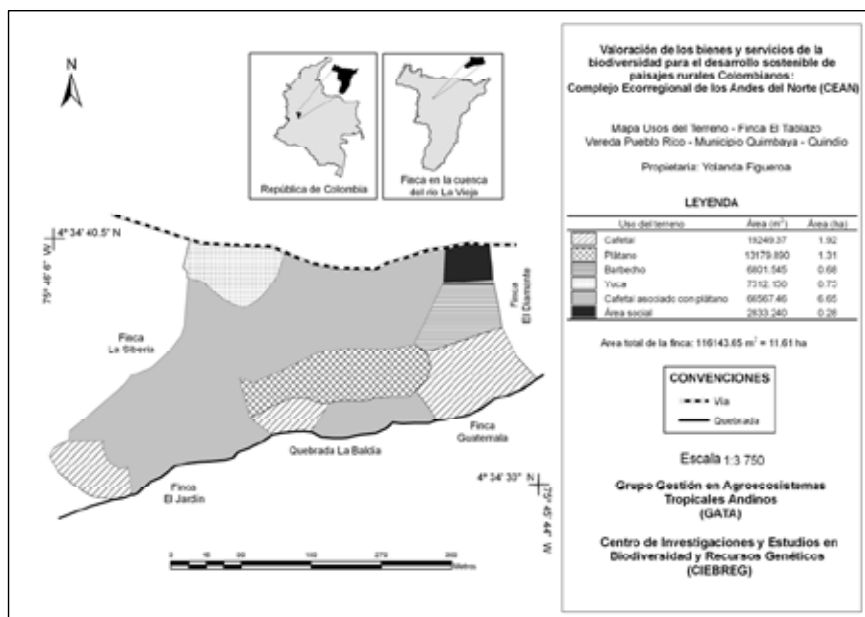


Figura 1. Distribución espacial de los usos del terreno en la finca El Tablazo

En 82.7% de las fincas la edad de los jefes de hogar fue igual o superior a 46 años (Arizona, La Unión, La Gaviota, La Marina, Miraflores, El Pital, La Esperanza 2, San Sebastián, Las Brisas, La Fontana, Remolinos, El Tesorito, Villa Tatiana, La Siberia I, La Esperanza I, San Pedro, El Portal, Brasilia, Serrana, Diamante, La Palmera). Los jóvenes entre 15- 22 años representaron el 17.2% y no hubo adultos entre 23 a 30 años (Figura 2).

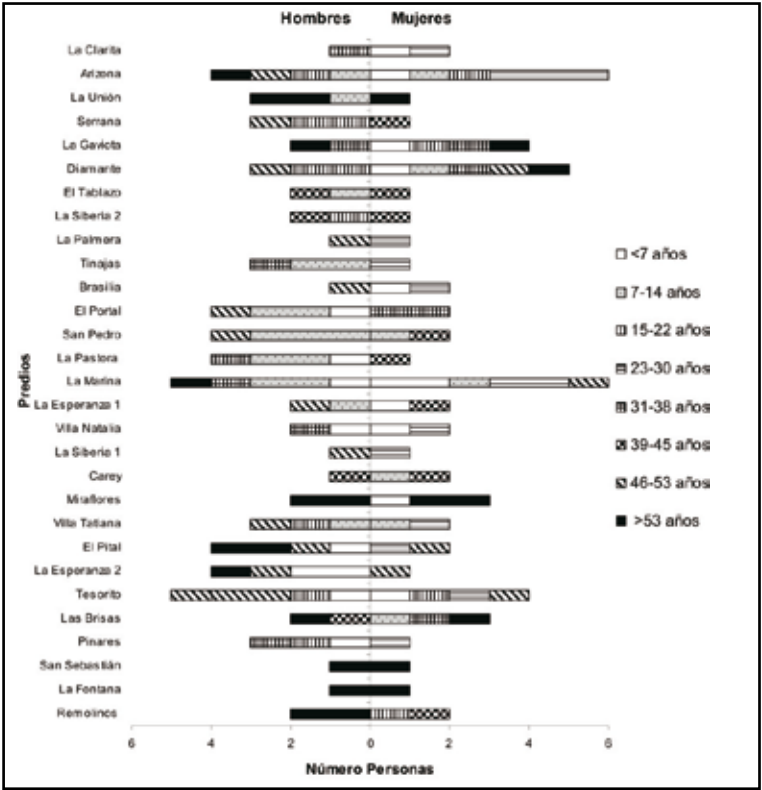


Figura 2. Rangos de edades en el componente familiar de fincas en la cuenca del río La Vieja Colombia.

En 41.7% de las fincas (La Clarita, Arizona, La Palmera, Tinajas, Brasilia, La Marina, Villa Natalia, La Siberia, Villa Tatiana, El Pital, Tesorito, Pinares) predominaron mujeres con rangos de edades entre 23 y 30 años, mientras que en 24.1% (Arizona, Diamante, San Pedro, La Marina; Carey, Villa Tatiana, Las Brisas) y 13.7% (Arizona, Diamante, San Pedro, La Marina, Carey, Villa Tatiana, Las Brisas) hubo presencia femenina con edades entre 7-14 y 15-22 respectivamente, que representan la generación de relevo en el corto y mediano plazo (Figura 2). La presencia de mujeres fluctuó entre 17.2% (Diamante, La Marina, El Pital, La Esperanza 2, Tesorito) y 24.1% (La Unión, La Gaviota, Diamante, Miraflores, Las Brisas, San Sebastián, La Fontana) para las edades entre 46 e iguales o mayores a 53 años, las que aseguran la transmisión y aprendizaje oral de las actividades relacionadas con el entorno de la casa.

En las fincas los hombres llevan a cabo actividades relacionadas con la administración del predio (95.6%) tales como contratación de jornales, planificación de la producción agrícola y pecuaria; operaciones de campo (48.2%) relacionadas con el establecimientos de cultivos, manejo de itinerarios técnicos en los cultivo o

la ganadería; los jóvenes (37.9%) se dedican al estudio. El trabajo extrapredial (negocios en otros campos o en tareas asociadas con cosecha de café, aplicación de insumos, vacunar o vermifugar bovinos, limpieza de los potreros o de los cultivos, mantenimiento o reconstrucción de cercos) para la obtención de recursos monetarios para construir el ingreso familiar ocupa el 13.7% de los brazos (Figura 3).

En el caso de las mujeres el trabajo cotidiano gira entorno a un mayor número de actividades (9 versus 4). Ellas se encargan de las labores domésticas (preparación de alimentos, mantenimiento y limpieza de la vivienda) en el 100% de los predios. El cuidado y alimentación de animales domésticos (gallinas, pollos, patos, cerdos) también las ocupa en porcentaje elevado (79.3%). En el 41.3% de los casos la alimentación de trabajadores y en el 24.1% se presentan mujeres jóvenes dedicadas al estudio (Figura 3).

Interacciones de las Actividades Productivas por Tipo de Empleo por Superficie Total de los Predios

Las fincas se clasificaron por las actividades productivas principales en agropecuarias (37.9%) con la introducción de animales tales como cerdos, bovinos, gallinas de patio, pollos de engorde y peces, manejo de pastizales, o cultivos en surco continuo de café, maíz, plátano, yuca o asociaciones de los mismos con cítricos; agrícolas (27.5%) especializadas en el cultivo de café con sombrero o monocultivos de café, plátano y yuca; pecuarias (20.6%) con énfasis en la cría extensiva de ganado bovino; agropecuarias con inserción de trabajo extrapredial (13.7%).

El tipo de empleo (transitorio o permanente) esta fuertemente ligado a la actividad productiva principal y en todas las fincas tienen por lo menos un asalariado permanente con ingresos monetarios. En las fincas con actividades agropecuarias (El Portal, Villa Tatiana, Tesorito y Miraflores) se generaron 20, 7, 7 y 6 empleos respectivamente, y en el caso de las dos primeras fincas presentaron los asalariados transitorios más altos, 80 y 30, mientras que en Tesorito no se contrata mano de obra temporal porque se conserva la estructura familiar tradicional y las tareas son asumidas por la generación de relevo (hijos, hija, nietos, sobrino), los cuales se califican como empleos permanentes no monetarios, pero con ingresos monetarios durante las temporadas de cosecha. En otras fincas (Las Brisas, La Esperanza I, Tinajas y La Gaviota) se generó un empleo permanente y sólo en una de ellas (Tinajas) se contrataron ocho empleos transitorios para desempeñar labores relacionadas con el manejo y mantenimientos del café en surcos y el monocultivo del maíz.

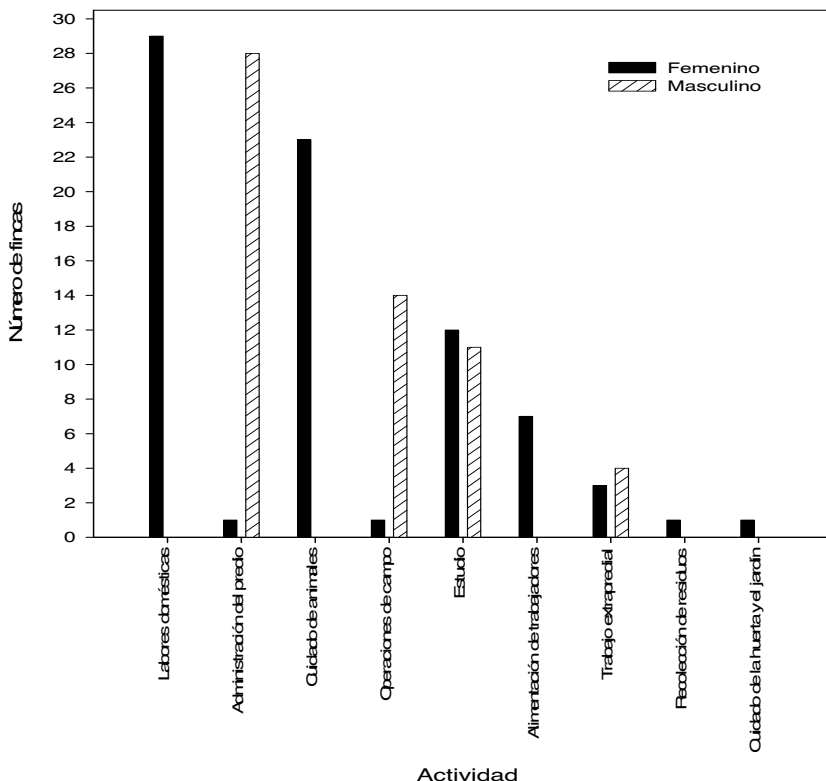


Figura 3. Relaciones por género de las diversas actividades en los predios de la cuenca del río La Vieja, Colombia.

Las fincas La Fontana y Diamante generaron más salarios permanentes (18) y transitorios (60 y 50 respectivamente), El Tablazo y Villa Natalia emplearon menor mano de obra permanente (tres en los dos casos) y más ocasionales (10 y 7 respectivamente).

Las fincas con actividad pecuaria se caracterizaron por la cría especializada de bovinos para producción de carne o de leche y por emplear poca mano de obra, entre uno y tres trabajadores, y con excepción La Clarita contrató una persona ocasional. En estos casos la mayor parte de las tareas (ordeño manual, corte y recolección del pasto y alimentación, limpieza de establos y cuidado preventivo de los bovinos) las desempeña el “mayordomo” o el propietario.

En la mayoría de las fincas agropecuarias y de trabajo extrapredial se presentó un empleo por finca (La Siberia I, La Marina, La Palmera), mientras que en Arizona fue donde más hubo asalariados permanentes (cuatro) y transitorios (20) (Figura 4).

Los predios agrícolas menores de 60 ha mantuvieron asalariados permanentes y transitorios, con excepción de La Esperanza 2 (20 ha) que no contrata asalariados transitorios. Las fincas con tendencia a la actividad productiva pecuaria (Remolinos, San Sebastián, Pinares, El Pital, Serrana, La Clarita) mantuvieron sólo asalariados permanentes y en el caso de Remolinos, San Sebastián y El Pital se identificó un trabajador permanente; en el caso de Pinares con ganadería extensiva produjo sólo dos empleos permanentes (Figura 4).

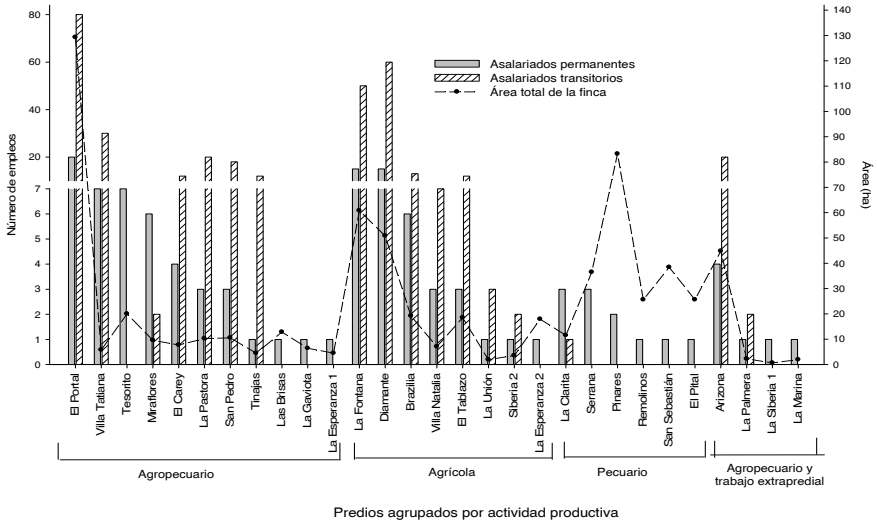


Figura 4. Interacciones del subsistema trabajo relacionando actividad productiva por empleo por tamaño del predio en fincas de la cuenca del río La Vieja.

Los predios con actividad productiva agropecuaria presentaron mayor dinámica en el número de empleos en predios menores de 20 ha, con excepción de El Portal (130 ha) que presentó el mayor número de empleos permanentes y transitorios.

Las actividades realizadas por las mujeres indispensables para la reproducibilidad de los sistemas son poco reconocidas económicamente, mientras que la alimentación de trabajadores y trabajo extrapredial si se monetarizan (Figura 5).

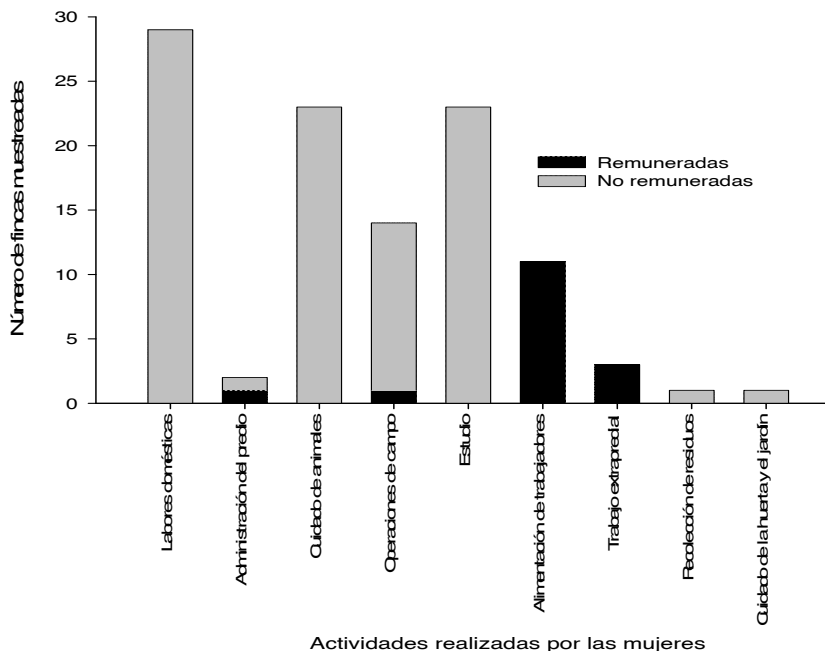


Figura 5. Actividades remuneradas y no remuneradas en 29 fincas.

La especialización e intensificación de la producción cambia los patrones tradicionales de asignación de las coberturas de los usos del terreno y de valoración de los trabajos. Según la distribución etárea de los miembros de la familia ampliada (padre, madre, hijos solteros, hijos casados, abuelos, primos, entre otros) se pueden detectar señales de riesgo para el mantenimiento de actividades y sistemas productivos en un territorio. En los predios de La Vieja la población masculina es de mayor edad o anciana (superior a 46 años fue del 82.7%) y esta ausente la generación de relevo. Aspectos como éstos también se destacaron en otros trabajos que resaltaron la interacción de las condiciones generacionales de los miembros, el estado del ciclo de vida con el estado de sucesión (Lobley y Potter, 2004) o se propuso sustituir la edad del agricultor por un índice de edad familiar como indicador del estado del ciclo de vida, el cual no sería tan patriarcal como otros (Burton, 2006) y permite plantear que el declive demográfico de muchas comunidades rurales se inicia con el proceso de envejecimiento acentuado en los activos agrarios y jefes de explotación.

De igual manera se pudo identificar que la falta de oportunidades de trabajo se manifiesta en los desequilibrios demográficos ligados al acusado proceso de envejecimiento; otras investigaciones han señalado que el proceso de declive rural asociado con el éxodo genera desequilibrios en la estructura por edades (Paniagua, 1997). En consecuencia, la alteración de la estructura generacional y genérica de la comunidad rural determina la posibilidad de mantenimiento de los procesos

productivos y por ende la continuidad de los agroecosistemas. En éste caso se destaca la ruptura en la continuidad generacional y pérdida de valores culturales que garanticen la permanencia de las tradiciones.

El envejecimiento de la población agraria y el declive demográfico de las comunidades rurales, reduce las posibilidades de reestructuración agraria y se articula en una agricultura marginal y con altos riesgos para las familias ampliadas. Asimismo, la vecindad de grandes empresas industriales rurales manejadas por una sola persona o parejas y que poco integran trabajadores transitorios acentúa el desplazamiento de jóvenes en las zonas rurales.

Las actividades generadoras de remuneración permanente y transitoria estuvieron controladas por la masculinidad. La adopción de técnicas especializadas en sistemas productivos pecuarios se asoció con la contratación de una sola persona. Sánchez y Rosales (1999) enuncian que los problemas asociados con la ganadería extensiva, deforestación, pérdida de biodiversidad, inequidad social y baja productividad son temas de mayor importancia en América Latina.

Otro aspecto importante fue la invisibilidad y el no reconocimiento monetario de tareas importantes en el mantenimiento de los sistemas asumidas por mujeres (labores domésticas 100% de los predios, cuidados y alimentación de animales en el 79.3%, mantenimiento y limpieza de la vivienda). En los sistemas de campesinado como en todos los sistemas patristicos, la producción es un espacio de hombres adultos jóvenes, mientras que lo doméstico se identifica con lo femenino (Robson, 2004). Superar las inequidades (masculino/femenino, niños /adultos, casados/ solteros) es uno de los aspectos en los que se tiene que actualizar los sistemas campesinos para desactivar las inestabilidades y conflictos en la cuenca.

El trabajo extrapredial en sistemas mixtos aunque extrae los brazos más fuertes de los sistemas campesinos, mantiene la población en el espacio rural al diversificar las fuentes de ingreso reduciendo los efectos de los riesgos inherentes a la temporalidad de la agricultura e impulsa procesos de adopción – adaptación de tecnologías ahorradoras de tiempo para el mejoramiento de los sistemas tradicionales.

El análisis cruzado de la información permitió examinar actitudes y comportamientos de los agricultores y de los miembros de la familia. Por ejemplo sobre el depósito del trabajo familiar disponible se ejercen presiones competitivas o cooperativas por brazos y conocimientos de las diferentes coberturas de la finca, de fincas del vecindario o de sitios distantes. La decisión de liberar el tiempo de los brazos jóvenes y fuertes para trabajar por fuera de la finca y atenuar el papel desestabilizador de la iliquidez de la tesorería familiar, puede estar acompañada por la decisión de adoptar técnicas ahorradoras de tiempos de trabajo (manejo químico-herbicidas) o mecánico (guadaña- de la población de arvenses). Pero al sedimentarse como rutina re-configura la jerarquía de las coberturas y de

los miembros de la familia según generación de ingresos monetarios; estimula percepciones y actitudes adversas en los jóvenes sobre coberturas cuyos productos y servicios no se traducen en dinero; impulsan decisiones precipitadas sobre asignación de terrenos a coberturas; desvalorizan el papel de la finca como unidades pedagógicas.

Conclusiones

La reducción de la población activa, el cambio en la estructura de edades y la continuidad como activos a pesar de edades avanzadas se incrementó debido a presiones competitivas al acentuarse el papel desestabilizador de la iliquidez de la tesorería familiar. La ausencia de relevo generacional determina la adopción de técnicas que suplan los brazos jóvenes y fuertes e impulsan a decisiones precipitadas sobre asignación de terrenos a coberturas.

Agradecimientos

Los autores miembros del grupo Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos (GATA) de la Universidad Tecnológica de Pereira agradecen a los agricultores criadores de la cuenca del río La Vieja por los aportes al estudio y haber facilitado los predios para la realización del estudio y también a Andrés Felipe Carvajal por sus aportes en la graficación de las ideas, Beatriz Elena Murillo, Mónica Díaz Porres y Narli Aldana.

Referencias

BIOASSESS. 2003. Biodiversity Assessment Manual. Version 1- Assessment Protocols.

Burton, R. J. F. 2006. An alternative to farmer age as an indicator of life-cycle stage: The case for a farm family age index. *Journal of Rural Studies* 22: 485 - 492.

Cochran, W. G. 1974. Técnicas de muestreo. Cuarta Edición. Continental S.A. México.

Groot, C. J., Rossing, A. H., Jellema, A., Stobbelaar, Renting, H., Van Ittersum, M. K. 2007. Exploring multi-scale trade-offs between nature conservation, agriculture profits and landscape quality –A Methodology to support discussions on land-use perspectives. *Agriculture Ecosystems and Environment* 120: 58-69.

Hesperger, A.M. 2006. Spatial adjacencies and interactions: neighborhood mosaics for landscape ecological planning. *Landscape and urban planning*. 77: 277-239.

Lobley, M., Potter, C. 2004. Agricultural change and restructuring: recent evidence from a survey of agricultural households in England. *Journal of Rural Studies* 20: 499 - 510.

Mathieu, J., Rossi, J. P., Grimaldi, M., Mora, P., Lavelle, P., Rouland, C. 2005. A multi-scale study of soil macrofauna biodiversity in Amazonian pastures. *Biology and Fertility of Soils* 40: 300-3005.

Moller Madsen, L., Adriansen, H. K. 2006. Knowledge constructions in research communities: The example of agri-rural research in Denmark. *Journal of Rural studies* 22: 456-468.

Paniagua, A. 1997. Agricultores jóvenes y comunidades rurales de ancianos. *Revista Estudios Regionales* No 49 Madrid, España. pp. 87-112.

Robson, E. 2004. Children at work in rural northern Nigeria: patterns of age, space and gender. *Journal of Rural Studies* 20: 193 - 210.

Sánchez, M.D. y Rosales M., M. 1999. Agroforestería para la producción animal en América Latina. Memorias de una conferencia electrónica realizada de abril a septiembre de 1998. *Estudio FAO Producción y Sanidad Animal* 143, Roma, 515 p.

Zúñiga, M. C.; Quintero, H. y Feijoo, M. A. 2003. Trayectoria de los sistemas de cría en un área del piedemonte de Alcalá, Valle del Cauca. *Scientia et Technica* 9 (23): 81 - 86. 11 (27).

Zúñiga, M. C.; Feijoo, M. A., Quintero, H. 2004. Diseño de una propuesta metodológica para interpretar el huerto habitacional en un área del Valle del Cauca. *Scientia et Technica* 10 (25): 291 - 296.