

Innovación agroecológica, adaptación y mitigación del cambio climático



Compiladores:

Humberto Ríos Labrada

Dania Vargas Blandino

Fernando R. Funes-Monzote



Este libro muestra cómo diferentes actores del sistema cubano de innovación formal e informal responden al desafío que presenta la crisis del sistema alimentario mundial. Desde una visión concertada, presenta los resultados del proyecto "Desarrollo de sistemas descentralizados y participativos de garantías ambientales en Cuba".

Las contribuciones son una apuesta común de agricultores e instituciones comprometidos con la construcción de una nueva agricultura, capaz de proporcionar seguridad y soberanía alimentaria, en la medida que se adapta al cambio climático y mitiga sus efectos.

El texto propone un acercamiento al Programa de Innovación Agropecuaria Local (PIAL) de Cuba, iniciativa que responde al cambio climático de forma participativa, inclusiva y comprometida con el medio ambiente, el mejoramiento de la calidad de vida de los agricultores y la sociedad en general.

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit DEZA
Direction du développement et de la coopération DDC
Swiss Agency for Development and Cooperation SDC
Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación COSUDE



9 789597 023331

***Innovación agroecológica,
adaptación y mitigación
del cambio climático***

Compiladores:

Humberto Ríos Labrada

Dania Vargas Blandino

Fernando R. Funes-Monzote

Edición científica al cuidado de Fernando R. Funes-Monzote

Edición y corrección: Claudia Álvarez Delgado y Reinier Pérez-Hernández

Diseño de cubierta: Amaury Rivera Rodríguez

Diagramación: Claudia Álvarez Delgado

© De los autores

© Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), 2011

INCA: Carretera a Tapaste, km 3½, Gaveta postal 1, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba

ISBN 978-959-7023-53-1

Todos los derechos reservados. Se autoriza el uso y la reproducción parcial de esta obra con fines no comerciales siempre y cuando se cite la fuente.

La presente publicación no hubiera sido posible sin el decisivo apoyo de investigadores y profesores universitarios, agricultores y dirigentes de diversas instituciones, organizaciones y organismos cubanos, participantes en el Programa de Innovación Agropecuaria (PIAL). Entre ellos: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Estación Experimental “Indio Hatuey”, Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP), Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA), Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ACTAF), Ministerio de Educación Superior (MES), Ministerio de la Agricultura (MINAG), y Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). De manera muy especial se agradece la contribución metodológica de la Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense (CEDECO), así como a las instituciones a que pertenecen los autores de este libro, las cuales se mencionan en cada uno de los capítulos.

La edición de este libro ha sido posible gracias al apoyo financiero de Hivos de Holanda, de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Unitarian Service Committee (USC) / Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (ACDI) y de la Red Iberoamericana de Agroecología para el Desarrollo de Sistemas Agrícolas Resilientes al Cambio Climático (REDAGRES).

Prólogo / Clara Inés Nicholls	v
I. INTRODUCCIÓN	
Sistemas descentralizados y participativos para la adaptación y mitigación del cambio climático en Cuba / Humberto Ríos, Sandra Miranda y Dania Vargas	3
II. CAMBIO CLIMÁTICO Y AGRICULTURA	
Gases de efecto invernadero en la agricultura, un llamado a la acción / Nelson Valdés y Dania Vargas	15
Estrategia para mitigar gases de efecto invernadero en el sector agropecuario cubano / Pedro Valentín Fernández	25
Reservas de carbono orgánico en suelos Ferralíticos Rojos / Alberto Hernández, Dania Vargas, Yenia Borges, Humberto Ríos, Marisol Morales y Fernando R. Funes-Monzote	45
Descontaminación de residuales, producción de biomasa y energía, y reciclaje de nutrientes / Aurelio Álvarez, Yamilet Molinet, Pedro J. González, Raúl Damas y Raúl Ruiz	55
Cambio climático, incidencia de plagas y prácticas agroecológicas resilientes / Luis L. Vázquez	75
III. ESTUDIOS DE CASO	
Análisis agroenergético de tipologías agrícolas en La Palma / Maikel Márquez, Nelson Valdés, Ernesto M. Ferro, Iván, Paneque, Yoan Rodríguez, Eliecer Chirino, Luis M. Gómez, Dania Vargas y Fernando R. Funes-Monzote	105
Evaluación ambiental y agroproductiva en fincas de La Palma y Gibara / Dania Vargas, Sandra Miranda y Humberto Ríos	123
Evaluación de la estabilidad de ecosistemas en Pinar del Río / Nelson Valdés, Duniesky Pérez y Maikel Márquez	137

Balance de gases de efecto invernadero en dos cooperativas matanceras / Alicia Mercadet, Yolanis Rodríguez, Osiris Ortiz, Lourdes Gómez, Milagros González, Roberto Ramos y Delkys Hernández	145
Tecnologías alternativas: Silvopastoreo / Tania Sánchez, Luis Lamela, Taymer Miranda, Onel López y Katia Bover	157
Transición agroecológica para reducir emisiones de gases de efecto invernadero / Ybrahim López, Vladimir Reyes, Anayansi Arbert y Fernando R. Funes-Monzote	165
Evaluación de indicadores agroecológicos y mitigación del cambio climático / Víctor M. Hernández e Ybrahim López	179

IV. DISEMINACIÓN AGROECOLÓGICA

Experimentación campesina y cambio climático en Las Tunas / Laura Leyva, Aimé Baldoquin, Raquel Ruz, José R. Ayala y Carlos Pupo	191
Claves para transformar fincas convencionales en agroecológicas diversificadas / Norge Caballero, Naudy Caballero, Evelio García, Orlando Chaveco, Nénsida Permuy, Yunior Bruzón y Agustín Serrano	197
Diseminación de bioproductos basados en microorganismos para la producción de alimentos / Saray Sánchez, Fernando Donis, Omar González, Yoansy García, Taymer Miranda, Dairom Blanco y Giraldo Martín	205
Innovación local participativa ante el cambio climático / Taymer Miranda, Saray Sánchez, Tania Sánchez, Luis Lamela y Danny Álvarez	213
Gases de efecto invernadero y agricultura orgánica: Una propuesta institucional / Jonathan Castro y Manuel Amador	221

V. EPÍLOGO

Tres generaciones en La Ofelia / Manuel Serrano	233
Solución al cambio climático en la finca Santa Ana / Yoel Pupo	239
Memoria fotográfica	243

PRÓLOGO

La producción agrícola está amenazada por el cambio climático, pues este altera factores indispensables para el crecimiento de los cultivos, como las precipitaciones y la temperatura. Sus efectos sobre la agricultura varían de una región a otra: en zonas mediterráneas y semiáridas se manifiesta en sequías frecuentes, mientras en zonas tropicales toma forma de tormentas y huracanes severos. Estos impactos ya se sienten en muchos países del Sur, donde también se observa un aumento en las precipitaciones, con sus consecuentes daños en los cultivos por erosión y deslizamiento de suelos e inundaciones.

En muchos países la población rural más pobre vive en áreas expuestas y marginales, en condiciones que la hacen muy vulnerable a los impactos negativos del cambio climático. Para estas personas, incluso pequeños cambios en el clima pueden significar un impacto desastroso en sus vidas y medios de sustento. Muchos investigadores expresan preocupación por aquellas zonas donde predomina la agricultura de subsistencia, pues una leve disminución de la productividad podría conllevar grandes desequilibrios.

No obstante, resultados de investigaciones recientes sugieren que muchos agricultores se adaptan y se preparan para el cambio climático, al minimizar las pérdidas con la utilización de policultivos y variedades locales tolerantes a la sequía, la cosecha de agua, la conservación de suelos, la agroforestería, la recolección de plantas silvestres y otras técnicas agroecológicas prometedoras. Mientras realizan estas prácticas, también contribuyen a la mitigación del calentamiento de la atmósfera a través de la reducción de las emisiones de gases con efecto invernadero.

Estudios realizados con posterioridad al paso de huracanes como el Mitch en Centroamérica y el Ike en Cuba, demostraron que los sistemas diversificados basados en la agroforestería, los policultivos y el uso de cultivos de cobertura fueron más resilientes a estos fenómenos, es decir, resistieron

mejor su violento impacto y se recuperaron con mayor rapidez. Estos agroecosistemas han demostrado su notable capacidad de resiliencia a los continuos cambios económicos y ambientales, a la vez que han contribuido sustancialmente a la seguridad alimentaria a nivel local, regional y nacional. Por eso resulta necesario reevaluar los sistemas campesinos y tradicionales como fuentes imprescindibles de información acerca de la capacidad adaptativa de los agricultores ante el cambio climático.

Este libro muestra varias experiencias cubanas de sistemas agrícolas sustentables para la producción de alimentos, con un enfoque conservacionista del medioambiente. La sistematización de los mecanismos que gobiernan la resiliencia es crucial para derivar principios que permitan diseñar estrategias participativas y de colaboración entre investigadores y campesinos, así como entre los propios campesinos. La consolidación de modelos de investigación agropecuaria local y el desarrollo de capacidades para resolver problemas, deben ser los focos principales de acción para enfrentar los retos del cambio climático.

La organización de productores y otros interesados alrededor de proyectos que promueven la resiliencia agrícola al cambio climático, debe recuperar las habilidades y conocimientos tradicionales. Se logra así una plataforma para el aprendizaje y la organización local, con lo que mejoran las posibilidades de empoderamiento de la comunidad y las estrategias de desarrollo autosuficientes frente a la variabilidad climática.

Innovación agroecológica, adaptación y mitigación del cambio climático es una iniciativa que la Red Iberoamericana de Agroecología para el Desarrollo de Sistemas Agrícolas Resilientes al Cambio Climático (REDAGRES) reconoce como clave para cumplir su misión. Esta iniciativa consiste en la identificación y sistematización de experiencias en agroecosistemas con propiedades de resiliencia frente a huracanes, sequías y otros eventos extremos.

Del análisis de este texto será posible generar lineamientos con el objetivo de diseñar y manejar agroecosistemas más adaptados y resilientes a la variabilidad climática en la región latinoamericana. La aplicación de esta información por parte de agricultores podrá reducir los impactos negativos del cambio climático en la productividad de los sistemas agropecuarios, disminuir las pérdidas económicas y evitar que afecte de manera significativa la seguridad alimentaria local.

CLARA INÉS NICHOLLS, PH.D
COORDINADORA REDAGRES



INTRODUCCIÓN

SISTEMAS DESCENTRALIZADOS Y PARTICIPATIVOS PARA LA ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CUBA

Humberto Ríos, Sandra Miranda y Dania Vargas

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, MAYABEQUE

El fenómeno del aumento de la temperatura media del planeta, conocido como calentamiento global, es considerado en la actualidad como uno de los temas más preocupantes relacionados con el cambio climático. Resultan dramáticos la velocidad con que se ha manifestado este fenómeno, su carácter global, los múltiples factores tecnológicos, económicos, ambientales y políticos que lo afectan, y sus catastróficos efectos para la vida en el planeta y las condiciones meteorológicas (aumento de la intensidad y frecuencia de tormentas, sequías, inundaciones, olas de calor o de frío, etc.).¹

El calentamiento global se produce por la acumulación en la atmósfera de los llamados gases de efecto invernadero (GEI), que impiden la disipación a niveles normales del calor que penetra a la atmósfera con los rayos solares.² La agricultura se encuentra entre los principales emisores de GEI, debido a la quema de los residuos de cosecha, sabanas y pastizales, la ganadería, el uso excesivo de pesticidas y fertilizantes, las prácticas inapropiadas de manejo de agua, entre otros factores.

En torno a este fenómeno, gobiernos y organizaciones interesados en el medioambiente han promovido tratados y acuerdos internacionales encaminados a fomentar políticas y acciones concertadas para detener y, en lo posible, revertir este peligroso fenómeno.

En la agricultura se han considerado dos alternativas básicas para enfrentar los efectos del cambio climático: la adaptación y la mitigación. La pri-

¹ D. Vargas, 2010. Evaluación agroproductiva y ambiental de fincas diversificadas en Cuba: Casos de estudio La Palma y Velasco. Tesis presentada en opción al título de Máster en Ciencias Biológicas.

² R.K. Pachauri y A. Reisinger, 2008. Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC. Ginebra.

mera persigue fortalecer capacidades en los agricultores para que convivan con prolongadas sequías, el incremento de la temperatura media anual y los intensos (y cada vez más frecuentes) huracanes. La segunda, con una perspectiva a más largo plazo, consiste en rediseñar los sistemas agroproductivos y sus correspondientes cadenas de distribución y consumo de alimentos para disminuir las tasas de emisión de GEI y aumentar significativamente la captura de carbono.

En el sector forestal hay evidencias y metodologías que permiten evaluar e incentivar la captura de carbono y disminuir las emisiones de GEI.³ También se ha reportado que monocultivos como la caña de azúcar son importantes secuestradores de carbono.⁴ Sin embargo, las evidencias aún no son suficientes para evaluar cómo y cuánto reducen el calentamiento global los sistemas agroproductivos basados en los principios agroecológicos de empleo de mínimos insumos externos, reciclaje de materia orgánica y diversificación de cultivos y animales.

Este libro pretende redescubrir las bondades de los sistemas diversificados de producción de alimentos para la adaptación al cambio climático, así como mostrar los primeros esfuerzos que contribuyan a su mitigación. El texto compila experiencias descritas por investigadores, profesores universitarios y agricultores que han decidido enfrentar el desafío de mejorar el ambiente desde las prácticas agropecuarias.

Cambio de paradigma en el manejo de la agrobiodiversidad

El modelo convencional de manejo de la agrobiodiversidad se desarrolla sobre el presupuesto de que los investigadores o técnicos seleccionan las semillas de variedades y especies para que los extensionistas las diseminen, los agricultores las adopten y los consumidores reciban sus frutos. Este modelo se basó en homogeneizar las variaciones climáticas a través de la aplicación de cuantiosos insumos externos con un alto costo energético.

En Cuba la palanca para iniciar el cambio de paradigma de un manejo vertical de los recursos naturales a formas más descentralizadas y participati-

³ A. Mercadet, A. Álvarez, A. Escarré y O. Ortiz, 2010. Ampliación de la base de datos de los coeficientes de carbono y nitrógeno en la madera de especies forestales arbóreas cubanas. Informe final del subproyecto 11.60.01. Proyecto «Segunda comunicación nacional de cambio climático: Subsector forestal». Programa Ramal de Ciencia y Técnica «Preservación de recursos naturales». Instituto de Investigaciones Forestales. La Habana, Cuba. Inédito 12 p.

⁴ J.A. Cabrera y R. Zuaznábar, 2010. Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. I. Balance del carbono. Cultivos Tropicales 31(1): 5-13.

vas fue el colapso del sistema socialista de los países de Europa del Este,⁵ principales abastecedores de energía para la agricultura cubana.⁶

En la primera década del siglo XXI surgió la iniciativa de Fitomejoramiento Participativo (FP), convertida posteriormente en el Programa de Innovación Agropecuaria Local (PIAL). Su propósito fue facilitar el acceso a diversas variedades y cultivos para que los agricultores construyeran alternativas que les permitieran adaptarse a la nueva situación de carencia de agroquímicos y combustible fósil predominante en el país.

Las primeras ferias de diversidad de semillas fueron organizadas por investigadores y profesores del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, del Centro de Investigaciones Psicológicas y Sociológicas y de la Universidad Agraria de la Habana. Estas consistían en la siembra de parcelas con semillas provenientes del sistema formal (instituciones de investigación) e informal (fincas de campesinos) de innovación, y en un momento determinado del cultivo se invitaba a los productores para que escogieran la variedad de su preferencia a fin de cultivarlas y evaluarlas con sus propios criterios. Los organizadores de las ferias solicitaban a los participantes reflejar en una planilla las variedades elegidas, así como los criterios de selección. Se fijaba el compromiso de entregar una pequeña cantidad de las semillas seleccionadas a cada participante una vez que fueran cosechadas las parcelas.

Los agricultores sembraron las semillas bajo diferentes esquemas experimentales, en las condiciones específicas de sus fincas. Las variedades fueron evaluadas, y se diseminaron aquellas más adaptadas a las condiciones imperantes en cada región.⁷ Debido al déficit de insumos externos en que se realizaron estos ensayos, los propios productores diseminaron las semillas. Las fincas participantes se fueron convirtiendo en estaciones experimentales y los miembros de la familia, en investigadores y extensionistas. Estas labores fueron compartidas con investigadores, docentes y extensionistas.

Entonces se produjo una típica reacción en cadena.⁸ Esta manera de difundir las semillas, según la decisión de los propios agricultores, permitió multiplicar exponencialmente el número de beneficiarios directos (agricultores

⁵ D. Allen Pfeiffer, 2003. Aprendiendo lecciones de la experiencia; las crisis agrícolas en Corea del Norte y Cuba. Disponible en: www.fromthewilderness.com.

⁶ J. Wright, 2005. Falta Petróleo! Cuba's experiences in the transformation to a more ecological agriculture and impact on food security. PhD thesis, Wageningen University, Holanda.

⁷ H. Ríos, 2006. Fitomejoramiento Participativo: Los agricultores mejoran cultivos. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), La Habana, Cuba. 300 p.

⁸ H. Ríos, 2009. Participatory seed diffusion: Experiences from the field. En: S. Cecarelli, E.P. Guimaraes, E. Welztein (eds.) Plant Breeding and Farmer Participation. FAO, Roma. pp. 589-612.

que accedieron al menos a una nueva variedad o cultivo) de 25 a más de 25 000 en cuatro años de ejecución del proyecto piloto de FP.⁹

A medida que se vinculaban más investigadores, técnicos y profesores de diferentes instituciones al proyecto, subyacía el temor de la potencial amenaza que presuponía la expansión del nuevo enfoque. Después de diez años de la diseminación participativa de semillas, la incidencia de plagas y enfermedades ha disminuido significativamente. Los agricultores comentan que «tanta diversidad de semillas vuelve locos a los bichos». El capítulo «Cambio climático, incidencia de plagas y prácticas agroecológicas resilientes» ofrece abundantes pruebas científicas que avalan tales resultados prácticos. Se comprobó que era infundado el temor a una incontrolable diseminación de plagas y enfermedades si se difundía de forma masiva semillas de diferentes variedades.

Un elemento relevante en el proceso fue el cambio de rol de los investigadores y profesores universitarios. Ellos al principio funcionaron como líderes de la idea, pero cedieron gradualmente el protagonismo a los agricultores, que han llegado a ser los principales responsables del cambio de paradigma en el manejo de la agrobiodiversidad.

La idea de facilitar a los productores el acceso a la diversidad de semillas, la experimentación y la diseminación, contribuyó a consolidar la agricultura agroecológica en Cuba. Muchos investigadores y técnicos se convencieron de los beneficios de la co-innovación con agricultores al introducir nuevas formas de participación que favorecían relaciones más horizontales y los resultados que de ellas se obtenían.

Hacia nuevas formas de organización de la innovación

A partir de la multiplicación de la diversidad y de los beneficios entre los grupos meta del programa, el equipo de profesionales que inició la experiencia se percató de que los agricultores habían organizado bancos locales de semillas y asesoraban la experimentación campesina. Así, individuos independientes o asociados a las diferentes cooperativas involucradas en el proyecto fundaron los llamados grupos de innovación, los cuales refuerzan la capacidad de introducir, experimentar y diseminar semillas u otras tecnologías que pudieran adaptarse a las nuevas condiciones climáticas.

La contribución de este método fue reconocida por organizaciones municipales y provinciales al fundar los Centros Locales de Innovación Agropecuaria (CLIA). Se trata de plataformas municipales o provinciales que traba-

⁹ F. Guevara, R. Ortiz-Pérez, L. Angarica, L. Martín, D. Plana, I. Cánovas, A. Crespo, L.A. Barranco, Z. Salguero, C. Proveyer, R. Alemán y H. Ríos, 2010. Impacto del Programa de Innovación Agropecuaria Local. Aprendizaje a ciclo completo. Samuel Feijóo, Santa Clara, Cuba.

jan para legitimar los aportes de las redes de campesinos experimentadores y su interacción con los investigadores y técnicos.

El propio proceso de diseminación participativa de variedades condicionó que los técnicos, investigadores y profesores universitarios tuvieran una referencia más directa de la demanda de los productores y que comenzaran a incorporar este conocimiento en sus espacios de enseñanza habituales. Aun cuando en sus inicios no fue anunciado como vía para mejorar la adaptación al cambio climático, el modelo participativo de diseminación de tecnologías y semillas demostró su contribución a la organización de los agricultores y reorientó a los profesionales de la investigación, la extensión y la docencia.

Más allá de la adaptación...

En el año 2006, en plena efervescencia de la diseminación participativa de variedades, cultivos y tecnologías, apareció un nuevo actor en el escenario de transformaciones que se desarrollaban bajo la sombra del PIAL: la Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense (CEDECO).

CEDECO trajo la propuesta de evaluar en qué medida contribuían las fincas orgánicas diversificadas a la emisión de GEI, captura de carbono y el uso de la energía en la producción de alimentos. Esta fue una oportunidad excepcional para obtener una fotografía actualizada de las áreas en que trabajaba el proyecto, con énfasis en la importancia de entender la relación entre las emisiones de GEI, la cantidad de alimentos que se produce y la eficiencia energética de las fincas cubanas diversificadas.

Para la construcción de los indicadores que se evaluaron en el trabajo de investigación (captura de carbono, emisiones de GEI y balance energético de sistemas productivos agropecuarios), se necesitó la confluencia de diferentes disciplinas. Con ese objetivo, se reunieron diversos especialistas y se facilitó un ambiente favorable de trabajo en equipo. Mediante entrevistas personales, continuas visitas de campo y talleres para aprender de cada disciplina, se fue conformando una visión concertada del calentamiento global, así como del cambio de los sistemas productivos y de políticas ambientales que pudieran ser factibles en el contexto cubano.

Para la evaluación se escogieron 103 fincas distribuidas en nueve provincias cubanas. Se visitó a los agricultores y se aplicó una encuesta para conocer las prácticas agropecuarias más importantes que realizaban en términos de aplicación de insumos, manejo del agua, materia orgánica, diversidad, entre otros aspectos. Esta información complementó las evaluaciones para estimar la cantidad de GEI que emitían estas fincas, según la metodología del

Panel Intergubernamental para el Cambio Climático.¹⁰ Además, se evaluó la energía contenida en los alimentos producidos y el balance energético de cada finca de acuerdo con la metodología de Funes-Monzote y otros autores.¹¹

Posteriormente se construyó una tipología de referencia para clasificar las fincas en orgánicas, en transición y no orgánicas. Se consideraron fincas orgánicas las que no quemaban residuos, no aplicaban pesticidas ni fertilizantes sintéticos, ni empleaban piensos convencionales para alimentar a sus animales. Se clasificaron en transición aquellas que no quemaban los residuos de cosechas, no empleaban pesticidas para el control de las malezas o plagas y enfermedades, aplicaban menos de 50 kg/ha/año de fertilizantes sintéticos y alimentaban sus animales con piensos convencionales. Entre las no orgánicas se incluyeron las que quemaban residuos, aplicaban más de 50 kg/ha/año de fertilizantes y pesticidas, y empleaban piensos convencionales para la alimentación animal.

Se pudo comprobar la limitada aplicación de agrotóxicos, aun en las fincas clasificadas como no orgánicas. También se determinó que las mayores fuentes de contaminación de GEI fueron la aplicación de fertilizantes nitrogenados sintéticos, por su aporte negativo de óxido nitroso, y el manejo de residuos orgánicos, que emitían esencialmente metano. El arroz sembrado en condiciones de aniego también se destacó por sus tasas de contaminación de metano.

De acuerdo con la clasificación elaborada, las fincas orgánicas representaron el 6% de la muestra; las en transición, el 22%; y las no orgánicas, el 71%. Se pudo constatar (tabla 1) que las fincas no orgánicas emitían seis veces más GEI que las orgánicas, fundamentalmente óxido nitroso. Además, los alimentos que producían eran relativamente pocos y utilizaban poca energía, pues se dedicaban fundamentalmente a la actividad forestal y los pastizales. Por su parte, las fincas en transición emitieron casi tres veces menos GEI y mostraron valores similares de producción de alimentos y gastos energéticos.

Las fincas en transición, que producen las mayores cantidades de alimento, fueron incluidas en este grupo fundamentalmente por el consumo de concentrados convencionales para alimentar a sus animales y la aplicación de menos de 50 kg/ha anuales de fertilizantes industriales con bases nitrogenadas. Aun cuando estas fincas mostraron tasas favorables de balance energéti-

¹⁰ IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japón.

¹¹ F.R. Funes-Monzote, L. Quirós, J. Castro, M. Chacón y M. Amador, 2006. ENERGIA. 2.0. (programa de cómputo). Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Cuba. Grupo Ganadería y Medio Ambiente CATIE y Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense, Costa Rica.

co, los volúmenes de insumos de concentrados animales influyeron negativamente en esta cifra.

Tabla 1. Emisiones totales promedio, energía producida y eficiencia energética según la clasificación de las fincas

Fincas	Emisiones promedio (t CO ₂ e/ha/año)	Energía producida (Mcal/ha)	Eficiencia energética
Orgánicas	0,09	1 391,8	4,4
En transición	0,19	4 032,8	1,6
No orgánicas	0,54	3 749,0	1,8

Actualmente, uno de los apoyos que brinda el Ministerio de la Agricultura a los productores es el denominado convenio porcino, el cual facilita el suministro de concentrados para la alimentación de cerdos a cambio de que los criadores le vendan al propio Ministerio. Dicho convenio ha tenido un positivo impacto en el aumento de la producción de carne de cerdo de los pequeños y medianos productores. Sin embargo, el aumento del precio de los granos en el mercado internacional y la situación financiera del país no han podido garantizar la compra de la materia prima de los concentrados ni su suministro estable. Se ha percibido una reducción en el número de cerdos bajo este convenio y un incremento en la elaboración de piensos locales, así como reformas en el manejo de formas de crianza de más a menos estabulada.

Se comprobó que en las fincas evaluadas la fertilización nitrogenada sintética que se emplea es relativamente muy baja si se compara con los sistemas convencionales. Se destacan las fincas en transición, que alcanzan volúmenes de producción relativamente altos de alimentos (energía) con mínimas cantidades de fertilización química. Esto evidencia la capacidad adquirida por los agricultores para producir alimentos con el mínimo de insumos en los últimos veinte años.

Las 21 fincas que producían arroz emitían cerca de una tonelada de GEI por hectárea al año, debido fundamentalmente a la formación de metano que se emitía al inundar los terrenos arroceros. El aniego permanente de los terrenos de arroz es una práctica efectuada en principio para controlar las malezas y ha sido masivamente generalizada, tanto en los sistemas formales de producción como en los informales, lo que ha provocado una significativa erosión de las variedades tradicionales con adaptación a las condiciones de secano y un manejo a veces irracional del agua.

Lo interesante es que algunos agricultores, técnicos, consumidores y decisores asocian el arroz con la inundación como única alternativa productiva.

El desafío está en cómo rescatar y mejorar variedades, tecnologías, e incluso certificar e incentivar producciones de arroz que reduzcan los tiempos de inundación del cultivo. Aunque son pocas las experiencias de arroz en secano, este conocimiento existe en algunos agricultores, lo cual pudiera ser una pista para la transformación.

La comunicación, la co-innovación y las políticas públicas para mitigar los efectos del cambio climático

El tema de la estimación de las emisiones de GEI en fincas diversificadas resultó novedoso para los diferentes actores involucrados. La experiencia demostró que el marco conceptual de emisiones de GEI en la agricultura (ver capítulo «Estrategia para mitigar gases de efecto invernadero en el sector agropecuario cubano») estaba en el discurso formal ambiental, y que la mayoría de los técnicos y agricultores no lo asocia con prácticas que dependen directamente de su actitud. Esto deja bien clara la necesidad de hacer mayor énfasis en la comunicación de las malas prácticas que degradan el ambiente, así como iniciar la construcción de políticas que incentiven cambios de comportamientos en individuos e instituciones.

Este libro sistematiza experiencias co-innovadoras de investigadores y agricultores en la transformación de las fincas hacia conceptos más amigables con el medioambiente (ver capítulos «Solución al cambio climático en la finca Santa Ana» y «Claves para transformar fincas convencionales en agroecológicas diversificadas»). La difusión participativa de variedades y tecnologías permitió que los agricultores transitaran de ser los «dueños del problema» a ser los «dueños de la solución» en la adaptación y mitigación del cambio climático. Esto generó cambios de actitud en las familias campesinas participantes, que en su mayoría ya comentan su disposición a invertir tiempo y recursos financieros para enfrentar el problema ambiental.

Asimismo los investigadores del equipo, en su afán de aprender sobre los factores que influían en las emisiones de GEI y captura de carbono, facilitaron que codo a codo interactuaran con agricultores que manejaban fincas diversificadas y que realmente estos también aprendieran de la experiencia de los pequeños y medianos productores; considerados motores de la producción agropecuaria en Cuba.

La iniciativa descrita permitió descubrir las relaciones entre la diversificación de los sistemas productivos y variables de emisiones y captura de carbono (como lo muestran las contribuciones «Análisis agroenergético de tipologías agrícolas en La Palma», «Evaluación de la estabilidad de ecosistemas en Pinar del Río» y «Gases de efecto invernadero en la agricultura, un llama-

do a la acción»), y las alternativas descritas en «Gases de efecto invernadero y agricultura orgánica: Una propuesta institucional» sobre cómo reconocer nuevas formas para certificar producciones con bajas emisiones e identificar algunos efectos iniciales del empleo de la agroforestería (ver también capítulo «Innovación local participativa ante el cambio climático»).

Entre los resultados más relevantes se encuentran el potencial de las fincas que se construyeron sobre bases agroecológicas y el apoyo a su desarrollo en términos de políticas que reconozcan e incentiven su continua mejora. Esta puede ser una alternativa que contribuirá significativamente a la adaptación y mitigación del cambio climático.

Finalmente, las evidencias de la diseminación participativa de variedades y tecnologías, así como la fotografía de las prácticas agropecuarias que capturan y emiten carbono, pudieran ser los primeros pasos para incidir en políticas públicas que favorezcan el fortalecimiento de sistemas agropecuarios para adaptarnos y mitigar la ya dramática situación ambiental que enfrentan el país y el planeta.



CAMBIO CLIMÁTICO Y AGRICULTURA

GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA AGRICULTURA, UN LLAMADO A LA ACCIÓN

Nelson Valdés

FACULTAD DE AGRONOMÍA DE MONTAÑA, UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO

Dania Vargas

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, MAYABEQUE

El cambio en los patrones del clima global constituye uno de los problemas ambientales más graves que enfrenta la humanidad en la actualidad. La causa fundamental de este fenómeno, denominado cambio climático, se asocia al incremento sostenido de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera como resultado de procesos naturales y de la actividad humana.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de Río de Janeiro (1992) definió el cambio climático como «un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables».

Con frecuencia empleado como sinónimo de cambio climático, el calentamiento global es el aumento registrado en las temperaturas atmosféricas medias de todo el planeta durante los últimos años. Por ejemplo, entre 1906 y 2005, la temperatura media de la atmósfera se incrementó en 0,74 °C. El fenómeno ha sido provocado por la intensificación del efecto invernadero.

El efecto invernadero, por su parte, es el fenómeno de apantallamiento térmico producido de forma natural por la atmósfera. Los GEI atrapan parte de la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre hacia el espacio. El desbalance térmico entre la radiación que nuestro planeta recibe y la que emite, permite que existan condiciones propicias para la vida en la Tierra. De no existir la atmósfera, el planeta experimentaría bruscas fluctuaciones climáticas, entre 80 °C de día y -130 °C en las noches. La temperatura media sería de -18 °C en vez de los actuales 15 °C. También se conoce que la atmósfera es más permeable a la radiación solar incidente que a la infrarroja emitida por la tierra, de manera que puede atrapar calor.

Son varias las causas naturales de la variabilidad del efecto invernadero. Podemos mencionar, entre otras, las grandes erupciones volcánicas, los ciclos de actividad solar y los cambios en la concentración atmosférica de vapor de agua. No obstante, todos los datos indican que el factor determinante en el actual aumento de la temperatura global es el cambio en la composición atmosférica provocado por el hombre durante los últimos 150 años, con la emisión de gases provenientes de actividades industriales y agropecuarias.

Los GEI están presentes de manera natural en la atmósfera, aunque la actividad humana puede alterar su concentración. Entre estos gases se encuentran el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), el ozono (O₃) y los clorofluorocarbonos derivados de los hidrocarburos saturados. Los tres GEI emitidos fundamentalmente por causas antropogénicas y que más contribuyen al calentamiento global son CO₂, CH₄ y N₂O.

Dióxido de carbono

El CO₂ se intercambia de forma natural entre los ecosistemas terrestres y la atmósfera por medio de la fotosíntesis, la respiración, la descomposición y la combustión. La mayor proporción de CO₂ es generada por la combustión de hidrocarburos (56,6%), e indirectamente por la tala indiscriminada de bosques (17,3%), principales sumideros de este gas. Los procesos del suelo en relación con el carbono se caracterizan por el equilibrio dinámico entre la entrada (fotosíntesis) y la salida (respiración); toda la materia orgánica que ingresa en el suelo se mineraliza. La conversión de ecosistemas naturales en agroecosistemas constituye la fuente principal de emisiones de CO₂, no solo por la pérdida de la biomasa de las plantas, sino también por el aumento de la descomposición de la materia orgánica del suelo. Se estima que las emisiones de CO₂ del sector agrícola representan del 21% al 25% del total.

Se conoce que los niveles de carbono del suelo han disminuido como consecuencia de la utilización de las tierras con fines agrícolas. Las estrategias sostenibles de uso de la tierra (reciclaje de materia orgánica y nutrientes, labranza mínima o cero labranza, entre otras) tienen el potencial de restablecer los niveles de materia orgánica y reducir las pérdidas del sistema. La agricultura integrada, que promueve el uso de abonos orgánicos, permite la captura y fijación de carbono y reduce las emisiones de GEI. Experimentos realizados a largo plazo reconocen que la fertilización orgánica reconstruye la materia orgánica del suelo y que también contribuye a la retención del agua, el crecimiento de las raíces de los cultivos, la mayor estabilidad de los agregados del suelo; asimismo promueve la biota edáfica e incrementa el rendimiento agrí-

cola.¹ Este concepto se conoce como salud del suelo, que toma en cuenta todas las interacciones y factores que imitan el comportamiento de un suelo natural.²

Se estima que las tierras de cultivo contienen el 5,7% de las reservas globales de carbono en la vegetación y en el suelo hasta un metro de profundidad.³ La mayoría de estas tierras presentan tasas elevadas de captura de carbono, pero la extracción intensiva de productos agrícolas y el desaprovechamiento de residuos de cultivo, producen un desbalance energético y en términos de reservas de carbono. Por este motivo, muchos suelos de uso agrícola son considerados como fuentes netas de emisión de carbono,⁴ situación que puede revertirse con el empleo de prácticas y métodos de la agricultura ecológica.

A medida que se profundiza en el suelo, las reservas de carbono pueden ser aún mayores. Por ejemplo, aunque se conoce poco sobre el secuestro de carbono inorgánico en forma de carbonatos (como las piedras calizas), estas cantidades pueden ser considerables, lo que ha sido poco investigado. La mayor parte de las investigaciones se concentran en analizar la captura de carbono en los horizontes superficiales del perfil edáfico, y raramente llegan a los dos metros, espesor requerido para la clasificación de los suelos, según la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO) y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA Soil Taxonomy).

Por otra parte, no toda la materia orgánica del suelo tiene la misma tasa de residencia (permanencia en el suelo antes de retornar a la atmósfera o exportarse como anhídrido carbónico disuelto en el agua drenada). Así, por ejemplo, tal residencia para el carbono albergado en la hojarasca (horizontes orgánicos forestales) es muy baja, y en su mayor parte es devuelta a la atmósfera a los tres años en los ecosistemas boreales y tropicales, y a los ocho en los templados. Por tanto, se busca acumular materia orgánica humificada y estrechamente unida a la fracción mineral en los complejos órgano-minerales a los que se denomina agregados del suelo. Algunas de estas fracciones tienen tasas de residencia que superan los mil años. La residencia depende también de la

¹ D. Pimentel, P. Hepperly, J. Hanson, D. Douds y R. Seidel, 2005. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *Bioscience* 55: 573-582.

² M.G. Kibblewhite, K. Ritz y M.J. Swift, 2007. Soil health in agricultural systems. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 363: 685-701 doi:10.1098/rstb.2007.2178

³ WBGU, 1998. The accounting of biological links and resources under Kyoto Protocol: A step forwards or Backwards for Global Environmental Protection? German Advisory Council on Global Change (WBGU).

⁴ IPCC, 2000. Land Use, Land Use and Forestry. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Working Group Sinks Related to Agricultural Soils. Programa Europeo sobre Cambio Climático (ECCP). <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>ECCP.

composición granulométrica y mineralógica del suelo. Por ejemplo, la cantidad y calidad de la arcilla presente en el suelo es de gran importancia; los arenosos, como en los que abundan las arcillas caoliníticas, son poco aptos pues tienen escasa capacidad de fijar nutrientes. Dicho de otro modo, no solo es cuestión de cantidad, sino de calidad.

Metano

El CH₄ es generado por la extracción de combustibles fósiles, la cría de ganado, el cultivo de arroz y la quema de biomasa. Este gas contribuye al calentamiento global en un 14,3%, y sus concentraciones en la atmósfera han aumentado en un 15% desde el año 1750. Es el más importante en la atmósfera después del vapor de agua y el CO₂, aunque su potencial de calentamiento es mucho mayor.

Se considera que la agricultura es responsable de aproximadamente dos tercios del total del CH₄ producido por el hombre, en especial a causa del manejo del agua y fertilizantes en los arrozales, la combustión de la biomasa y los rumiantes (fermentación entérica y tratamiento de desechos de animales). Las prácticas agrícolas intensivas, como la cría de ganado, el cultivo del arroz y el uso de fertilizantes, emiten más del 50% del CH₄ producido por la actividad humana y gran parte del N₂O.

El suelo se considera el único sumidero significativo de CH₄ y se estima que la concentración atmosférica sería el doble sin ese sumidero. Sin embargo, la fertilización con nitrógeno mineral ha demostrado que inhibe la oxidación del CH₄ de los suelos. En este sentido, la agricultura orgánica, que aplica niveles más bajos de fertilización nitrogenada, tiene una situación ventajosa. Los sistemas de alimentación de rumiantes basados en pastos, forrajes y otros alimentos, así como el uso de bajas proporciones de granos en las dietas, contribuyen a reducir las emisiones de este gas.

Entre las opciones para reducir las emisiones de CH₄ se encuentran: elevar la eficacia del uso de fertilizantes, desarrollar nuevas variedades de arroz, mejorar la gestión de los residuos del ganado y de los cultivos, restaurar tierras degradadas y expandir la explotación agroforestal. Es importante destacar que la técnica del compostaje no se recomienda como una opción para mitigar la emisión de este gas.⁵ Se considera más eficiente la digestión

⁵ J. Bates, 2001. Economic evaluation of emission reductions of nitrous oxides and methane in agriculture in the EU: Bottom-up Analysis. Contribution to a Study for DG Environment, European Commission by Ecofys Energy and Environment, AEA Technology Environment and National Technical University of Athens.

anaeróbica controlada del estiércol y residuos combinados con la producción de biogás a través de biodigestores.⁶

Óxido nitroso

Generado en los procesos industriales, por la deforestación y el empleo de fertilizantes industriales, el N₂O contribuye al calentamiento global en un 7,9%, y desde 1750 su concentración en la atmósfera ha aumentado 16%. Actualmente sus emisiones tienden a continuar en ascenso, por lo que su potencial de calentamiento es mucho mayor que el del metano.

A nivel global, la agricultura emite entre 65% y 80% del total de N₂O, especialmente a partir del uso de fertilizantes nitrogenados y la alimentación animal. Se estima que el 41% de las emisiones de N₂O es de origen antropogénico.⁷ Al menos el 60% de sus emisiones brutas globales provienen del suelo, como resultado de la acción microbiana sobre las transformaciones de amonio en nitrato (nitrificación) y de nitrato en amonio (desnitrificación). Por tanto, la fertilización nitrogenada (orgánica o mineral) y el nitrógeno fijado por las plantas leguminosas, tienden a elevar las emisiones.

En los sistemas de producción ecológicos, los excedentes de nitrógeno y sus pérdidas se minimizan, ya que no se utilizan abonos sintéticos y las necesidades nutritivas se ajustan al potencial productivo. Estos sistemas reducen al máximo posible la estabulación del ganado, así como el empleo de proteínas poco digestibles, lo cual también contribuye a reducir las emisiones. El uso de fertilizantes nitrogenados en los ecosistemas tropicales limitados en fósforo eleva de 10 a 100 veces los niveles de N₂O. La agricultura orgánica no utiliza nitrógeno producido sintéticamente, lo que restringe la productividad a los límites del sistema natural (por ejemplo, se basa en la fijación de nitrógeno atmosférico) o al balance de nutrientes del agroecosistema, que incluye forrajes y fertilizantes orgánicos.

Cualquier alternativa para reducir la emisión de este gas en la agricultura debe estar relacionada con el manejo adecuado de los suelos. El deterioro de la fertilidad es una de las principales motivaciones para que los productores recurran cada vez más a los fertilizantes químicos, a pesar de que existen alternativas. Por ejemplo, los fertilizantes nitrogenados pueden sustituirse por

⁶ S.C. Jarvis y B.F. Pain, 1994. Gaseous emissions from and intensive dairy farming system. *Proceeding of the IPCC AFOS Workshop*. Canberra, Australia. pp. 55-59.

⁷ IPCC, 2001. *Cambio climático: la base científica (Resumen técnico)*. Aportación del grupo de trabajo I al tercer informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.

lixiviados de humus de lombriz u otras enmiendas orgánicas producidas localmente, menos costosas y más amigables con el medioambiente.

Necesidad de tomar acciones

Con mayor o menor intensidad, el cambio climático ya afecta negativamente a toda la humanidad —y seguirá afectando si no se adoptan otras acciones— en cuanto al acceso a agua potable, la producción de alimentos, la salud, la estabilidad de los ecosistemas, entre otros. Aunque sus futuros y más intensos efectos se sentirán en todo el planeta, será la población de los países más pobres la que soportará los mayores impactos, debido a su menor capacidad de mitigación de este fenómeno y adaptación a sus consecuencias.

Según datos del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas,⁸ desde la época preindustrial (1750) las concentraciones atmosféricas de CO₂ se han elevado de 280 ppm (partes por millón) a 380 en la actualidad. De conjunto, esa cifra asciende a 430 ppm si se tiene en cuenta el equivalente en CO₂ de todos los GEI producidos. De no adoptarse acciones efectivas, para el año 2035 la concentración atmosférica de CO₂ pudiera duplicarse con respecto a los niveles preindustriales, lo cual implica un incremento de 2 °C en la temperatura media a corto plazo.

A mediano y largo plazo, ese aumento pudiera alcanzar 5 °C aproximadamente, la misma diferencia que existe entre las temperaturas de la última glaciación y el presente. Esas alteraciones climáticas globales traerán como consecuencia un cambio en la geografía física del planeta. Por ejemplo, el nivel de los mares pudiera aumentar entre 15 y 95 cm para fines de este siglo por el derretimiento de las masas de hielo árticas y antárticas, incluyendo las de Groenlandia. La desaparición de los hielos glaciares de otras regiones provocará escasez de agua a una sexta parte de la población mundial, particularmente en la India, China y la región andina suramericana. Enfermedades que hoy se consideran tropicales podrían expandirse a otras latitudes.

Un incremento de apenas 2 °C en la temperatura media del planeta puede llevar a la extinción de hasta el 40% de todas las especies animales o vegetales. La acidificación de las aguas oceánicas como resultado del aumento en las concentraciones atmosféricas de CO₂ tiene consecuencias adversas sobre toda la vida marina. Ya se ha incrementado la frecuencia de eventos meteorológicos extremos, como sequías, inundaciones y ciclones, con fatales consecuencias para millones de personas.

⁸ IPCC, 2001. Ob. cit. en nota 7.

La combinación de las voluntades políticas y los adelantos técnicos debe permitir, de inicio, detener el aumento en las emisiones de GEI y, a mediano plazo, reducir las o incluso eliminarlas. En ese aspecto se destaca el empleo y desarrollo de fuentes renovables de energía en aquellos lugares donde sea posible y económicamente factible. Otras labores incluyen trabajos de reforestación, para aumentar la biomasa capaz de capturar CO₂, y la implantación de estrategias agrícolas con menor impacto ambiental.

Responsabilidad de la agricultura

La agricultura no solo contribuye al calentamiento global, sino que en gran medida es afectada por él. El aumento del calentamiento global desplazará las zonas cultivables hacia los polos. El crecimiento, el cultivo y la producción de plantas peligrarán como consecuencia de los cambios en la distribución de las lluvias y en la composición química de la atmósfera, así como por el incremento de la radiación de los rayos ultravioleta.

La agricultura es la principal fuente de metano y óxido nitroso que se emite a la atmósfera, y también hace una importante contribución de dióxido de carbono. A escala mundial, se estima que un tercio del incremento de CO₂ atmosférico desde 1750 proviene de los cambios en el uso de la tierra, y que la agricultura ha sido la responsable del 15% del total de las emisiones de GEI durante los años noventa del pasado siglo. También la agricultura itinerante, las explotaciones madereras⁹ y la intensificación de la agricultura¹⁰ se mencionan como factores de cambio que han elevado las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

La captura y fijación de CO₂ por los ecosistemas vegetales constituye un factor a tener en cuenta en el balance global de carbono. En el caso de la agricultura, la vía más efectiva para captar carbono de manera más o menos permanente es el aumento de carbono en el suelo, pero también la sustitución de los combustibles fósiles empleados con fines agrícolas por fuentes de energía renovable.¹¹ En los ecosistemas agrícolas, las pérdidas de carbono en el suelo se deben fundamentalmente al laboreo. Prácticas adecuadas, como el manejo del riego o diferentes sistemas de fertilización, pueden aumentar los depósitos

⁹ J. Koschi y K. Müller-Sänan, 2004. *The role of organic agriculture in mitigating climate change. A scoping study*. IFOAM. Bonn, Alemania.

¹⁰ Y. Malhi, P. Meir y S. Browns, 2002. *Forest, carbon and global climate*. En: I.R. Swinland (ed.): *Capturing carbon and conserving Biodiversity. The market approach*. Londres, 368 p.

¹¹ M.J. Sanz, 2002. *La agricultura ecológica como sumideros de CO₂: Sus efectos sobre el cambio climático*. Actas del V Congreso SEAE/ I congreso Iberoamericano de Agroecología. Ediciones SERIDA, Gijón, España. pp. 65-72.

de carbono en el suelo. La agricultura ecológica contribuye al ciclo del carbono porque:

- se basa en la agrobiodiversidad,
- cierra los ciclos de nutrientes,
- se autoabastece en alto grado de recursos e insumos,
- utiliza recursos locales,
- mantiene las características físico-químicas de los suelos,
- reduce la erosión al emplear cubiertas vegetales y setos,
- aprovecha las fuentes de energéticas renovables y
- consume menos combustibles fósiles de manera directa (maquinaria y mano de obra) e indirecta (evita usar productos que requieran alto costo energético en su fabricación como los fertilizantes sintéticos, herbicidas, pesticidas y alimento industrial).

Además, su contribución al medioambiente es mucho más extensa, ya que presta mayor atención a la conservación de la biodiversidad y la calidad del agua, emite menos óxido nitroso y dióxido de carbono, alcanza mayores niveles de eficiencia energética, mejora el balance de nutrientes en la superficie del suelo, genera menos residuos y no utiliza sustancias que dañen la capa de ozono.

En sistemas agrícolas convencionales de corte industrial, el uso de combustibles fósiles es significativamente mayor, y utilizan en total un 50% más de energía que la agricultura ecológica.¹² Esto se debe fundamentalmente al ahorro energético que supone mantener la fertilidad del suelo mediante rotaciones de cultivos, abonos verdes, cultivos de leguminosas, la ausencia de fitosanitarios y fertilizantes sintéticos, y los bajos niveles de dependencia externa en la alimentación del ganado.

Los sistemas ecológicos pueden contribuir de forma significativa a reducir las emisiones de GEI y al secuestro de carbono en suelos y biomasa. En dependencia de las técnicas aplicadas, su potencial de captación de CO₂ puede alcanzar 1,98 t/ha/año. A través de la agroforestería, práctica común de la agricultura ecológica, se introducen árboles en los agroecosistemas que contribuyen al secuestro de CO₂, que en climas templados llega a ser de hasta 3,9 t/ha/año.

¹² P. Mader, A. Fliebach, D. Dubois, L. Gunst, F. Padroul y U. Niggli, 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296: 1694-1697.

Comentario final

El proyecto «Efectos de la innovación agrícola local en la emisión de gases con efecto invernadero y el balance energético de los sistemas productivos en Cuba», ha trabajado en el mejoramiento de suelos, en la diversificación de cultivos agrícolas y forestales para incrementar la diversidad biológica, en la sustitución de agroquímicos para fertilizar suelos y controlar plagas, en el incremento de la eficiencia energética de los ecosistemas agrícolas, la producción de conservas, y en la reducción de la dependencia de insumos externos. Se ejecutan además actividades de capacitación, divulgación y educación ambiental comunitaria, y se monitorean grupos de fincas seleccionadas para medir el efecto de la implementación de innovaciones agroecológicas en la reducción de emisiones de GEI y la adaptación al cambio climático. Los resultados que se han obtenido en este proyecto durante los últimos tres años son un llamado a la acción, avalado por los problemas identificados y las soluciones aportadas.

ESTRATEGIA PARA MITIGAR GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL SECTOR AGROPECUARIO CUBANO

Pedro Valentín Fernández

EQUIPO TÉCNICO NACIONAL DE INVENTARIOS, INSTITUTO DE METEOROLOGÍA, LA HABANA

Las prácticas agrícolas originan una gran variedad de gases de efecto invernadero (GEI). En los inventarios nacionales de emisiones de estos gases, se estiman los que proceden de las siguientes categorías de fuentes, según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC):¹

- Ganado doméstico (fermentación entérica, manejo del estiércol)
- Cultivo del arroz
- Quema prescrita de sabanas
- Quema de residuos agrícolas
- Suelos agrícolas
- Uso y cambio de uso de la tierra

Los GEI procedentes de las prácticas agrícolas son el resultado de los procesos físico-químicos y biológicos que se realizan tanto en el sistema digestivo de los animales domésticos (fundamentalmente metano [CH₄]) como en suelos y plantas (metano y óxido nitroso [N₂O]). El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) ha estimado que la agricultura contribuye

¹ IPCC, 1996. Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Reino Unido; IPCC, 2000. Captura de Carbono en los Suelos para un Mejor Manejo de la Tierra. Panel Intergubernamental de Cambio Climático, Bruselas; e IPCC, 2007. Climate Change 2007. The physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Panel Intergubernamental de Cambio Climático, Ginebra, Suiza.

con un 21 y 25% a las emisiones globales de dióxido de carbono (CO₂), 55 y 60% a las de CH₄, y 65 y 80% de las de N₂O (IPCC, 2001).²

Los rumiantes aportan entre el 18 y el 20% de CH₄ producido anualmente a nivel mundial. En Cuba, representan cerca del 30%, y es una de las pocas fuentes de metano que puede ser reducida a través de apropiadas estrategias alimenticias y con la aplicación de adecuados sistemas de gestión. El N₂O contribuye en un 6% al efecto invernadero sobre el planeta, e influye en la disminución del ozono en la estratosfera. La contribución de la agricultura a la fuente global de N₂O es de cerca del 35%; en Cuba es de alrededor del 90%. También debe de agregarse la acción humana al aplicar distintos sistemas de gestión.

Los desechos agrícolas (líquidos y sólidos) constituyen otras fuentes importantes de emisiones, pero por la carencia de datos e información se dificulta el cálculo de su contribución y no se incluyen en este artículo.

Producción, tratamiento y mitigación de GEI procedentes de las prácticas agropecuarias

Producción

Existen diferentes procesos y factores decisivos en la formación y emisión de GEI. Unos tienen lugar en el sistema digestivo de los animales (acción de bacterias y microorganismos), otros en los suelos (características físico-químicas y microbiológicas), otros responden a las características de los cultivares, otros a la composición y manejo de los desechos líquidos o sólidos, y otros a la acción humana mediante la aplicación de diferentes técnicas y sistemas de gestión. Asimismo hay que considerar las condiciones climáticas y meteorológicas a las que se someten los procesos y factores antes mencionados.

Tratamiento

Para el tratamiento de los gases se aplican medidas que van desde la quema in situ hasta su uso con fines energéticos. Los líquidos emisores de GEI pueden ser colectados a través de sistemas de alcantarillado, fosas sépticas y lagunas de oxidación. Los colectados por sistemas de alcantarillado, con frecuencia se vierten directamente sin tratamiento en ríos, lagos, estuarios, aguas costeras, mar abierto, etc. Otra parte de las aguas residuales colectadas en el alcantarillado puede enviarse a plantas y sistemas de tratamiento y después verterlas en cuerpos receptores o reutilizarlas cuando alcanzan los valores

² IPCC, 2001. Third Assessment report: Climate Change 2001. Cambridge University Press, Reino Unido.

establecidos por las normas ambientales. Las aguas colectadas en lagunas de oxidación a veces son utilizadas para el fertirriego. Finalmente, en el caso de los residuales sólidos, estos suelen ser colectados y depositados en lugares adecuados, donde pueden recibir tratamiento. En muchas oportunidades, atendiendo a sus características, son empleados como abonos y alimento; en otros casos, desechados en vertederos.

Mitigación³

El análisis y la mitigación de las emisiones de GEI deben realizarse de forma integral, no solo considerando aquellas que proceden directamente de las distintas categorías estudiadas (animales domésticos, cultivo de arroz, suelos agrícolas, etc.), sino también sobre aquellas emisiones incorporadas, derivadas de las actividades externas que se realizan para garantizar la cría, la siembra u otras tareas agrícolas. Las acciones que se realicen deben estar avaladas por un análisis integral de todas las fuentes posibles implicadas en las emisiones (internas y externas a las categorías en estudio), para así poder aplicar medidas que minimicen al máximo la formación de GEI y su emisión a la atmósfera. De no actuar así, la mitigación sería parcial.

Por ejemplo, las emisiones de metano procedentes de la fermentación entérica en el ganado vacuno dependen, entre otras causas, de la calidad y cantidad de la alimentación. Una medida para mitigar la formación y emisión de este gas sería suministrar alimentos de fácil digestibilidad. Otras medidas podrían ser la aplicación de vacunas y el suministro de sustancias químicas que tienden a disminuir o inhibir la formación de metano en el sistema digestivo del animal. Otra variante sería lograr animales de mayor rendimiento, de forma que se reduzca la población ganadera y, por ende, el monto de las emisiones. En la ganadería se emplea transporte para trasladar el pienso y a los animales para su venta o consumo. De igual modo, para preparar el terreno de los pastos, se usa maquinaria que quema combustible y para abreviar el ganado y limpiar los establos, se bombea agua, con el consiguiente consumo de electricidad. Estas y otras acciones se convierten, por tanto, en fuentes de emisiones de GEI.

³ Los términos disminución de emisiones y emisiones evitadas no son sinónimos. Cuando se introduce una nueva tecnología, no necesariamente disminuyen las emisiones. Ello depende de los datos de actividad (DA). Por ejemplo, el incremento de la producción de electricidad (aumento de los DA) puede elevar las emisiones. Las nuevas tecnologías reducen emisiones si se mantienen los DA de la tecnología obsoleta, pero cuando se incrementan (producción de más electricidad) con la nueva tecnología, no necesariamente disminuirán las emisiones, sino que por lo general se evitan las emisiones que se producirían si el aumento de los DA se realizara usando la vieja tecnología.

Si conocemos que las emisiones de metano procedentes de los arrozales dependen, entre otros factores, del anegamiento del campo, puede lograrse su reducción haciendo un uso adecuado de la irrigación o incorporando variedades de secano. Ahora bien, para irrigar el arrozal mediante el bombeo de agua, se quema combustible o se consume electricidad del sistema nacional; también se quema combustible para colectar el grano, se consume energía procedente de la quema de combustibles in situ o de electricidad para descascarar el arroz, y también hay consumo de combustibles cuando se fumigan los cultivos en forma aérea, y así otras acciones que emiten GEI, no solo el CH₄.

Los campos de cultivo tratados con fertilizantes sintéticos nitrogenados emiten óxido nitroso. Una medida efectiva puede ser reducir su uso e incorporar fertilizantes orgánicos. También en este caso hay emisión de GEI mediante la preparación de las tierras, la irrigación, la fumigación, la recolección y el transporte de los productos. Además de las causas descritas, deben tenerse en cuenta las emisiones incorporadas, que proceden fuentes externas a las categorías definidas. Las emisiones incorporadas provienen, entre otras, de fuentes como la quema de combustibles para:

- Producir energía eléctrica.
- Accionar los equipos utilizados para la labranza, recogida y transporte de los productos.
- Accionar las turbinas para irrigar los campos.
- Realizar fumigación aérea.
- Transportar a los trabajadores.
- Usar energía eléctrica adquirida del sistema nacional con el fin de climatizar frigoríficos, oficinas y laboratorios, e iluminar corrales, etc.

Tratamiento de fuentes emisoras de GEI en sistemas agrícolas

Existen diferentes métodos de tratamiento, cuya selección depende del uso al cual se destinará el efluente tratado, su naturaleza, los medios disponibles de evacuación, las posibilidades económicas, los requisitos normativos de calidad para la descarga, incluyendo la actividad para la que van a destinarse estos efluentes si se volverán a utilizar.

Estos métodos incluyen una amplia variedad de tecnologías y técnicas, con frecuencia combinadas en una instalación. El metano es el GEI que más se emite en la agricultura, seguido del óxido nitroso. Sus fuentes más importantes las encontramos en la fermentación entérica del ganado doméstico (fundamentalmente vacuno y ovino), en las excretas (secas o líquidas) y en los arrozales anegados.

Las aguas residuales procedentes de la limpieza de corrales y establos contienen residuos orgánicos que tienen su origen en las excretas, las cuales favorecen las emisiones de metano. Por eso, es necesario tratarlas antes de descargarlas a los sistemas hídricos locales o a otros receptores. El tratamiento de las aguas residuales y la calidad de los sistemas que se utilizan, en caso de que existan, dependen también de los recursos económicos disponibles y de la voluntad política sobre la protección del medioambiente.

El tratamiento de las aguas residuales se realiza con el propósito de evitar la contaminación física, química, bioquímica, biológica y radioactiva de los cursos y cuerpos de agua receptores. Lo justifican no solo razones higiénicas o de salud pública, sino también económicas, estéticas y legales (Rojas, 2002).⁴ Con ello se procura convertir el agua residual en un efluente final aceptable a las condiciones del ambiente. También es importante la disposición adecuada de los lodos obtenidos durante el proceso de purificación, porque emiten GEI.

Uno de los métodos más generalizados para tratar el metano contenido en las excretas animales es manejarlas en forma líquida y colectarlas en biodigestores, de modo que se use el metano como fuente energética. Este tratamiento constituye a su vez un procedimiento de mitigación. Las excretas animales pueden ser tratadas en forma seca (por ejemplo, colectadas en parrillas) y emplearlas como abono en los campos. Este uso favorece la descomposición aeróbica de las excretas, y las mayores emisiones serán de óxido nitroso. Al mezclar las excretas con otras sustancias, pueden ser utilizadas como alimento animal. Otra variante puede ser combustionarlas, pues así se produce energía.

En el caso del arroz, las emisiones proceden fundamentalmente de procesos anaeróbicos bajo la acción de bacterias metanogénicas que actúan sobre el sistema como consecuencia del anegamiento de los campos de cultivo. Las condiciones que inciden sobre las emisiones de metano derivadas del cultivo del arroz son:

- Diferencias regionales en las prácticas del cultivo del arroz: regiones dispares con diferentes climas o sistemas de producción (por ejemplo, pautas de inundación).
- Régimen hídrico: combinación entre el tipo de ecosistema y las pautas de inundación.

⁴ R. Rojas, 2002. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. Gestión integral de tratamiento de aguas residuales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. División de Salud y Ambiente. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud.

- Múltiples cultivos: se realiza más de un cultivo en una misma superficie durante el año, y las condiciones de crecimiento varían entre las temporadas de cultivo.
- Pauta de inundación: tienen un efecto significativo sobre las emisiones de metano.⁵ Durante el período de cultivo, estos ecosistemas pueden ser clasificados como: 1) inundados continua o intermitentemente, 2) con alimentación por lluvias regulares, 3) con tendencia a la sequía y de aguas profundas (de secano). También deben considerarse las pautas de inundación previas al período de cultivo.⁶
- Tipo de ecosistema: irrigado, de secano y de producción de arroz en aguas profundas.
- Agregados orgánicos a los suelos: el material orgánico incorporado incrementa las emisiones de metano.⁷ El impacto sobre las emisiones depende del tipo y la cantidad aplicada, y puede ser de origen endógeno (paja, estiércol verde) o exógeno (compost, estiércol de corral).
- Otras condiciones: tipo de suelo, variedad de arroz, contenido de sulfato en los abonos.

Los suelos y las emisiones de GEI

En algún momento, la mayor parte de la biomasa contenida en el material vegetal vivo se transfiere a depósitos de materia orgánica muerta, por ejemplo, madera muerta y hojarasca. Parte de ella se descompone rápidamente y devuelve el carbono a la atmósfera, pero hay otra parte retenida durante meses, incluso años o décadas. El uso y el manejo de las tierras repercuten sobre las existencias de carbono en la materia orgánica muerta, al tener su efecto

⁵ R.L. Sass, F.M. Fisher, Y.B. Wang, F.T. Turner y M.F. Jund, 1992. Methane emission from rice paddies: The effect of floodwater management. *Global Biogeochem. Cycles*, 6: 249-262; R. Wassmann, R.S. Lantin, H.U. Neue, L.V. Buendia, T.M. Corton y Y. Lu, 2000. Characterization of methane emissions from rice fields in Asia: III. Mitigation options and future research needs. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 58: 23-36; y K. Yagi, H. Tsuruta, K. Kanda y K. Minami, 1996. Effect of water management on methane emission from a Japanese rice paddy field: Automated methane monitoring. *Global Biogeochem. Cycles*, 10: 255-267.

⁶ K. Yagi, H. Tsuruta, K. Kanda y K. Minami, 1996. Effect of water management on methane emission from a Japanese rice paddy field: Automated methane monitoring. *Global Biogeochem. Cycles*, 10: 255-267; y Z. Cai, Z., G. Xing, X. Yan, H. Xu, H. Tsuruta, K. Yagi y K. Minami, 1999. Measurements of CH₄ and N₂O emissions from rice paddies in Fengqiu, China, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 45 (1): 1-13.

⁷ R.L. Sass, A. Ding y Y. Huang, 1999. Exchange of methane from rice fields: National, regional, and global budgets, *J. Geophys. Res.* 104 (D21): 26, 943-26,952.

sobre la velocidad de descomposición y sobre el ingreso de detrito fresco. Las pérdidas debidas al quemado de materia orgánica muerta incluyen emisiones de CO₂, N₂O, CH₄, NO_x, CO y compuestos orgánicos volátiles distintos del CH₄

A medida que se fragmenta y se descompone, la materia orgánica muerta se transforma en materia orgánica del suelo. Esta incluye una gran variedad de materiales que difieren significativamente en cuanto a su tiempo de permanencia en el suelo. Parte de este material está formado por compuestos inestables, que los organismos microbianos descomponen fácilmente y devuelven el carbono a la atmósfera. Sin embargo, parte del carbono orgánico del suelo se convierte en compuestos recalcitrantes (complejos órgano-minerales) que se descomponen muy lentamente y que, por ende, pueden permanecer en el suelo durante décadas, siglos o más tiempo. Después de los incendios, se producen pequeñas cantidades del llamado «carbono negro», que es una fracción de carbono casi inerte con tiempos de rotación que puede extenderse por milenios.

Los suelos contienen también depósitos de carbono inorgánico, ya sea en forma de minerales primarios del material madre del que se formó el suelo (por ejemplo, piedra caliza) o como minerales secundarios (por ejemplo, carbonatos pedogénicos), que surgen durante la formación del suelo. Las existencias de este tipo de carbono en el suelo pueden verse afectadas por el manejo, aunque habitualmente no en el grado en que sucede con los depósitos de carbono orgánico.

De manera similar, los cambios de uso de la tierra realzan las emisiones de N₂O si están asociados con una elevada descomposición de la materia orgánica del suelo y con la subsiguiente desmineralización del nitrógeno, como sucede cuando se inician cultivos en humedales, bosques o pastizales.

Cuando se drenan los campos de arroz inundados, pueden decrecer las emisiones de CH₄ y también el contenido de carbono en el suelo, pero pueden aumentar las emisiones de N₂O. Muchas de las prácticas utilizadas para mitigar las emisiones de metano en la agricultura, pueden mejorar la productividad de los cultivos y de los animales. Aplicando a los cultivos el residuo de los digestores en calidad de abono, se aportan nutrientes, y al aplicar las aguas residuales a los campos de arroz, se les incorporan nutrientes y se reducen costos.

Estrategias para reducir la emisión de óxido nitroso

La agricultura es la mayor contribuyente de las emisiones a la atmósfera de N₂O, uno de los más poderosos GEI. Sus fuentes más importantes incluyen emisiones desde los suelos debido al metabolismo del nitrógeno por los

microorganismos, mediante los procesos de nitrificación y desnitrificación. Estos procesos actúan sobre las excretas animales, que emiten GEI cuando están almacenadas o son aplicadas en los campos. Las emisiones ocurren directamente sobre las tierras agrícolas y desde el nitrógeno transportado hacia tierras no agrícolas, mediante los gases, el lixiviado y la escorrentía.

Mientras la razón de las emisiones desde los suelos varía considerablemente debido a diversos factores, hay estudios que muestran una aproximada proporcionalidad entre el total de nitrógeno aportado antropogénicamente (fertilizantes, excretas, plantación de legumbres) y la cantidad que se pierde como N_2O . Muchos suelos emiten este gas a razón de 1,5% de sus ingresos de nitrógeno. Si el ingreso de este químico decrece en sistemas de siembra, también lo harán las emisiones de N_2O en alrededor de 1,5% del nitrógeno incorporado salvado. El tipo de ingreso es menos importante que la cantidad. Por ejemplo, fertilizantes sintéticos, excretas y la fijación biológica de nitrógeno tienen efectos equivalentes sobre el flujo de N_2O en los sistemas de siembra más intensos.

El nitrógeno es usado ineficientemente en muchos sistemas de sembrado: generalmente solo la mitad de los ingresos de este nutriente son capturados por la biomasa de los cultivos; el resto se pierde desde el sistema a través de la lixiviación o a través de gases como N_2 , N_2O , NO_x o NH_3 . En realidad, el desafío consiste en reducir los ingresos de nitrógeno sin afectar el rendimiento de los cultivos. Esto podría lograrse con la aplicación de tecnologías existentes, como la fijación biológica a través de bacterias que pueden incorporarlo al suelo en beneficio de los cultivos (tabla 1).

Cualquier práctica que logre utilizar el nitrógeno liberado en beneficio de las cosechas, aumentará el uso eficiente de los nutrientes y reducirá la demanda de fuentes químicas.

Gestión ambiental

La gestión ambiental se refiere al conjunto de acciones dirigidas a la administración, uso y manejo de los recursos y a la conservación, preservación, mejoramiento y monitoreo del medioambiente sobre la base de una coordinada información y con participación ciudadana.⁸ La política ambiental cubana se ejecuta mediante una gestión integral que utiliza los instrumentos presentados en el Artículo 18 de la Ley No. 81 del Medio Ambiente (Asamblea Nacional del Poder Popular, 1997).

⁸ Glosario Ambiental. Portal de Medio Ambiente. <http://www.medioambiente.cu>.

Tabla 1. Opciones agrícolas para reducir el flujo de N₂O

Objeto de mitigación	Práctica	Comentario
Emisiones de N del suelo asociadas con la fertilización	Chequeo del N del suelo	Puede reducir la sobrefertilización de cultivos.
	Distribución de fertilizantes	Sincronizar la fertilización con el período de crecimiento activo del cultivo.
	Colocación del fertilizante	La fertilización por capas puede incrementar el uso eficiente del N al reducir la volatilización en 30% e incrementar el rendimiento en 15%.
	Nitrificación e inhibidores de urea	El N aplicado como NH ₄ o mineralizado en el suelo debe ser nitrificado a nitrato antes de disponerlo para la desnitrificación. Los inhibidores retrasan la transformación del amonio a nitrato y la urea a amonio para ayudar a igualar el suministro del N con la demanda del cultivo.
	Cultivos cubiertos	En invierno o en barbecho, los cultivos cubiertos pueden prevenir el aumento del N residual del suelo, capturando el N que de otra manera sería emitido como N ₂ O o lixiviado.
Emisiones de excretas animales	Excretas almacenadas	El tratamiento anaeróbico de las excretas minimiza las emisiones de N ₂ O.
	Excretas depositadas	Las emisiones post-almacenaje se mitigan con las mismas prácticas que la fertilización con N, se incrementa la captación del N por los cultivos y se reduce la lixiviación de N ₂ O.
Emisiones indirectas de áreas no cultivadas.	Maximizar uso del N en los cultivos	Uso adecuado del N.
	Manejo de zonas ribereñas	El uso de filtros laminares y la siembra de árboles cerca de las zonas de barbecho ayudan a mantener el N lixiviado desde el N ₂ O al lado del flujo o lejos, corriente abajo.
	Manejo de amonio	El NH ₃ volatilizado desde el confinamiento de animales o desde el fertilizante amoniacal anhidro, se convierte con la lluvia en NH ₄ ⁺ . Las excretas animales pueden ser manejadas para minimizar las emisiones de NH ₃ si se almacenan en lagunas u otros sistemas anaeróbicos; el suministro de fertilizante amoniacal anhidro puede reducir las pérdidas.
	Tratamiento de aguas residuales	Mucho del N contenido en las aguas residuales provienen del consumo humano de alimentos. Eliminar el N antes de liberar tales efluentes puede evitar que se convierta en N ₂ O en el entorno corriente abajo.

Nota: Adaptado de Cole et al. (1996) y Kroeze y Mosier (2000).

Gestión ambiental municipal

Una de las líneas de mayor importancia para incorporar la variable ambiental dentro de los programas y proyectos de los países, ha sido el fortalecimiento de los procesos de gestión ambiental municipal con el establecimiento de un Sistema de Gestión Ambiental Municipal.

Este sistema busca que todas las áreas del municipio trabajen de manera conjunta para planear las acciones que permitan un uso adecuado de los recursos naturales y el cuidado del medioambiente. El Sistema de Gestión Ambiental Municipal reconoce en la participación social las bases para el desarrollo nacional, ya que son los primeros que deben custodiar, conservar y manejar los recursos naturales. Además de la voluntad política de la autoridad municipal para asumir la gestión ambiental local, se requiere de otras condiciones e instrumentos técnicos, jurídicos y administrativos.

Los Sistemas de Gestión Ambiental son una propuesta organizacional para el adecuado funcionamiento de la administración municipal a fin de enfrentar la gestión ambiental en su territorio junto con la autoridad ambiental competente y alcanzar la sostenibilidad municipal a partir de:

- a) Mejorar la calidad ambiental fijando metas medibles de acuerdo con las condiciones particulares del territorio.
- b) Orientar los procesos culturales y sociales hacia la sostenibilidad.

Estos sistemas facilitan que la administración municipal desarrolle las funciones, responsabilidades y competencias ambientales que le corresponden. Además, en este proceso deben tener una amplia participación las demás entidades estatales y sociales ubicadas en el área. En los últimos años, se han desarrollado en América Latina diferentes estudios y propuestas en esta dirección. El principal reto de la administración municipal es que la dimensión ambiental esté presente en los proyectos y programas municipales, para que cada decisión considere los beneficios o las consecuencias sobre el medioambiente. Además, debe tenerse en cuenta que muchos problemas no se limitan a un municipio, ni a su demarcación geográfica. El caso de las aguas residuales es un ejemplo.

Sistema de gestión ambiental. Norma ISO 14000

La Norma ISO 14000 es un conjunto de documentos de gestión ambiental que, una vez implantado, incidirá sobre todos los aspectos de la gestión de una organización en sus responsabilidades ambientales y ayudará a las organiza-

ciones a tratar, sistemáticamente, asuntos ambientales con el fin de mejorar el comportamiento ambiental y las oportunidades de beneficio económico.

La Norma ISO 14001:2004 ha sido preparada por el Comité Técnico ISO/TC 207, Gestión ambiental, Subcomité SC1, Sistemas de gestión ambiental. Esta segunda edición anula y sustituye la primera, de 1996, de manera que queda actualizada técnicamente. La puede aplicar cualquier organización que desee establecer, documentar, implantar, mantener y mejorar continuamente un sistema de gestión ambiental. Así, son tres los compromisos fundamentales que recoge la norma:

- Mejora continua del comportamiento ambiental
- Prevención de la contaminación
- Cumplimiento de la legislación y la reglamentación ambiental

En Cuba, el Comité Técnico de Normalización sobre Gestión Ambiental (NC/CTN 3) viene trabajando desde hace varios años en la adopción de las normas de la serie ISO 14000 como Normas Cubanas. La «NC-ISO 14001, Sistemas de Gestión Ambiental. Especificaciones y directrices para su uso» proporciona una estructura total para la gestión ambiental en cualquier organización y la integra a su sistema de gestión global.

La NC-ISO 14001 es una norma de requisitos y contiene un conjunto de requerimientos para definir la operación de los Sistemas de Gestión Ambiental. Estos requisitos son flexibles y están expresados de forma general para que puedan ser aplicados a cualquier tipo y tamaño de organización. Por esta norma se certifican los Sistemas de Gestión Ambiental.

La NC-ISO 14004 es la norma acompañante de la NC-ISO 14001. Proporciona una guía e ilustraciones sobre «qué hacer» y «cómo hacerlo» para aquellas organizaciones que implementan el sistema de gestión especificado en la NC-ISO 14001. Para cumplir con la norma NC-ISO 14001, se tienen que implementar los requisitos que esta contiene en su sección 4. Estos requisitos están basados en la estructura de gestión «planificar, implantar, verificar y revisar» (tabla 2), de modo que las fases de verificación dan paso a una nueva fase de planificación, y, a su vez, a la implementación de los cambios o de la implantación.

Técnicas de gestión de la contaminación

De acuerdo con varios investigadores, «una jerarquía lógica de gestión de la contaminación» está basada en el principio de que la contaminación debe evitarse o reducirse en la propia fuente de emisión siempre que sea factible,

mientras que aquella que no se puede evitar debe reciclarse de una manera ambientalmente segura.

Tabla 2. Fases y actividades principales del ciclo de la gestión

1. Planificar	Analizar la situación existente. Detectar los puntos prioritarios de actuación. Programar (qué hacer, cómo hacerlo, cuándo, quién o quiénes, y con qué medios).
2. Implantar/hacer	Trasladar la planificación a la práctica.
3. Verificar	Comprobar que lo efectuado coincide con lo previsto. Analizar las mejoras alcanzadas. Contrastar la eficacia de las acciones emprendidas, comparando los resultados previstos con los realmente obtenidos.
4. Revisar/actuar	Detectar las dificultades encontradas: Análisis de causas. Identificar y registrar las oportunidades de mejoras. Identificar y registrar las deficiencias detectadas y el tratamiento propuesto.
5. Inicio del ciclo: Planificar	Analizar de nuevo la situación de partida. Actualizar los puntos prioritarios de actuación. Elaborar un nuevo programa.

Las técnicas de gestión de la contaminación incluyen:

- Evitar: Opción más deseable y eficiente de disminuir el riesgo.
- Reducción en la fuente: Consiste en la aplicación de cualquier alternativa (tecnologías, prácticas, métodos) que prevenga, reduzca o elimine la generación de contaminantes en la propia fuente de emisión.
- Reciclaje: Cuando la contaminación no se puede evitar a través de métodos de reducción en la fuente, los residuos que tienen utilidad deben recuperarse para procesarlos en nuevos productos, o para volver a utilizarlos en su forma original.
- Tratamiento: Cuando la reducción en la fuente y el reciclaje ya se han utilizado hasta sus máximas posibilidades o dejan de ser aplicables, es conveniente utilizar métodos de tratamiento de residuos para mitigar el impacto ambiental de los contaminantes que contienen.

- Descarga y eliminación: Vertimiento, depósito o enterramiento, según el caso, de los materiales contaminantes en un medio determinado (agua, aire, suelo), una vez agotadas las posibilidades anteriores.

Aunque no se dispuso de la información necesaria sobre el tratamiento que a nivel nacional se les aplica a las aguas residuales y a sus lodos procedentes de la agricultura, resulta necesario, por la gran cantidad de estos vertimientos y las emisiones de GEI que producen, dedicar especial atención a su manejo. A modo de ejemplo se analizarán dos sistemas de tratamiento.

Lagunas de estabilización

La tecnología de lagunas de estabilización es uno de los métodos naturales más importantes para el tratamiento de aguas residuales. Estas son, en lo fundamental, reservorios artificiales que comprenden una o varias series de lagunas, aeróbicas, anaerobias y facultativas. Las lagunas de estabilización son particularmente adecuadas para países tropicales y subtropicales, puesto que la intensidad de la radiación solar y la temperatura ambiente son factores clave para la eficiencia de los procesos de degradación.

Estas instalaciones se proyectan, construyen y utilizan para el tratamiento tanto de los residuales líquidos domésticos como de los efluentes industriales y agrícolas. Sus objetivos son: a) reducir y desactivar organismos patógenos presentes en líquidos residuales, b) disminuir la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) o Demanda Química de Oxígeno (DQO) del líquido, c) posibilitar el reciclaje del líquido como puede ser mediante el fertirriego. Estas lagunas se clasifican en tres tipos:

- Aeróbicas: Soportan cargas orgánicas bajas y contienen oxígeno disuelto en todo instante y en todo el volumen del líquido.
- Anaeróbicas: Se proyectan para altas cargas orgánicas y no contienen oxígeno disuelto. El proceso es semejante al de un digestor anaeróbico sin mezcla.
- Facultativas: Operan con una carga orgánica media. En las capas superiores hay un proceso aeróbico y en las inferiores uno anaeróbico, donde se producen fermentación ácida y mecánica al mismo tiempo.

Tratamiento, descarga y eliminación de las aguas residuales

El tratamiento, descarga y eliminación de las aguas residuales en condiciones anaeróbicas produce CH_4 . También generan emisiones de N_2O y CO_2 , aunque

las de este último no se incluyen en los inventarios nacionales de emisiones de GEI, pues son de origen biogénico.⁹ En tales inventarios, la determinación de las emisiones de CH₄ procedentes de las aguas residuales domésticas y de los efluentes industriales se realiza de forma separada, dadas las diferencias existentes en los datos de actividad y en los parámetros de emisión entre ambas subcategorías de fuentes.

En los países en desarrollo, una parte pequeña de las aguas residuales domésticas y comerciales se colecta mediante sistemas de alcantarillados, y el resto queda en fosas y letrinas. Solo una parte de las colectadas recibe tratamiento; el resto se vierte cruda en ríos, lagos, océanos y, en ocasiones, también el suelo y otros depósitos, entre estos subterráneos, con el consiguiente peligro de contaminar el manto freático.

Se espera que en los próximos años las emisiones de CH₄ y otros GEI de los países en vías de desarrollo, derivadas desde esta categoría de fuente, sean significativamente mayores que en los países desarrollados. Esto se debe a que en los primeros las aguas residuales domésticas, comerciales e industriales, así como las procedentes de la agricultura, a menudo no son manejadas o se mantienen en condiciones anaeróbicas, sin control de las emisiones de GEI. También se prevé que las emisiones de los países en desarrollo crezcan en el futuro por el aumento de la población y las actividades industriales.

Tanto las aguas residuales como los lodos que estas contienen, pueden producir CH₄ y otros GEI por degradación anaeróbica. La cantidad producida de GEI depende, principalmente, de la cantidad de materia orgánica degradable contenida en las aguas residuales, de la temperatura y del tipo de sistema de tratamiento. El índice de producción de CH₄ aumenta normalmente con el incremento de la temperatura. Por debajo de 15°C es improbable que ocurra una producción significativa de este gas pues los metanógenos no están activos y, por ejemplo, las lagunas de estabilización servirán fundamentalmente como tanque de sedimentación. Sin embargo, cuando la temperatura sobrepasa 15°C es muy probable que la producción de CH₄ se reinicie.

Obtención, selección y procesamiento de los datos de actividad

En la preparación y desarrollo de este estudio se estimaron las emisiones directas de GEI procedentes de las distintas categorías de fuentes definidas para el Módulo Agricultura del IPCC. También se consideraron las emisiones incorporadas por las fuentes externas cuya utilización tuvo como objetivo materializar los planes elaborados para aumentar la producción agropecuaria en

⁹ IPCC, 1996. Ob. cit. en nota 1; IPCC, 2000. Captura de Carbono en los Suelos para un Mejor Manejo de la Tierra. Panel Intergubernamental de Cambio Climático, Bruselas.

Cuba. Los datos de actividad (DA) se obtuvieron de tres fuentes fundamentales: la Oficina Nacional de Estadísticas (ONE), que realiza estimados de emisiones de GEI; el MSc. Valentín Lázaro Rabelo Parra, Coordinador de Gestión Ambiental de la Unión Eléctrica; y el Inventario Nacional Cubano de Emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero del año 2002.

Para seleccionar el método de trabajo, se aplicó lo orientado por el IPCC en las Guías Revisadas de 1996, las Guías de Buenas Prácticas y Manejo de Incertidumbres,¹⁰ las Directrices del IPCC de 2006 para inventarios nacionales de GEI. Asimismo se aplicó como enfoque metodológico el aportado por el Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte correspondiente al Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, edición revisada de 2001.

El IPCC orienta métodos en tres niveles;¹¹ pero en este estudio se aplicaron los de Nivel 1 y Nivel 2, en correspondencia con la información disponible. Los datos se procesaron con el software aportado por el IPCC para estimar las emisiones y absorciones de GEI, y también se aplicó el análisis de incertidumbre de Nivel 1 orientado por este órgano. Los años seleccionados para la investigación corresponden al período 2000-2002, considerados años base para los estudios relacionados con la emisión de GEI en Cuba.

Las lecciones y experiencias derivadas de este estudio, especialmente las metodológicas, posibilitarán extender y ejecutar evaluaciones similares en todos los municipios del país. El Equipo Técnico de Gases de Invernadero (ETGI) del Instituto de Meteorología está a cargo de la expansión del Inventario Nacional de Emisiones y Remociones de Contaminantes del Aire, que incluye los niveles provincial y municipal. Los resultados proporcionarán elementos de interés para los estudios cubanos de mitigación, como parte de la preparación de la Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

Resultados

En la estimación de las emisiones de GEI (línea base para la mitigación) procedentes de las prácticas agropecuarias en Cuba, fueron consideradas no solo

¹⁰ IPCC, 2000. Ob. cit. en nota 9.

¹¹ El método de Nivel 1 consiste en una aproximación simplificada debido a la poca o nula información disponible, y que hace uso de DA y factores de emisión (FE) por defecto recomendados, aportados en tablas y publicaciones internacionales correspondientes a estudios realizados en otros países. El de Nivel 2 es más complejo por el gran volumen y detalle de la información necesaria, y que debe corresponder a valores propios del país, ya sea para los DA o para los FE. El método de Nivel 3 se basa en mediciones y modelos propios utilizados para realizar las estimaciones de GEI.

las emisiones que proceden de las categorías tratadas en el módulo agricultura (ganado, cultivos, suelos), sino también las originadas por acciones externas y que se realizan para garantizar el cumplimiento de los planes agropecuarios.

En la tabla 3 se observa que las emisiones de N₂O correspondientes a las emisiones directas (fundamentalmente por el uso de fertilizantes nitrogenados) y a las indirectas (pérdidas de nitrógeno que ocurren por volatilización, escorrentía y lixiviación), ascendieron a 3,34 y 2,76 Gg en el año 2000, y a 4,46 y 3,96 Gg en 2002. De estas cantidades (emisiones directas más emisiones indirectas), el 45% y el 47% corresponden a las emisiones indirectas en los años analizados, lo que evidencia que gran parte del fertilizante sintético nitrogenado se pierde por esta vía (emisiones indirectas). Esto implica su no utilización por las plantas; la contaminación del aire, el suelo y las aguas; pérdidas económicas y de fuerza de trabajo; así como una contribución al calentamiento global.

Tabla 3. Emisiones de N₂O en Gg procedentes de los suelos agrícolas (2000 y 2002)

Emisiones	2000	2002
Directas	3,34	4,46
Del pastoreo (estiércol depositado en el campo)	3,56	7,20
Indirectas	2,76	3,96

Las emisiones directas de GEI procedentes de las diferentes categorías estudiadas (fermentación entérica, manejo de estiércol, cultivo del arroz, quema de residuos y suelos agrícolas) son menores (salvo en el caso del metano) que las emisiones incorporadas por las demás fuentes, sobre todo las indirectas (alcance 2 y alcance 3), procedentes de las distintas fuentes relacionadas con la actividad agropecuaria, en especial las emisiones de CO₂, que no son analizadas en el módulo agricultura (tabla 4).

Estos resultados indican que, al analizar un proceso de mitigación, no solo es necesario atender a las causas directas que propician las emisiones de las fuentes tratadas en las distintas categorías en estudio, sino también las correspondientes a las actividades de gestión. Las emisiones relacionadas con la gestión incluso incorporan otras no consideradas en el módulo agricultura (tabla 5). Si no se consideran, se subestimarían las emisiones y no se tomarían acciones concretas sobre todas las fuentes que incorporan GEI.

Tabla 4. Emisiones directas e indirectas en Gg de las prácticas agropecuarias (2002)

Alcance 1. Emisiones directas		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	SO ₂	COVDM
Ganado doméstico	Fermentación entérica		169,65	NA	NA	NA		
	Manejo del estiércol		7,16	0,065	NA	NA		
Cultivo del arroz	Arroz anegado		11,88	NA	NA	NA		
	Quema de residuos agrícolas		1,45	0,02	0,87	30,53		
	Suelos agrícolas		NA	15,62	NA	NA		
Subtotal emisiones agropecuarias			190,14	15,71	0,87	30,53		
Emisiones incorporadas								
	Producción de energía	641,03						
	Quema de biomasa con fines energéticos	154,15						
	Emisiones diferentes de CO ₂		0,46	0,01	7,09	14,85		1,71
	Emisiones de fuentes móviles	450,59	0,02	0,20	7,72	5,57		1,27
Subtotal de emisiones incorporadas		1245,77	0,48	0,21	14,81	20,42		2,98
Alcance 2. Emisiones indirectas								
Consumo de electricidad								
	Emisiones incorporadas	199,424	0,003	0,005	5,16	0,47	65,0	0,06
Alcance 3. Emisiones indirectas								
	Transporte arrendado	142,43	0,035	0,005	1,535	9,98		2,385
	Uso y cambio de uso de la tierra	3257,31	2,02	17,65	0,01	0,50		
Subtotal de emisiones incorporadas		3399,74	2,055	17,655	1,545	10,48		2,38
Total general de emisiones incorporadas en Gg		4844,934	2,538	17,66	21,515	31,37	65,0	5,425

Nota: para la categoría de uso y cambio de uso de la tierra solo se toman en cuenta las emisiones de CO₂, que fue capaz de absorber 13194,32 Gg de este gas.

Tabla 5. Estado comparativo entre las emisiones propias y las incorporadas (enfoque físico-químico y enfoque de proyecto)

GEI	Emisiones en Gg			
	Propias		Incorporadas	
	Gg	Gg. CO ₂ eq.	Gg	Gg. CO ₂ eq.
CO ₂			4844,93	4844,93
CH ₄	190,14	3992,94	2,54	53,34
N ₂ O	15,71	4870,10	7,66	5474,60
NO _x	0,87		21,52	
CO	30,53		31,37	
SO ₂			65,00	
COVDM			5,43	
Totales	237,25	8863,04	4988,45	10372,87

Conclusiones

Al elaborar una estrategia de mitigación de GEI desde el nivel municipal hasta el nacional, es necesario estimar las emisiones de estos gases de forma integral. Deben tenerse en cuenta no solo las que proceden directamente de las categorías tratadas (ganado doméstico, cultivos o suelos), sino también las que generan fuentes externas que actúan como elemento básico y necesario para materializar los planes concebidos para la cría de animales domésticos y obtención de buenos rendimientos de las cosechas. El análisis con enfoque arriba-abajo aportó elementos acerca del aumento de las emisiones e inclusión de otras no consideradas en los inventarios nacionales y que proceden de fuentes externas a las categorías analizadas (emisiones incorporadas).

El enfoque desagregado abajo-arriba del inventario de emisiones (por sistemas de tratamiento-descarga y estructuras administrativas menores del municipio, específicamente los consejos populares), arroja resultados de mayor calidad y detalle que el enfoque agregado arriba-abajo utilizado en el Inventario Nacional de Emisiones y Remociones de Gases de Invernadero.

Este enfoque posibilita evaluar la repercusión de las técnicas de gestión de la contaminación o las medidas de mitigación de emisiones de GEI que puedan implementarse en diferentes zonas del municipio o que están relacionadas con sistemas de tratamiento y descarga específicos.

Si este análisis se realiza aplicando un enfoque abajo-arriba (enfoque desagregado detallado), por ejemplo el municipio, al contar con la informa-

ción real de las emisiones en la base procedentes de fuentes internas y externas a las categorías estudiadas, se puede contabilizar con más precisión el monto total de las procedentes de las actividades agropecuarias y elaborar una estrategia adecuada para mitigar las emisiones, tanto las internas a las categorías analizadas en los inventarios nacionales de GEI, como las externas (emisiones incorporadas) que no solo aumentan el monto total de las emisiones, sino que incluso incorporan otras no tratadas en los inventarios.

En la selección e implementación de técnicas de gestión de la contaminación generada por manejo y tratamiento en el sector agropecuario como parte de la Gestión Ambiental, es importante tener en cuenta las repercusiones de esas técnicas sobre las emisiones de GEI a la atmósfera y su contribución al calentamiento global.

Los resultados confirman que el uso de escenarios combinados de gestión ambiental-mitigación para evaluar el impacto futuro sobre las emisiones de GEI será una herramienta para la gestión ambiental municipal que puede contribuir a la toma de decisiones apropiadas, tanto desde el punto de vista ambiental como para mitigar el cambio climático.

Aunque los resultados que se obtienen con el enfoque desagregado se consideran de mayor calidad y grado de representatividad de la situación imperante, este enfoque requiere mayor cantidad y dispersión de los datos e informaciones. Esto puede convertirse en un obstáculo que influye en la calidad de los resultados si la disponibilidad y cobertura de los datos que se utilizan para los cálculos no es la apropiada en el territorio que se evalúa.

La comparación y el contraste del estado de la gestión ambiental a nivel general municipal con las fases y herramientas establecidas en la norma NC ISO 14001, contribuyen a una mejor definición de los objetivos y metas de la política ambiental municipal, así como a la creación de mecanismos de verificación y acciones correctivas que posibiliten el mejoramiento ambiental continuo del municipio, así como la estructura y funcionamiento del SIGAM.

El nivel de organización actual para la captación y archivo de la información ambiental a nivel municipal no posibilita la preparación sistemática del Inventario Nacional de Emisiones y Remociones de Contaminantes Atmosféricos con un enfoque detallado abajo-arriba. Se requiere promulgar disposiciones que establezcan el reporte obligatorio de estas informaciones y establecer mecanismos de captación, proceso, control de calidad y archivo centralizado de la información ambiental a nivel municipal.

RESERVAS DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS FERRALÍTICOS ROJOS

Alberto Hernández, Dania Vargas,
Yenia Borges, Humberto Ríos

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, MAYABEQUE

Marisol Morales

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FUNDAMENTALES EN LA AGRICULTURA TROPICAL, LA HABANA

Fernando R. Funes-Monzote

ESTACIÓN EXPERIMENTAL INDIO HATUEY, UNIVERSIDAD DE MATANZAS

El suelo es el componente principal y más estable de los ecosistemas para secuestrar carbono y acumularlo en forma de materia orgánica. Las pérdidas de carbono en los suelos afectan su fertilidad por el contenido de nitrógeno y otros nutrientes, y además tienen impactos en otras propiedades que resultan imprescindibles para el buen desarrollo de las plantas. Este capítulo examina la situación de las reservas de carbono en suelos Ferralíticos Rojos de la llanura Habana-Matanzas y describe algunas medidas para elevar el contenido de carbono orgánico y mejorar sus condiciones agroproductivas.

Desde un punto de vista ecológico-edafológico, Targulián define cuatro funciones del suelo: biosférica, de interfaz con otros sistemas de la geosfera, atmosférica y litosférica.¹ Según este autor, la función biosférica del suelo consiste en que de él las plantas absorben los nutrientes minerales y el agua para garantizar su desarrollo y la producción de biomasa. La biomasa vegetal es fuente de alimento para los animales y el hombre, en tanto los elementos biológicos se acumulan en el suelo en forma de compuestos disponibles. Esta función eleva la fertilidad del suelo, es decir, su capacidad para proveer de nutrientes a las plantas. Los suelos regulan los intercambios bióticos y abióticos que ocurren en los ecosistemas, o sea, sirven de interfaz con el clima, la roca madre y la vegetación.² En condiciones naturales el suelo adquiere sus propiedades, entre ellas la fertilidad, en equilibrio con los demás componentes.

¹ V.O. Targulián, 1990: The Pedosphere. En: Global Soil Change. Int. Inst. for Applied Systems Analysis. Luxemburgo. pp. 21-29.

² A. Hernández, 2003. Función ecológica de los suelos. Caso de estudio en suelos Ferralíticos Rojos y Pardos de provincia Habana, Cuba. En: Resúmenes V Encuentro Internacional de Agricultura Orgánica. La Habana. p. 32.

Con la agricultura, la vegetación cambia, se establecen nuevos equilibrios y se modifican las propiedades del suelo. Los mayores cambios ocurren en suelos bajo producción agrícola intensiva, porque se altera el ciclo biológico natural de sustancias, se utiliza maquinaria, se aplican agroquímicos y riego. Todo esto conduce a pérdidas de carbono orgánico y repercute en otras propiedades del suelo, lo que da lugar a procesos erosivos conocidos como destrucción agrotécnica y compactación³ y más recientemente como evolución agrogénica del suelo.⁴

Determinación de reservas de carbono orgánico en los suelos

El porcentaje de carbono orgánico del suelo se calcula a partir del porcentaje de materia orgánica contenida en este, según la fórmula

$$\% \text{ C orgánico} = \% \text{ MO suelo} / 1,724$$

Teniendo en cuenta el valor del carbono orgánico, la determinación de las reservas de carbono orgánico (en t/ha) se calcula según la fórmula internacional

$$\text{RC} = \% \text{C} * \text{Dv (kg/dm}^3\text{)} * \text{profundidad capa (cm)}$$

donde RC = Reservas de carbono orgánico (en t/ha), Dv = Densidad de volumen del suelo (en kg/dm³).

De esta forma se calculan las reservas de carbono orgánico por cada horizonte y para profundidades de 0-20; 0-50 y 0-100 cm. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) exige que para los reportes nacionales se calculen solamente las reservas de carbono orgánico para la capa de 0-30 cm del suelo.

³ A. Hernández, M. Morales, J.I. Bojórquez, N.E. García Calderón y J.D. García, 2006. El Suelo: Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo. Editorial Universidad Autónoma de Nayarit, México. 255p.

⁴ I. Dubrovina, 2009. An experience of a large-scale soil mapping with the use of new Russian Soil Classification system. En: Abstracts of International Conference Soil Geography: New Horizons. Huatulco, México; A. Hernández, M. Morales, F. Morell, Y. Borges, F.R Funes-Monzote, F. Marentes, D. Vargas, H. Ríos y A. Caballero, 2009. Cambio de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de provincia Habana, por la influencia antropogénica e indicadores de su degradación. En Memorias Agrodesarrollo 2009, Varadero, Cuba. pp. 117-119; y A. Hernández, J.I. Bojórquez, F. Morell, A. Cabrera, M.O. Ascanio, J.D. García, A. Madueño y O. Nájera, 2010. Fundamentos de la estructura de suelos tropicales. Universidad Autónoma de Nayarit, México, e Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba. 80 p.

Reservas de carbono orgánico en los suelos de Cuba

El contenido de carbono en los suelos, que constituye el 58% de su materia orgánica, influye en el nivel de fertilidad, estructura, valores de la densidad de volumen, régimen de humedad y de aeración. En suelos tropicales evolucionados, como los Ferralíticos o Ferralsoles, el contenido de materia orgánica y, por tanto, de carbono es fundamental, ya que conjuntamente con el hierro forman microagregados muy estables en el suelo, como lo demuestran varios autores en sus estudios sobre la micromorfología de estos suelos.⁵

Las pérdidas de carbono en los suelos tropicales es más intensa por la influencia antropogénica, ya que la mineralización del carbono es más rápida por las elevadas temperaturas y precipitaciones. Según Ponce de León,⁶ los suelos minerales de Cuba han perdido 580 Mt de carbono por el uso agrícola al que han estado sometidos desde el siglo XVII. La tabla 1 muestra las reservas de carbono orgánico en algunos suelos cubanos para diferentes tipos de vegetación y precipitaciones, según Morales et al.⁷

Pérdidas de carbono orgánico en los suelos Ferralíticos

Cuba es un ejemplo de antropogénesis tropical, fenómeno atribuido fundamentalmente al uso de las tierras desde la época colonial hasta mediados del siglo XX. En 1959, el área de bosque cubría solo el 13% del territorio nacional, cifra que se ha incrementado paulatinamente hasta llegar casi a duplicarse en la actualidad.

En la llamada «llanura roja de La Habana» los suelos, predominantemente Ferralíticos, se cultivan desde hace más de tres siglos. Primero con tabaco; luego con tabaco, caña de azúcar, café y cultivos menores, y durante el siglo XX fueron intensamente cultivados, sobre todo en el período 1975-1990.

Ya en 1916 Crawley advertía que en las tierras rojas de La Habana era necesario aplicar abonos e implantar un sistema de rotación de cosechas debido a la pérdida de fertilidad por el efecto del cultivo continuo.⁸

⁵ M. Cooper, P. Vidal-Torrado y V. Chaplot, 2005. Origin of microaggregates in soils with ferralic horizons. *Sci. Agric.* 62 (3): 256-263.

⁶ D. Ponce de León, 2003. Las reservas de carbono orgánico de los suelos minerales de Cuba: Aporte metodológico al cálculo y generalización espacial. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad Agraria de La Habana. 99 p.

⁷ M. Morales, A. Hernández y A. Vantour, 2003. Los cambios globales y su influencia en el contenido de materia orgánica en los suelos de Cuba. *Agricultura Orgánica* 9 (2): 15-17.

⁸ J.T. Crawley, 1916. Las Tierras de Cuba. Estación Experimental Agronómica de Santiago de las Vegas. Editorial Rambla, Bouza, La Habana. 81p.

Tabla 1. Reservas de C orgánico (t/ha) en suelos de Cuba

Tipo de suelo	Vegetación y lluvia anual	Profundidad de la capa (cm)		
		0-20	0-50	0-100
Ferrítico rojo oscuro (Ferralsol férrico)	Bosque secundario (1 800 mm)	66	94	141
Ferralítico amari-llento lixiviado	Bosque de latifolias (2 000 mm)	78	133	-
Ferralítico Rojo Lixiviado (Nitisol ferrálico, éutrico y ródico)	Bosque de más de 50 años (1 300-1 500 mm)	67	97	133
	Bosque secundario o frutales (25 años), pastizales de muchos años (1 300-1 500 mm)	48	87	123
	Cultivos anuales (1 300-1 500 mm)	32	62	89
Ferralítico Rojo (Nitisol ferrálico, éutrico y ródico)	Caña de azúcar (1 300-1 500 mm) de 6 años	41	79	-
	de 12 años	47	78	-
	de 20 años	44	68	-
	Bosque semideciduo (1 300 mm)	71	111	82
	Sabana herbácea (1 300 mm)	45	71	97
Fersialítico Pardo Rojizo (Cambisol crómico)	Sabana herbácea (1 200 mm)	49	99	-
Pardo mullido (Feozem háplico)	Bosque latifolia (2 000 mm)	75	132	-
Pardo cálcico (Feozem cálcico)	Sabana secundaria (1 400 mm)	65	113	
	Cultivos anuales (1 400 mm)	43	74	
	Sabana secundaria (1 100 mm)	61	93	
	Cultivos varios (1 100 mm)	51	92	
Húmico carbonático (Feozem calcárico)	Bosque semideciduo (1 400 mm)	99	198	
	Cultivos anuales (1 300 mm)	49	77	
	Cultivos anuales (1 300 mm)	43	82	
Vertisol pélico (Vertisol háplico, pélico)	Caña de azúcar de 4 años (1 100 mm)	50	102	-

Nota: En tipo de suelos, entre paréntesis, equivalente en la clasificación del World Reference Base. Cf. IUSS Working Group WRB, 2008. Base referencial mundial del recurso suelo. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos 103. FAO, ISRIC. 117 p.

Resultados recientes demuestran que las pérdidas de carbono orgánico en estos suelos han afectado otras propiedades. Estudios realizados con suelos patrones bajo bosques de muchos años, suelos conservados en arboledas y pastizales de hace 20-25 años y suelos muy cultivados permanentemente (también llamados agrogénicos), demuestran que las pérdidas de carbono orgánico han sido alrededor de 50% para la capa de 0-20 cm en suelos muy cultivados (tablas 2 y 3).⁹ Según estos autores, con las pérdidas de carbono se destruyen los microagregados del suelo, cambia la estructura original (granular) en el horizonte húmico acumulativo y aumentan el factor de dispersión del suelo y los valores de la densidad de volumen.

Tabla 2. Reservas y pérdidas de carbono en t/ha, en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados por la influencia agrogénica en la llanura roja de La Habana

Tipo de perfil	Reservas (t/ha)			Pérdidas (t/ha)		
	0-20	0-50	0-100	0-20	0-50	0-100
Profundidad, cm	0-20	0-50	0-100	0-20	0-50	0-100
Patrón (6)	67	97	133	-	-	-
Conservado (14)	48	87	123	19	10	10
Agrogénico (18)	32	62	89	35	35	43

Tabla 3. Porcentaje de pérdidas de carbono orgánico en suelos Ferralíticos Rojos lixiviados por la influencia agrogénica en la llanura roja de La Habana

Tipo de perfil	Pérdidas contra perfil patrón (%)		
	0-20	0-50	0-100
Profundidad, cm	0-20	0-50	0-100
Patrón (6)	-	-	-
Conservado (14)	28,4	10,3	7,5
Agrogénico (18)	52,2	36,1	32,3

Con el régimen de lluvias y el riego, ya sea por aniego o por aspersión, ocurre el «lixiviado frontal» de las partículas superficiales.¹⁰ Poco a poco el suelo pierde la capa superficial y aflora la estructura de bloques subangulares,

⁹ A. Hernández, 2010. Informe final del proyecto «Cambios Globales en los Suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados y Pardos inducidos por la acción antrópica». Código 01304185, del PNCT 013 «Cambios Globales y Ambiente Cubano». Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 125 p.

¹⁰ V.P. Belobrov, 1978. Sobre la lixiviación y la diferenciación textural en algunos suelos de Cuba [en ruso]. Pochvoedenie 5: 29-41.

poliédrica o prismática del horizonte B subyacente. También puede ocurrir que se haya formado un piso de arado entre los horizontes A y B y esta estructura llegue a la superficie del suelo. Con la preparación del terreno se presentan bloques en superficie; el estado de la capa superficial del suelo cambia desde una capa de mulch bien mullida, en el caso del suelo rico en materia orgánica, hasta una de bloques compactos en suelos muy cultivados.

Según Agafonov,¹¹ en suelos Ferralíticos Rojos con alto factor de dispersión y bajo contenido de materia orgánica, la arcilla dispersa sigue dos caminos: en uno se mueve lateralmente por la escorrentía o por el agua del riego, coincidiendo con el lavado frontal de la arcilla,¹² y en el otro se lava verticalmente, provocando la lixiviación del suelo. Por eso ambos autores coinciden en que los suelos Ferralíticos Rojos de Cuba poseen diferentes grados de lixiviación.

La arcilla dispersa puede tomar dos caminos, sino tres,¹³ ya que además debe considerarse que la arcilla que migra hacia la parte superior del horizonte B puede llenar los poros de los agregados de bloques subangulares en este horizonte, y llega a formar bloques muy densos de mayor tamaño, hasta conformar pisos de arado. En suelos degradados pueden aparecer agregados de bloques grandes, muchas veces prismáticos, en superficie, en vez de una estructura granular-nuciforme, típico de suelos Ferralíticos conservados con un buen contenido en materia orgánica. Con el laboreo continuo, se pierde la estructura nuciforme granular típica en los suelos Ferralíticos vírgenes o conservados, y se presentan bloques en superficie que pueden ser subangulares, poliédricos y, en casos extremos, prismáticos con formación de piso de arado.

Al aumentar el factor de dispersión del suelo y cambiar la estructura original granular o granular-nuciforme en superficie a la de bloques, aumenta la densidad de volumen del suelo, disminuye la porosidad y se produce la compactación. Para el caso de suelos que desarrollan un piso de arado, la densidad de volumen entre 20-30 cm de profundidad puede alcanzar valores de la llamada «densidad crítica», la cual no permite un desarrollo radicular adecuado para las plantas¹⁴ y se restringe la profundidad efectiva del suelo.

¹¹ O.A. Agafonov, 1981. Propiedades físicas de los principales tipos de suelos de Cuba, en relación con su génesis [en ruso]. Tesis para alcanzar el grado científico de Candidato a Dr. en Ciencias Agrícolas. Instituto de Agrofísica de Leningrado, URSS. 285p.

¹² S.V. Zonn, 1968. Particularidades de la formación del suelo y principales tipos de suelos de Cuba [en ruso]. En: Génesis y geografía de suelos en países extranjeros por geógrafos soviéticos. Editorial Nauka, Moscú. pp. 53-153.

¹³ A. Hernández, J.I. Bojórquez, F. Morell, A. Cabrera, M.O. Ascanio, J.D. García, A. Madaueño y O. Nájera, 2010. Fundamentos de la estructura de suelos tropicales. Universidad Autónoma de Nayarit, México, e Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba. 80 p.

¹⁴ O.A. Agafonov, 1981. Ob. cit. en nota 11.

En el estudio realizado con las tres variantes de uso del suelo Ferralítico Rojo Lixiviado,¹⁵ se aprecia que el suelo muy cultivado ha cambiado su régimen hídrico de lavado a lavado temporal (tabla 4), con pérdidas en la capacidad de retener humedad entre 15-20% para suelos conservados y hasta 30-35% en suelos muy cultivados (agrogénicos) con relación al patrón.

Tabla 4. Humedad promedio durante tres años (2006-2008) en diferentes variantes de uso de suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de San José de las Lajas

Profundidad (cm)	Humedad en el suelo (%)		
	Ficus (patrón)	Mango (conservado)	Cultivo (agrogénico)
0-10	48,0	33,3	30,4
10-20	43,1	33,2	27,8
20-30	42,8	31,6	29,1
30-40	41,0	33,3	28,8
40-50	43,2	37,6	27,9
50-60	42,4	32,4	28,4

Aumento del pH en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados

En los últimos 20-30 años el pH de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados ha aumentado en lugar de disminuir (tabla 5), como es natural para este tipo de suelo, que está bajo un régimen hídrico de lavado con precipitaciones anuales entre 1 300-1 500 mm.

Los datos expuestos en la tabla anterior fueron corroborados por Hernández (2010) con los valores de pH encontrados en las tres variantes de suelos (patrones, conservados y cultivados) (tabla 6). En el suelo patrón el valor de pH en superficie es más alto que en el conservado, debido posiblemente a los aportes en calcio y magnesio de la vegetación de árboles latifolios en esos perfiles.

No obstante, en profundidad, el pH es más bajo que en las otras variantes, pues en estos suelos ocurre un lavado permanente y la evapotranspiración es menor. Esta condición del régimen hídrico, junto a la aplicación de riego y los efectos del cambio climático, provocan el aumento del pH y la recalcificación de los horizontes superiores.¹⁶

¹⁵ A. Hernández, 2010. Ob. cit. en nota 10.

¹⁶ A. Hernández, F. Morell, M. Morales, Y. Borges y O. Ascanio, 2006: Consideraciones sobre impactos de los cambios globales en los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (Nitisoles ródicos éutricos) de Cuba. Cultivos Tropicales 27(2): 41-50.

Tabla 5. Incrementos del pH en suelo de la antigua provincia de La Habana

Empresas de cultivos varios	% de las áreas según valores de pH (KCl)					
	1980		1994		2004	
	< 6,0	>7,0	< 6,0	>7,0	< 6,0	>7,0
M. Soneria	19,9	0	3,8	45,6	0	87,0
Artemisa	16,3	0	0	84,0	-	-
Alquízar	28,0	0	16,1	46,6	-	-
19 de Abril	67,0	0	10,5	35,0	0	44,0
Güira	25,0	1,0	24,0	14,0	0	42,0
Batabanó	67,0	0	11,6	0	0	96,0

FUENTE: Instituto de Suelos (2006), citado por J.M. Febles, 2008. Teoría y práctica del manejo agroecológico del suelo. Memorias I Seminario Nacional de Manejo Ecológico del Suelo. Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo, La Habana, Cuba.

Tabla 6. Valores de pH en diferentes variantes de uso de suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados en La Habana (2006-2009)

Capas del suelo (cm)	Patrón (6 perfiles)	Conservado (14 perfiles)	Agrogénico (18 perfiles)
0-20	6,16	6,65	7,30
40-60	6,01	6,47	7,03
80-100	5,97	6,14	6,90

En los últimos 50-60 años la temperatura media anual en Cuba ha aumentado entre 0,6-0,7 °C, con tendencia a alcanzar 1 °C.¹⁷ En las áreas bajo cultivo donde hay mayor evapotranspiración y aportes de agua de riego cargadas en calcio y magnesio, es mayor el flujo ascendente de la solución del suelo en época de sequía. Este flujo posee más bases y bicarbonatos, los que elevan el pH del suelo. Se trata de un proceso provocado por la sinergia de la formación agrogénica del suelo y el cambio climático.

Carbono orgánico en suelos Ferralíticos Rojos de Mayabeque

Como parte del proyecto «Efecto de la innovación agrícola local en la emisión de gases de efecto invernadero y el balance energético de los sistemas productivos en Cuba», del PNCT 013 «Cambios Globales y Ambiente Cubano», se

¹⁷ A. Centelles, J. Llanes y L. Paz, 2001. Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. INSMET, La Habana. 169 p.

realizó un estudio sobre las reservas de carbono orgánico en 93 fincas. La tabla 7 presenta los datos de tres fincas con suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la provincia Mayabeque, dos en Batabanó y una en San José de las Lajas.

Tabla 7. Cantidad de carbono orgánico en fincas con suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados y su relación con el C orgánico en suelos patrones

	Profundidad (cm)	Olney García (6,8 ha)	Jorge Bárcenas (51,7 ha)	Joel Pérez (4,0 ha)
Reservas C orgánico (fincas), t/ha	0-20	43	32	43
	0-50	80	64	60
	0-100	126	85	119
Reservas C orgánico (pa- trones), t/ha	0-20	67	-	-
	0-50	97	-	-
	0-100	133	-	-
Pérdida en relación con patrones, %	0-20	36	52	36
	0-50	18	34	38
	0-100	5	36	11

Estos resultados están comprendidos dentro de los límites de pérdidas de carbono en ecosistemas naturales planteados por varios autores,¹⁸ quienes aseguran que los suelos agrícolas han perdido entre 30 y 75% de las reservas de carbono orgánico o 30-40 t C/ha.

A pesar de las pérdidas de materia orgánica y carbono de los suelos, estos productores obtienen buenos resultados con prácticas de manejo agroecológico que han sido diseminadas mediante los talleres del Programa de Innovación Agropecuaria Local (PIAL). Por ejemplo, en la finca de Jorge Bárcenas se utilizan policultivos con abono verde (canavalia) en las siembras de maíz, y se ha establecido un sistema de producción de compost que garantiza parte de la fertilización de los suelos.

Medidas para elevar el contenido de carbono orgánico

Por lo general, cuando el suelo pierde su productividad por el laboreo continuado, se aplican medidas de mejoramiento. Una de ellas es el empleo de fertilizantes, con dosis cada vez más elevadas que continúan degradando los

¹⁸ R. Lal, R. Follet, B.A. Stewart y J.M. Kimble, 2007. Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. *Soil Science* 172 (12): 943-956.

suelos por su efecto químico sobre la microflora. Otra medida es el riego, ya que un problema grave de este proceso agrogénico que degrada el suelo es el cambio del régimen hídrico. Ambas medidas encarecen la inversión y obligan a obtener cosechas con altos rendimientos.

Entre 1975 y 1990 se aplicaron en Cuba fertilizantes de forma desmesurada y se lograron altos rendimientos, pero una de las principales consecuencias fue la degradación de los suelos. Con la desintegración del campo socialista y la dificultad para adquirir grandes cantidades de fertilizantes, el país recurrió a métodos agroecológicos de producción agropecuaria (aplicación de abonos orgánicos, abonos verdes y biofertilizantes) que han tenido resultados positivos, ya que resultan mucho más baratos y beneficiosos para los suelos. Se inició un programa acelerado de producción de materia orgánica que en el año 2007 reportó una producción récord de materia orgánica: 6 millones de toneladas de humus de lombriz, 12 millones de toneladas de compost y 48 millones de toneladas de biofertilizantes.

Como resultado de investigaciones realizadas por diversas instituciones, el Ministerio de la Agricultura ha hecho recomendaciones muy generales sobre la aplicación de estos materiales orgánicos, en dosis de 3,7-4,5 t/ha en el surco para todos los cultivos, independientemente del tipo de suelo; 2,68 t/ha en el caso del plátano y 6 t/ha de humus de lombriz.

Es necesario realizar nuevos estudios para conocer el efecto de las enmiendas orgánicas, su mineralización y cómo mejoran las características de los suelos en el tiempo. Una investigación documentada por Marentes (2010), con sorgo como cultivo indicador, analiza el comportamiento del humus de lombriz y del estiércol vacuno en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados típicos y Ferralíticos Rojos Hidratados. Mediante técnicas con carbono-13, observó que la velocidad de mineralización del carbono orgánico en estos suelos se redujo al incorporar los mejoradores del suelo. Los bajos niveles de mineralización de las enmiendas indican que su carbono orgánico es principalmente estable y, por tanto, influyen poco en las emisiones de CO₂ del suelo. El humus de lombriz y el estiércol estimulan el crecimiento del sorgo; sin embargo, la respuesta es mayor en el suelo Ferralítico Rojo Lixiviado típico. Se demuestra que la incorporación de fertilizantes orgánicos incrementa el carbono potencialmente mineralizable y el crecimiento del sorgo en estos subtipos de suelo.

La aplicación de dosis de materia orgánica entre 6 y 8 t/ha en suelos Ferralíticos, junto a biofertilizantes, fertilizantes, abonos orgánicos y abonos verdes, debe ser monitoreada en un plazo de 4-6 años, según los indicadores propuestos por Hernández.¹⁹

¹⁹ A. Hernández, 2010. Ob. cit. en nota 10.

DESCONTAMINACIÓN DE RESIDUALES, PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y ENERGÍA, Y RECICLAJE DE NUTRIENTES

Aurelio Álvarez, Yamilet Molinet

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE PASTOS Y FORRAJES, LA HABANA

Pedro J. González

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, MAYABEQUE

Raúl Damas

DIRECCIÓN DE ENERGÍA INTEGRAL, MINISTERIO DE LA AGRICULTURA, LA HABANA

Raúl Ruiz

CENTRO DE INVESTIGACIONES PARA EL MEJORAMIENTO ANIMAL, LA HABANA

La contaminación es la alteración desfavorable del medioambiente que nos rodea, que ocasiona cambios físicos, químicos y biológicos de las características del aire, el agua y el suelo, lo cual provoca problemas que tienden a gobernar la dinámica de la salud, la economía y los caracteres sociales del ser humano.¹ La contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por las fuentes que genera la agricultura es un serio problema a escala global.

Los sistemas agrícolas intensivos en grandes áreas de monocultivo con riego, en las que se emplea una amplia variedad de agroquímicos (fertilizantes, plaguicidas y herbicidas), es fuente difusa de contaminación inorgánica y provoca la polución de las aguas con nitrato, nitrito y fosfatos, el aire con dióxido de carbono, metano, amonio y óxido nitroso; así como otros compuestos y sustancias que pueden resultar tóxicas al hombre y los animales.

La producción pecuaria especializada, que se caracteriza por concentrar gran número de animales e insumos en pequeñas áreas (unidades porcinas, avícolas y vacunas en estabulación), representa una fuente de contaminación puntual. La acumulación de grandes cantidades de residuales orgánicos líquidos y sólidos (excretas, orinas, camas, forrajes de rechazo, efluentes de ensilajes, subproductos utilizados en la alimentación animal y cadáveres) que pueden constituirse en contaminantes orgánicos de las aguas superficiales,

¹ M. Radoux, 1992. *Qualité et traitement des eaux*. Faculté des Sciences. Université C.A.D. de Dakar. Senegal. Fondation Universitaire Luxembourgeoise. Station expérimentale Viville. Arlon, Bélgica.

producto de una mala manipulación y almacenamiento, arrastre por las lluvias o vertimiento irresponsable en las fuentes acuáticas.

En los sistemas ganaderos estabulados o semiestabulados, los residuales orgánicos que se acumulan en las instalaciones son retornados en forma líquida o sólida a las áreas de pastizales o forrajes. De igual modo, las excretas y orina que depositan los animales durante el pastoreo, en dependencia de las condiciones climáticas, edáficas, topográficas e hidrológicas, pueden constituirse en fuentes difusas de contaminación por lixiviación y escurrimiento hacia el agua superficial o subterránea de los compuestos inorgánicos (nitrato y fosfatos). Ambas fuentes puntuales y difusas de contaminación con residuales orgánicos de la producción animal, constituyen fuentes de emisión de contaminantes del aire (metano, amoniaco y óxido nitroso) por volatilización de los compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en los residuales.

Contaminantes de las aguas

Físicos

Temperatura: Las aguas de uso corriente tienen una temperatura que varía entre 10 °C y 25 °C. Este rango es favorable para el desarrollo de la microflora y la microfauna depuradoras. La multiplicación y la actividad de estos organismos dependen de la temperatura y las épocas del año. Los procesos biológicos de depuración natural del agua que se realizan en condiciones anaerobias son más influenciados por la temperatura, que los que se producen en condiciones aerobias.

Conductividad: Es un método simple para determinar la cantidad total de sales disueltas, en función de la conductividad eléctrica, la cual se define como la facilidad del agua de conducir una corriente eléctrica. La conductividad del agua aumenta con la cantidad de sales disueltas (cationes y aniones disociados) y está afectada por la temperatura. Se expresa en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y debe estar referida a una temperatura de 20 °C a 25 °C. Las aguas destiladas no contienen sales disueltas, por lo que la conductividad disminuye ($<3 \mu\text{S}/\text{cm}$) y la de mar tiene una conductividad superior a 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Las restantes tienen conductividades que oscilan entre ambos valores.

Grado de acidez (pH): Generalmente las aguas de uso doméstico tienen un rango de acidez ($6,5 < \text{pH} < 8,0$) que es favorable para el desarrollo de los microorganismos depuradores, tanto en condiciones aerobias como anaerobias.

Materias en suspensión: La cantidad de materias en suspensión son expresadas por lo general en miligramos de materia seca insoluble por litro de agua (mg/l). El método de determinación resulta esencial para evaluar la divi-

Amoniaco: En su forma ionizada, (NH_4^+), no es grandemente tóxico para la fauna acuática, mientras que el amoniaco (NH_3) lo es en pequeñas dosis. Generalmente se determina la relación amonio-amoniaco ($\text{NH}_4^+-\text{NH}_3$).

Fósforo: El fósforo presente en las aguas naturales y en los residuales líquidos industriales y domésticos, está fundamentalmente en forma de fosfatos orgánicos (azúcares fosforiladas, fósfolípidos, fosfoproteínas, ATP, AMP, ADN, ARN, etc.) e inorgánicos (sales del ácido ortofosfórico, pirofosfatos, polifosfatos, metafosfatos y apatitas).

Orgánicos: Las aguas residuales tienen una gran diversidad de compuestos orgánicos. El análisis de cada una de estas sustancias resulta tremendamente laborioso e inútil. Teóricamente, cualquier compuesto orgánico puede ser oxidado hasta la obtención final de productos estables (H_2O , CO_2 , SO_2 , N_2O , etc.). Para evaluar la contaminación orgánica, se emplean los indicadores que miden la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación de los compuestos orgánicos: Demanda Total de Oxígeno (DTO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

DTO: Es la cantidad total de oxígeno consumido para la oxidación completa de todos los compuestos disociados en el agua, en una combustión a temperatura de $900\text{ }^\circ\text{C}$ y en presencia de un catalizador. Esta puede ser determinada en pocos minutos, pero es necesario un equipamiento costoso.

DQO: Expresa la cantidad de oxígeno disuelto necesario para la oxidación por vía química, sin la intervención de los microorganismos, de todas las sustancias oxidables (sales minerales oxidables, compuestos orgánicos biodegradables o no). El mejor método para determinar la DQO es aquel en que los valores sean lo más similares a los obtenidos por la DTO. Uno de los más utilizados es el método estándar de dicromato ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ en 50% de H_2SO_4 , con Ag_2SO_4 como catalizador). La DQO es una medida de la contaminación del agua con sustancias orgánicas e inorgánicas, que se realiza de forma rápida, con suficiente precisión (5%) y se logra la oxidación de más del 90% de los compuestos orgánicos presentes en la muestra. Se expresa en mg/l de O_2 .

DBO: Expresa la cantidad de oxígeno disuelto requerido para la oxidación por vía biológica, mediante los procesos catabólicos de los microorganismos depuradores, de los compuestos orgánicos presentes en el agua. El método determina el oxígeno disuelto consumido por

las bacterias aerobias, de una muestra mantenida en un tubo de fermentación, en la oscuridad y a unos 20 °C de temperatura, por 5 días (DBO₅). El resultado brinda una medida de la contaminación por materias orgánicas biodegradables en el agua, con una precisión aceptable (10-15%). Para una completa oxidación biológica de la muestra es necesario un período de incubación entre 21 a 28 días (DBO₂₁ y DBO₂₈). Se expresa en mg/l de O₂.

Biológicos

Patógenos: La investigación y la identificación sistemática de todos los agentes patógenos presentes en las fuentes acuáticas naturales y en las aguas residuales, poseen serias dificultades debido a los volúmenes de agua, los métodos de análisis y su costo. Por tanto, en análisis de rutina se trata de definir las circunstancias, donde sea posible la presencia efectiva de organismos patógenos, a través de microorganismos indicadores de la contaminación fecal o parásitos del intestino. Estos análisis normalmente contemplan a las bacterias: coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF), estreptococos fecales (SF) y Clostridium. Se expresan en CT, CF, SF en 100 ml de agua o unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml).

También en algunas ocasiones se estudian los virus en relación con las bacterias que fagocitan, y además se investigan por los virus de origen fecal, que afectan al hombre (enterovirus, rotavirus y adenovirus) por cultivo sobre los sistemas celulares usuales y por técnicas inmunológicas.

Inventarios de flora y fauna: Los inventarios de la composición de especies vegetales y animales, así como los cambios en sus poblaciones en el tiempo, resultan uno de los mejores indicadores para la caracterización de un medio acuático. Estos estudios deben considerar los géneros y especies presentes, las fluctuaciones estacionales, las cargas contaminantes que recibe y las contaminaciones anteriores. Los análisis biológicos deben abarcar toda la biomasa en su conjunto (vegetales, vertebrados e invertebrados), para poder determinar así los efectos de la contaminación en las cadenas tróficas.

Este método es útil, aunque lento y laborioso. Su principal desventaja es que requiere más tiempo para su interpretación y evaluación. Otra dificultad es que los inventarios de flora y fauna que se realicen necesitan ser comparados con un ecosistema de referencia que permanezca libre de contaminación.

Gases de efecto invernadero

Los principales gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por la actividad agrícola son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso

(N₂O). Entre el 21-25% de las emisiones globales de CO₂, el 55-60% de las de CH₄ y el 65-80% de las de N₂O provienen de la agricultura. En los próximos veinte o cien años el calentamiento potencial por efecto de invernadero provocado por estos dos últimos gases será de 23 a 62 veces para el CH₄ y de 275 a 296 veces para el N₂O, en base a la masa equivalente de CO₂.²

Metano

La ganadería contribuye a la emisión y acumulación de CH₄ en forma directa a través de la digestión microbiana anaerobia de los alimentos en el tracto digestivo (fermentación entérica) de los animales. Entre los animales domésticos, los rumiantes contribuyen con aproximadamente del 18% al 20% del CH₄ producido anualmente a nivel mundial.³

La emisión de metano no solo constituye un problema ambiental, sino una pérdida de la energía del alimento y disminuye la productividad de los animales. Se estima que más del 10% de la energía bruta que contienen los alimentos se pierde en forma de CH₄ durante la digestión microbiana en el rumen.⁴

La cantidad de CH₄ producido por fermentación entérica en los rumiantes varía en dependencia de factores relacionados con la dieta de los animales, como calidad nutritiva y digestibilidad de los alimentos componentes de la dieta y sus interacciones en el rumen,⁵ consumo de materia seca y concentración energética y proteica de la ración,⁶ velocidad de digestión y tiempo de permanencia de los alimentos en el rumen, forma física del alimento y frecuencia con que los animales consumen los alimentos.

² IPCC, 2001. *Climate Change 2001. The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

³ K.A. Beauchemin y S.M. McGinn, 2006. Methane emission from beef cattle: effects of fumaric acid, essential oil and canola oil. *Journal of Animal Science*. 84: 1489-1496; y A.R. Moss, J.P. Jouany y J. Newbold, 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annals of Zootechnies* 49: 231-242.

⁴ D.E. Johnson, K.A. Johnson, G.M. Ward y M.E. Branine, 2000. Ruminants and other animals. En: Khalil, M.A.K. (ed.) *Atmospheric Methane: Its Role in the Global Environment*. Springer-Verlag, Berlín, Alemania.

⁵ R. Ruiz y A. Álvarez, 2007. Análisis nutricional de sistemas sostenibles para bovinos en el trópico. En: *III Simposio Internacional sobre Ganadería Agroecológica. Memorias*. Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes, La Habana. pp. 33-40.

⁶ T.R. Preston y R.A. Leng, 1987. *Matching ruminant production systems with available resources in the tropics and sub-tropics*. Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation, ACP-EEC. Wageningen, Países Bajos.

Los rumiantes que consumen pastos de buena calidad y reciben suplementos altos en carbohidratos solubles, producen menos CH₄.⁷ Asimismo disminuye la producción ruminal de CH₄ en animales alimentados con forrajes de baja calidad, si la ración total está formulada con un balance energético, proteico y mineral que favorece la actividad celulolítica de los microorganismos del rumen de bovinos y búfalos.⁸ Como otras alternativas para disminuir la metanogénesis ruminal de animales alimentados con forrajes de baja calidad, se han utilizado los preparados microbianos con levaduras viables,⁹ los forrajes ricos en taninos y la adición de ácidos grasos de cadena media (C8-C16), abundantes en aceites de coco, colza y girasol.¹⁰

De forma indirecta, la ganadería contribuye a las emisiones de CH₄ a partir de la descomposición microbiana anaerobia de las materias fecales (sólidas y líquidas) que excretan los animales domésticos al ambiente, principalmente en lugares con acumulación inadecuada de residuales orgánicos líquidos, sin un apropiado proceso de manejo y tratamiento, como fosas y lagunas de acumulación, y canales de desagüe de las unidades de producción pecuaria.

La emisión de CH₄ proveniente de los residuales orgánicos de los animales está determinada por la especie animal que la excreta (cerdos, bovinos, búfalos), las condiciones de almacenamiento y manipulación, y las temperaturas ambientales.¹¹ De igual modo, a medida que aumenta el contenido energético de la dieta consumida y la digestibilidad total de la ración, mayor será la posibilidad de emisión de CH₄.

⁷ J. Dearriba, 1988. Fisiología y bioquímica de la digestión en el rumiante. Editorial Oriente, Santiago de Cuba.

⁸ P. Suharyono, W. Yeni y M. Winugroho, 2010. Effects of multi-nutrient feed supplement in beef cattle on methane production, manure quality and rice yield. En: *Improving Livestock Production Using Indigenous Resources and Conserving the Environment*. IAEA-TECDOC-1640. Animal Production and Health Section. International Atomic Energy Agency, Vienna International Centre. Austria. pp. 71-86.

⁹ J. Galindo, Y. Marrero, N. González, A. Sosa, A.L. Miranda, A.I. Aldana, O. Moreira, R. Bocourt, D. Delgado, V. Torres, L. Sarduy y A. Noda, 2010. Efecto de preparados con levaduras *Saccharomyces cerevisiae* y LEVICA-25 viables en los metanógenos y metanogénesis ruminal in vitro. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 44, (3): 273-279.

¹⁰ P. Kongmun, M. Wanapat, P. Pakdee, C. Navanukraw y Z. Yu., 2011. Manipulation of rumen fermentation and ecology of swamp buffalo by coconut oil and garlic powder supplementation. *Livestock Science* 135: 84-92.

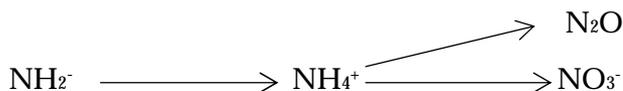
¹¹ E. Pattey, M.K. Trzcinski y R.L. Desjardins, 2005. Quantifying the reduction of greenhouse gas emissions as a result of composting dairy and beef cattle manure. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 72: 173.

Varios autores señalan la posibilidad de reducir la contribución de la ganadería al calentamiento global si se disminuyen las emisiones directas de CH_4 a partir de una manipulación de la fermentación del rumen, sobre todo en dietas de alimentos fibrosos y de poca calidad y las emisiones indirectas de CH_4 y N_2O con mejoras en las prácticas de almacenamiento y manipulación de los residuales líquidos y sólidos.¹²

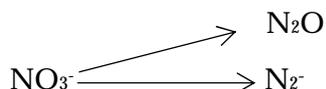
Óxido nitroso

La producción de óxido nitroso forma parte del ciclo del nitrógeno en el ambiente. Las actividades agropecuarias son las principales fuentes de emisión de N_2O hacia la atmósfera, y los residuales orgánicos (excretas y orina) generados en la producción ganadera, devienen responsables de aproximadamente el 18% de las emisiones totales de N_2O a nivel global.¹³ En la atmósfera, este gas, además de contribuir notablemente al calentamiento global, tiene efecto sobre la capa de ozono. En la ganadería, los procesos de oxidación de las formas de nitrógeno orgánico (nitrificación y desnitrificación) de los residuales de origen animal por los microorganismos del ambiente (suelo, aire y agua), son la principal fuente de emisión del N_2O .

Oxidación microbiana del nitrógeno orgánico



Desnitrificación del nitrato



Otras fuentes de volatilización de N_2O son la deposición de excretas y orina en los pastizales por animales en pastoreo y la quema de áreas de pastos y forrajes cultivados, sabanas con pastizales naturales y áreas de plantas arbustivas espinosas y maniguales, con una alta acumulación de biomasa seca. Varias investigaciones señalan la posibilidad de reducir la contribución de la ganadería al calentamiento global al disminuir las emisiones directas de CH_4 . Para ello sería necesario manipular la fermentación microbiana en el rumen,

¹² J-J. Su, B-J. Liu y Y-C. Chang, 2003. Emission of greenhouse gas from livestock waste and wastewater treatment in Taiwan. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 95: 253.

¹³ E. Pattey et al. Ob. cit. en n. 11.

sobre todo en dietas de alimentos fibrosos y de poca calidad, así como las emisiones indirectas de CH₄ y N₂O con mejores prácticas de almacenamiento y manipulación de los residuales líquidos y sólidos.¹⁴

Manejo de residuales vacunos en Cuba

El programa de desarrollo ganadero cubano desde fines de los años sesenta contempló la construcción de alrededor de 6 000 unidades pecuarias de distintos tipos (vaquerías, centros de cría y cebaderos). En su mayoría, estas instalaciones fueron erigidas teniendo en cuenta las condiciones higiénicas y sanitarias para los animales y el personal, de acuerdo con las regulaciones veterinarias sobre salud animal, producción, conservación de alimentos, manejo del rebaño y tratamiento de residuales.

En esta etapa, el estiércol y otros residuales sólidos como restos de forrajes y cama de los terneros generados dentro de las instalaciones se recogían de forma mecanizada. Estos eran acumulados en estercoleros abiertos para ser esparcidos con regularidad, principalmente en las áreas de producción forrajera. Por otra parte, los residuales líquidos, con altas cargas orgánicas (excretas, orina, células animales, residuos de medicamentos), eran drenados y acumulados en fosas sépticas, de donde periódicamente se recogían y asperjaban de forma mecanizada sobre pastizales y campos de forrajes. En otros casos, estos residuales se conducían a lagunas de oxidación u otros sistemas de tratamiento de residuales, desde donde pasaban, sin un completo tratamiento, al suelo o alguna fuente acuática superficial (arroyos, ríos, lagunas).

A finales de los ochenta, debido a las limitaciones materiales que provocaron los cambios económicos, políticos y sociales acontecidos en el mundo, las posibilidades de Cuba para importar combustibles, piezas de repuesto, equipos y maquinaria se redujeron sensiblemente. Esta situación ocasionó ajustes en las tecnologías existentes, principalmente en las unidades de producción ganadera intensiva y especializada, por lo que fue necesario sustituir la mecanización por la fuerza de tiro animal y el trabajo manual.

Hoy día la mayoría de las unidades pecuarias recogen y trasladan los residuales sólidos de forma manual, auxiliándose de palas, raspadores y carretas tiradas por bueyes. Si bien al emplear estos métodos se logra una adecuada recogida de los residuales y una buena limpieza de la instalación, no sucede lo mismo con el procesamiento e incorporación al ambiente de los residuales líquidos, que por lo general se drenan directamente alrededor de las instalaciones. Los residuales sólidos, acumulados durante largos períodos

¹⁴ M. Mitsumori y W. Sun, 2008. Control of rumen microbial fermentation for mitigating methane emissions from the rumen. *Asian-Australian J. of Animal Science* 21: 144-153.

sin ningún procesamiento o protección de los efectos climáticos, no siempre se esparcen de forma regular en áreas de potreros, forrajes y cultivos. Además, hay otros inconvenientes, como el mayor empleo de fuerza laboral y tiempo de trabajo, la falta de implementos adecuados y de tecnologías que resuelvan integralmente todo el proceso y permitan un buen aprovechamiento de los residuales orgánicos, sin riesgos higiénicos y ambientales. En general, las unidades ganaderas presentan los siguientes problemas en el tratamiento y uso de los residuales:

- No se emplea ningún método para el acumulación, conservación y tratamiento de los residuales sólidos y líquidos; estos quedan expuestos a la acción de los factores del clima (temperaturas y precipitaciones), con la consecuente pérdida de nutrientes y contaminación.
- Sin un adecuado tratamiento físico, químico y biológico, los residuales son vertidos directamente al suelo (pastos, forrajes y cultivos), lo que puede contaminar las fuentes de abasto de agua superficiales (escurrimiento) y subterráneas (infiltración), así como los alimentos animales (forrajes) y humanos (cultivos).
- No se aprovechan o se aprovechan muy poco las posibilidades que tienen los residuales (sólidos y líquidos) de la producción vacuna para reciclar nutrientes al suelo a través de los biofertilizantes y para producir energía renovable (biogás).
- El mantenimiento y la reparación de las instalaciones de descontaminación de residuales son inadecuados e insuficientes. En ocasiones no fueron diseñadas y construidas de acuerdo con los volúmenes reales de residuales, por lo que en muchos casos han excedido las posibilidades de los sistemas.
- En muchas de las unidades construidas durante los últimos veinte años no existe ningún sistema de tratamiento de residuales y estos se vierten directamente al ambiente.
- La recolección, procesamiento y utilización de los residuales sólidos en la actualidad es un proceso difícil y laborioso, por el volumen que hay que manipular, la fuerza de trabajo necesaria, los métodos empleados y la falta de equipos e implementos adecuados.
- No solo existe desconocimiento entre los productores (con calificación técnica o sin calificación) de los riesgos ambientales y sanitarios, sino también desinterés por aprovechar las posibilidades de reciclaje que tienen los residuales de la producción ganadera.

Experiencias en la producción ganadera

La descontaminación de residuales de origen vacuno es un proceso complejo desde el punto de vista tecnológico debido a sus grandes volúmenes y a su agresividad química y biológica. Los métodos tradicionales resultan costosos, pues requieren grandes y complejas instalaciones que deben ser acondicionadas y reparadas frecuentemente. Una producción ganadera sostenible debería orientarse hacia la implementación de un sistema de producción animal con un mínimo de entrada de energía no renovable (piensos, forrajes, fertilizantes, combustibles) al sistema y un mínimo de salida de contaminantes al ambiente. El sistema será óptimo si el balance entre los componentes de entrada y salida es igual o cercano a cero en la unidad de producción, incluyendo su medioambiente.

El procesamiento de los residuales de las unidades de producción ganadera tiene gran impacto medioambiental, por cuanto evita o atenúa la contaminación del suelo y las aguas superficiales y subterráneas con residuales orgánicos e inorgánicos. También permite el control de organismos patógenos que causan enfermedades al hombre y los animales. Con la descontaminación de los residuales sólidos y líquidos se pueden obtener diferentes productos de alto valor, con una eficiencia aceptable y a bajos costos. La figura 1 muestra un modelo integrado para el reciclaje de nutrientes y energía.

Producción de biogás

En Cuba existen notables experiencias con la producción de energía a partir del metano obtenido mediante un proceso de fermentación anaerobia de residuales orgánicos en un biodigestor o biorreactor. La mayoría de las plantas de biogás existentes en unidades de producción vacuna han sido diseñadas según los modelos de cúpula fija (tipo chino), cúpula móvil (tipo hindú) y canales de fermentación con cubierta de plástico. A modo de ejemplo, a continuación se describe un grupo de experiencias con un biodigestor tipo chino de 14 m³ y una producción potencial de 7 m³ gas/día, instalado en una vaquería de 100 vacas. El biodigestor fue construido con recursos locales, de forma sencilla y artesanal, sin grandes costos y con una rápida recuperación de la inversión.¹⁵

El proceso de producción de biogás se inicia con la recolección diaria del estiércol sólido del establo, a través del raspado y la acumulación de forma manual o utilizando fuerza animal de las excretas, para lo cual se tiene el

¹⁵ R. Damas, A. Mont'Ross, V. Bravo y R. Herrera, 1995. Plantas de biogás de pequeñas dimensiones para comunidades rurales. Informe Anual. Grupo de Biogás. Instituto de Investigaciones de Mecanización Agropecuaria. MINAG, La Habana.

cuidado de separar visualmente las heces muy mezcladas con restos de forrajes (normalmente hasta a 1 m de distancia del comedero) de las que no están mezcladas. Luego las excretas son trasladadas en carretilla o carreta de bueyes hasta el tanque de carga del biodigestor. En el tanque de carga se mezclan las excretas frescas con agua, en proporción 1:1, y posteriormente la mezcla se vierte en el biodigestor. Esta operación debe ser repetida diariamente.

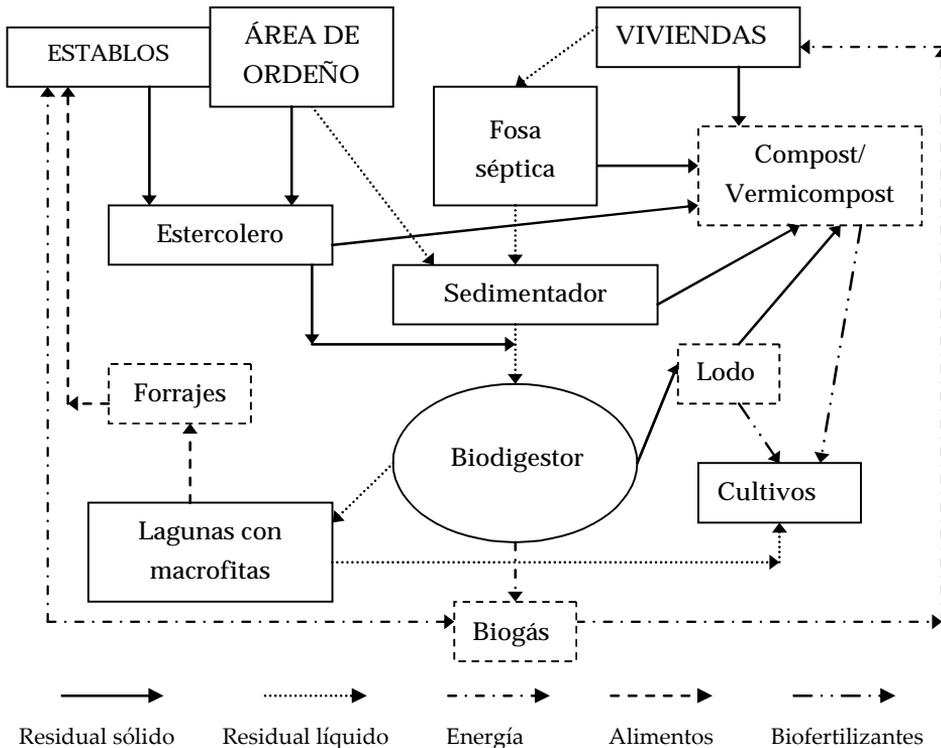


Figura 1. Diagrama de los flujos de materiales (residual líquido, sólido y biomasa) y energía en un sistema de integrado para descontaminar residuales

La cantidad total de estiércol fresco por día, que es depositado en los establos y áreas de acceso al ordeño de la vaquería por el grupo de ordeño (entre 55 a 60 vacas), varía entre 200 y 900 kg y tiene un valor promedio de 700 kg/día. La deposición diaria de estiércol por vaca es de 4 a 16 kg, según el tiempo que permanezcan los animales en el establo, lo que depende de la época del año.

Una vez estabilizada la fermentación en el biodigestor, la mezcla total de gases obtenidos diariamente varió entre 5,4 y 6,7 m³, en dependencia de la época del año y la dieta que consumen los animales. Se observó que aumen-

taba la cantidad total de gases y el porcentaje de metano (55-85%) en el período de lluvias, posiblemente por las mayores temperaturas, que facilitan la fermentación de los microorganismos, y por la mejor digestibilidad de los pastos y forrajes en esta época.

El gas producido se utilizó para sustituir fuentes de energía no renovables y costosas (kerosén, leña, carbón vegetal) en las actividades domésticas de las familias que viven en la vaquería. Además, pudiera ser empleado, si son instalados los equipos apropiados, para el alumbrado, la refrigeración de la leche, el calentamiento de agua para la limpieza y otras actividades que requieran consumo energético dentro de la unidad.¹⁶

Desde el punto de vista epizootico, el lodo residual del proceso de fermentación en el biodigestor resultó menos agresivo que las excretas, ya que los procesos de fermentación anaerobia que se producen, reducen los huevos de parásitos y bacterias (tabla 1), entre las cuales se encuentran muchos de los microorganismos patógenos que afectan a los animales y al hombre.¹⁷

Tabla 1. Análisis microbiológico de los residuales líquidos fluentes de un biodigestor de cúpula fija ubicado en una vaquería con 100 UGM. (Tiempo de retención de la carga en el biodigestor: 25 días)

Bacterias	Residual afluente	Residual fluente
Totales, UFC/ml	$5,7 \times 10^{11}$	$2,3 \times 10^{11}$
Fecales, UFC/ml	$1,7 \times 10^5$	$0,9 \times 10^5$
Sulfito reductoras, UFC/ml	$19,7 \times 10^5$	$6,6 \times 10^5$

Nota: UFC/ml - Unidades formadoras de colonias por mililitro de muestra.

Plantas acuáticas

Entre los principales problemas de la producción lechera en las regiones tropicales y subtropicales está el bajo contenido de proteína de los pastos y forrajes, básicos para los rumiantes en estas regiones.¹⁸ La suplementación

¹⁶ H. Mieth, 1996. Untersuchungen zur autarken Energieversorgung eines landwirtschaftlichen Betriebes in Kuba unter Nutzung and Standort vorhandener Ressourcen. Diplomarbeit. Fachbereich Maschinenbau und Schiffstechnik. Institut für Umwelttechnik. Universität Rostock, Alemania.

¹⁷ J.L. Mawdsley, R. Bardgett, R.J. Merry, B.F. Paain y M.K. Theodorou, 1995. Pathogens in livestock waste, their potential for movement through soil and environmental pollution. *Applied Soil Ecology* 2: 1.

¹⁸ T.R. Preston, 1995. *Tropical animal feeding. A manual for research workers.* Animal Production and Health Paper 126. p. 305. FAO, Roma, Italia.

con alimentos concentrados (soya, girasol y algodón) para lograr un comportamiento productivo satisfactorio, resulta muy costosa.

Una alternativa viable para resolver total o parcialmente la deficiencia proteica es reemplazar parcialmente los concentrados proteicos por el nitrógeno reciclado a partir de las excretas animales en la proteína componente de las plantas acuáticas cultivadas en estos residuales líquidos. Estas plantas producen una apreciable cantidad de proteínas de alto valor biológico y simultáneamente reducen la contaminación orgánica y mineral de las aguas residuales.

Los líquidos fluentes de la planta de biogás, las aguas sucias del ordeño y limpieza del piso y del arrastre de las lluvias, una vez separadas las partículas ajenas y groseras, son conducidos a un sistema de lagunas poco profundas, de 3 m de ancho y 15 m de largo, en las que se siembran las plantas acuáticas. El jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), la azolla (*Azolla microphylla*) y la lemna (*Spirodela polyrhiza*) son de rápido crecimiento en condiciones favorables. Mediante un sistema de cosechas continuas (entre 3 y 7 días), producen altos rendimientos de biomasa con un elevado contenido proteico, según el manejo, las condiciones ambientales y la concentración y disponibilidad de nutrientes en el medio (tabla 2). Estas especies pueden ser cosechadas con jamos o redes de huecos pequeños (menores de 10 mm).

Tabla 2. Rendimiento de plantas acuáticas cultivadas en diferentes medios

Especie	Tipo de fertilización	Rendimiento (t MS/ha*/año)	Referencias ¹⁹
Jacinto	Inorgánica	60-110	Reddy y Sutton, 1984
	Orgánica	108	Tchobanoglous, 1989
	Orgánica	131	Molinet y Domínguez, 1996
Azolla	Orgánica	39	Becerra, 1991
	Orgánica	32	Chará, 1994
	Orgánica	34	Molinet y Domínguez, 1996
Lemna	Orgánica	22	Hillman y Culley, 1978
	Orgánica	4	Blasubramaniam y Kasturi Bai, 1992
	Orgánica	18	Molinet y Domínguez, 1996
	Orgánica	23	Molinet et al., 2000

* hectárea de espejo de agua

¹⁹ Para las referencias bibliográficas completas, ver final de capítulo.

Gracias a su elevada tasa de crecimiento, las macrofitas son capaces de extraer 47-66% del nitrógeno total, 87-99% del nitrógeno amoniacal y 42-50% del fósforo, cuando se cultivan en aguas residuales porcinas y vacunas (tabla 3). Además disminuye apreciablemente la contaminación orgánica del agua, al reducirse la DBO y la DQO del agua residual en 41-67% y 30-87%, respectivamente. Las remociones de nitrógeno y fósforo resultan altas, a pesar de que ambos son abundantes en este tipo de residual, lo cual tiene una gran importancia para los suelos ganaderos, muchos de los cuales tienen déficit de estos elementos.²⁰ Su reciclaje se puede realizar por incorporación de la biomasa vegetal al suelo, de forma fresca o fermentada (mantillo) y a través de los animales que consumen las plantas como forrajes.

Las plantas, después de cosechadas, frescas o desecadas, se utilizan como complemento en la dieta básica (pastos y forraje de caña) de los animales de mayores requerimientos. Además de tener un alto contenido proteico (30-35% de proteína en base a la materia seca), son ricas en proteínas de alto valor biológico y tienen un contenido de aminoácidos esenciales, comparables a la composición de aminoácidos de la harina de soya (tabla 4).

Tabla 3. Indicadores de la contaminación y remoción de nutrientes a partir del cultivo de macrofitas en dos tipos de residual líquido de origen animal

Medidas de la contaminación	Residual líquido porcino			Residual líquido vacuno		
	Afluyente (mg/l)	% de remoción en el efluente			Afluyente (mg/l)	% de remoción en el efluente
		Jacinto	Azolla	Lemna		
DQO	461	39	30	44	694	87
DBO	51	63	41	67	-	-
Nitrógeno	42	66	50	47	29	53
NH ₄ ⁺ -NH ₃	17	94	87	99	6	90
Fósforo total	64	42	48	50	-	-

Con la utilización de las plantas acuáticas en la alimentación de los animales, es de esperarse que mejore el balance entre proteína y carbohidratos en la ración básica y aumente la digestibilidad y el consumo de los alimentos fibrosos, así como se incremente la cantidad de la proteína de sobrepaso.

²⁰ J.J. PARETAS, 1990. Ecosistemas y regionalización de pastos. Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes. Ministerio de la Agricultura. La Habana.

Tabla 4. Contenido de aminoácidos esenciales en la soya (g/100 g de proteína), distintas plantas acuáticas y la lombriz de tierra (*E. foetida*)

Aminoácidos	Soya	Jacinto de agua	Azolla	Lemna	Lombriz de tierra
Lisina	6,5	1,8	6,4	4,9	7,3
Histidina	2,6	0,7	2,3	2,8	3,8
Arginina	7,3	1,6	6,6	5,7	7,3
Treonina	3,9	1,4	4,7	4,1	6,0
Valina	4,9	1,7	6,7	5,7	4,4
Metionina	1,3	0,4	1,9	1,2	2,0
Isoleucina	4,6	1,5	5,4	6,0	5,3
Leucina	7,9	2,6	9,0	9,0	6,2
Fenilalanina	5,0	1,7	5,6	4,9	5,1

Producción de biofertilizantes

En los últimos años ha crecido el interés de los agricultores en fomentar la fertilización orgánica por sus notables beneficios, desde el punto de vista agrícola y económico, para la salud humana y animal, y para la protección del ambiente. Los excedentes de estiércol fresco que no son utilizados en el biodigestor, el propio efluente del biodigestor (fase que sedimenta), así como otras materias groseras que se generan en las unidades ganaderas (residuos de forrajes, camas de los terneros, residuos de cosecha, etc.), se emplean en la fabricación de fertilizantes orgánicos. Los principales biofertilizantes que pueden ser producidos en las unidades son:

- **Humus de lombriz:** Las lombrices transforman los residuos orgánicos biodegradables que contaminan el ambiente en humus de lombriz o vermicompost. Este producto es muy apreciado para la horticultura y la jardinería, puesto que mejora las características físicas, químicas y biológicas de los suelos. Además, se producen las lombrices, que tienen buena demanda en el mercado como pie de cría, para la industria farmacéutica y biotecnología, así como alimento de alto valor biológico y dietético (frescas o deshidratadas) en la alimentación animal y humana.

La eficiencia de las lombrices para transformar, en breve tiempo, grandes volúmenes de residuos orgánicos en humus de lom-

briz, está relacionada con su capacidad de consumir una cantidad de residuos biodegradables superior a su peso vivo y excretar en forma digerida (vermicompost o humus de lombriz) el 60% de las sustancias ingeridas, gracias a la acción de los microorganismos presentes en su tracto digestivo, cuya actividad es de 10 a 20 veces mayor que la actividad de los microorganismos presentes en la materia orgánica que la lombriz digiere.²¹ El resultado final de este proceso es un compuesto inodoro, de estructura grumosa y pH neutro, rico en sustancias húmicas, en enzimas y en microorganismos (2 000 millones por gramo de humus), en el que la mayor parte de los nutrientes se encuentran en formas asimilables para las plantas.

- **Compost:** Al igual que en el caso del vermicompost, el objetivo de este proceso es favorecer la descomposición de los residuos orgánicos biodegradables, pero a través de la acción de microorganismos aeróbicos y anaeróbicos. El compost es un material biológicamente activo, resultante de la descomposición de la materia orgánica bajo condiciones controladas. Algunos consideran que es un proceso y no un resultado final, debido a que al aplicarlo al suelo continúa la degradación de la materia orgánica, efecto que se logra por la acción de los microorganismos encargados de esta función.

Este producto promueve el reciclaje de nutrientes, mejora las cualidades físicas, químicas y biológicas del suelo, y favorece el crecimiento de los cultivos. Además, reduce el material orgánico en aproximadamente el 50% del material inicial, lo que facilita su manejo y permite obtener un producto más balanceado que se utiliza como enmienda al suelo. Los residuos se mezclan con altos contenidos de carbono (pajas y otros residuos fibrosos) y materiales de alto contenido de nitrógeno (estiércol fresco, purín, gallinaza, leguminosas).

- **Lodo de biodigestor:** El proceso de retención de la materia orgánica en el biodigestor varía en dependencia del modelo y diseño empleados (25-45 días en los diseños más comunes), aunque el proceso de fermentación anaerobia de la materia orgánica puede resultar de mayor duración (25-60 días) según las características físicas y químicas del residual y la temperatura dentro del reactor. Una vez transcurrido el período de fermentación, se obtiene un residual

²¹ G. Longson, 1994. World wide progress in vermicomposting. *Biocycle* 39 (10): 63.

líquido con sólidos orgánicos en suspensión, el cual puede ser utilizado directamente (separando sus fases o no) como fertilizante orgánico o puesto a fermentar en condiciones aeróbicas, para lograr su total descomposición.

Los fertilizantes orgánicos tienen un gran impacto en la mejora de las características químicas y físicas de los suelos. En la tabla 5 aparece una comparación entre el contenido de materia orgánica, el pH y la composición mineral de la excreta vacuna fresca y la transformada en humus de lombriz y compost.

Tabla 5. Contenido de materia orgánica, composición mineral y pH de la excreta vacuna, el humus de lombriz y el compost

Componentes (% de la MS)	Excreta vacuna	Humus de lombriz	Compost	Lodo de biodiges- tor (sedimento)
MO	41,0	54,0	49,2	45,5
N	1,9	2,0	1,6	1,2
P	0,6	2,7	0,6	0,7
K	1,1	1,1	1,3	1,7
Ca	2,7	5,0	3,2	2,8
Mg	0,6	0,8	0,2	0,5
pH	7,8	7,5	7,6	7,2

Al aplicar biofertilizantes en áreas de cultivo, se aprecia un incremento significativo ($p < 0,05$) de las condiciones de fertilidad en comparación con áreas donde no se aplicó ningún tipo de fertilización (tabla 6).

Tabla 6. Efecto de la aplicación de humus de lombriz en la fertilidad del suelo

Tratamiento	pH	MO (%)	N (%)	P asim. (mg/kg)	Cationes intercambiables (cmol/kg)			
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Sin fertiliza- ción	6,5	3,2	0,2	25	11,8	3,6	0,1	0,4
Humus (6 t/ha)	6,6	4,1	0,3	50	12,9	4,0	0,1	0,6
Desv. est. (P<0,05)	0,04 NS	0,11 *	0,01 *	4 *	0,25 *	0,12 *	0,01 NS	0,05 *

El incremento de la fertilidad del suelo está relacionado con el aumento de la materia orgánica y los nutrientes en las áreas donde se aplicó el humus de lombriz, lo que mejora también las propiedades físicas del suelo (tabla 7)²². Funes-Monzote y Hernández refieren que aplicaciones de 3 t/ha a 6 t/ha de compost estimulan la diversidad y la actividad microbiana en el suelo, mejoran la estructura, porosidad y estabilidad de los agregados del suelo y favorecen la formación del complejo húmico.²³

Al estudiar los grupos funcionales de las sustancias húmicas del vermicompost, se encontró un predominio de los grupos hidroxifenólicos sobre los grupos carboxílicos,²⁴ lo cual favorece su interacción con las arcillas y permite la formación de una adecuada estructura del suelo.

En general, al emplear biofertilizantes en la producción de tubérculos, hortalizas, granos y forrajes se han obtenido incrementos en los rendimientos 12-64% y 17-45% para humus de lombriz y compost, respectivamente.²⁵

Tabla 7. Efecto de las aplicaciones de humus de lombriz en las propiedades físicas del suelo ($P < 0,05$)

Tratamiento	Humedad natural (%)	Densidad aparente (mg/m ³)	Porosidad (%)	
			Total	Aireación
Sin fertilización	31,0	1,2	51,2	20,6
Humus 6 t/ha	36,7	1,0	61,0	24,2
Desviación est.	0,20	0,03	0,36	0,17

Conclusiones

En Cuba, la integración de sistemas de descontaminación no tradicional en las vaquerías resulta una opción atractiva y necesaria debido a los beneficios socioeconómicos y ambientales que reportan:

- Mejoran la calidad higiénica en el medio rural, pues se dispone de grandes volúmenes de residuales orgánicos que contaminan el medio

²² P.J. González, E. Vieito, J. Ramírez y F. Camina, 1997. Efectos de la aplicación sucesivas de humus de lombriz en la fertilidad del suelo y los rendimientos del girasol y el frijol. Fondo de Manuscritos. Centro de Información. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente. Cuba.

²³ F. Funes-Monzote y D. Hernández, 1996. Algunas consideraciones y resultados sobre la elaboración y utilización del compost en fincas agroecológicas. *Agricultura Orgánica* 2 (1): 8.

²⁴ E. Ruiz, N. Garces, R. Huelva y A. Bahufise, 1994. Propiedades físico-químicas de 5 tipos de humus de lombriz obtenidos en Cuba. *Cultivos Tropicales* 15: 40.

²⁵ Ver F. Funes-Monzote y D. Hernández, 1996. Ob. cit. en n. 23.

(agua, suelo, aire, alimentos) en que cohabitan personas, animales y plantas. Se atenúan los riesgos humanos de adquirir enfermedades producidas (compuestos tóxicos) o transmisibles (patógenos).

- Elevan el bienestar de las familias campesinas que viven en las unidades de producción, pues se dispone de una fuente energética renovable y de muy bajo costo (biogás).
- Incrementan de la producción de biofertilizantes (humus, compost y lodos de biodigestor), que pueden ser vendidos o utilizados en la vaquería con el fin de producir hortalizas y otros cultivos.
- Crean nuevos puestos de trabajo (producción de humus, horticultura y floricultura) que generan ingresos y en los que pueden participar miembros de la familia que no laboran habitualmente (amas de casa, jubilados y niños).
- Aumentan la disponibilidad y la calidad de los alimentos (plantas acuáticas y lombrices) que se puede ofrecer a los animales de la finca.

Referencias de la tabla 2

- BECERRA, M., 1991. Azolla anabaena. Un recurso valioso para la producción agropecuaria en el trópico. Preston, T.R., Rosales, M., de la Cruz, H.O. (eds.). CIPAV. Cali, Colombia.
- BLASUBRAMANIAM, P.R., KASTURI BAI, R., 1992. Recycling of Biogas plant effluent through aquatic plant (Lemna) culture. *Bioresource Technology*. 41: 213.
- CHARÁ, J.D., 1994. La Agroacuicultura. Una alternativa para descontaminar y producir. En: *Memorias III Seminario Internacional Desarrollo Sostenible de Sistemas Agrarios*. Cali, Colombia. pp. 15-177.
- HILLMAN, W., CULLEY, D., 1978. The use of Duckweed. *American Scientist* 6 (4): 442.
- MOLINET, Y., ÁLVAREZ, A., DOMÍNGUEZ, P.L., 2000. Influencia del nivel de excreta vacuna en policultivo Lemna. *Ecosistema Ganadero* 1 (1): 17.
- — — —, DOMÍNGUEZ, P.L., 1996. Producción de biomasa en tres sistemas de serie de plantas acuáticas fertilizadas con residual porcino. *Producción Porcina* 3 (1): 18.
- REDDY, K. R., SUTTON, D.L., 1984. Water Hyacinth for water quality improvement and biomass productions. *Journal of Environment Quality* 13: 1.
- TCHOBANOGLIOUS, G., AITSKI, F., THOMSON, K., CHADWICK, T.H., 1989. Evolution and performance of City of San Diego pilot-scale aquatic wastewater treatment system using Water Hyacinths. *RJWPCF* 61 (11/12): 1625-1635.

[Una versión de este estudio fue publicada como: Álvarez, A., Molinet, Y., González, P.J., Damas, R. «Descontaminación de residuales, reciclaje de nutrientes y producción de biomasa y energía en la producción animal en condiciones tropicales», en: Fernando R. Funes-Monzote (ed.). *Modelos Alternativos*. Módulo III. Curso Internacional Ganadería, Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. La Habana, 2003. pp. 41-53].

CAMBIO CLIMÁTICO, INCIDENCIA DE PLAGAS Y PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS RESILIENTES

Luis L. Vázquez

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE SANIDAD VEGETAL, LA HABANA

El estudio del cambio climático se aborda desde diferentes dimensiones. Particularmente en la producción agropecuaria, los efectos conocidos del cambio climático son de gran magnitud. Esto se debe a que generalmente la agricultura se desarrolla en sistemas abiertos, expuestos al clima y dependientes de su comportamiento, sea para tener éxitos productivos o por los efectos negativos que se manifiestan, acentuados por el calentamiento global.

En los sistemas agrícolas se han podido comprobar incrementos o decrecimientos en la incidencia de plagas que se asocian a eventos extremos de cambios en el clima, como sequías prolongadas, huracanes, lluvias fuertes y fuera de época, entre otros. Desde luego, estos muchas veces no son perceptibles, debido a que los desastres provocados por tales eventos a los cultivos no permiten apreciar los cambios en las manifestaciones de las plagas. Sin embargo, estas contribuyen a aumentar las pérdidas, lo que obliga a los agricultores a realizar gastos excesivos en plaguicidas que generalmente no logran resolver el problema.

De hecho, algunas investigaciones realizadas en Cuba han abordado los efectos del cambio climático sobre los problemas fitosanitarios, principalmente el incremento de la temperatura sobre *Thrips tabaci* Lind en cebolla,¹ de los eventos El Niño Oscilación del Sur (ENOS) sobre enfermedades causadas por

¹ S. Jiménez, A. Porras y Y.J. Cortiñas, 1999. Evaluación del impacto del cambio climático sobre el comportamiento de *Thrips tabaci* Lind. (Thysanoptera: Thripidae) en el cultivo del ajo en Cuba. *Fitosanidad* 3 (4): 27-30.

fitopatógenos en hortalizas² y de la sequía prolongada sobre plagas de insectos y sus enemigos naturales en diferentes cultivos.³

Estos estudios son aún insuficientes, pero demuestran la importancia de atender este tema con mayor detalle, como lo expresan Jiménez y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO),⁴ donde se dan argumentos acerca del incremento de enfermedades en los cultivos favorecidas por efecto del cambio climático.

Se conoce que a escala global los patrones estacionales de temperaturas y precipitaciones constituyen los factores principales para determinar la distribución de organismos en el espacio.⁵ Los insectos y las plantas llegan a adaptarse a combinaciones de estos factores mediante selección natural, aunque insectos con brotes periódicos ocurren en especial en áreas que son físicamente severas o estresadas, fenómeno que se considera es consecuencia del calentamiento global.

Queda demostrado que los brotes de insectos, tanto en zonas templadas como tropicales, han seguido a períodos de sequía, fuerte actividad de manchas solares o combinaciones de sequía y humedad excesiva,⁶ entre otros eventos. Por otra parte, la comunidad científica internacional ha aceptado que el cambio climático conduce al calentamiento global, de forma tal que se percibe como una situación real, seria y precipitada.⁷

En el caso de la agricultura cubana, la mayor preocupación se ha centrado en las pérdidas por efectos de los huracanes y la sequía, debido a su frecuencia y magnitud. No obstante, resulta necesario identificar los diferentes efectos de los eventos que suceden, incluso los de carácter local, y lograr que los agricultores conozcan las prácticas agroecológicas que contribuyan a mitigar pérdidas en sus fincas. Estas prácticas de adaptación generalmente

² M.N. Urquiza, 2004. El programa de acción nacional de lucha contra la desertificación y la sequía en Cuba. *Agricultura Orgánica* 10 (2): 10-12.

³ L.L. Vázquez, 2007. Contribución de la sequía a los desastres fitosanitarios causados por insectos y recomendaciones para mitigar sus impactos. Portal del Medioambiente: Agricultura. 10 p. Disponible en: <http://www.portaldelmedioambiente.com>

⁴ R. Jiménez, 2008. Impactos potenciales del cambio climático sobre las enfermedades de los cultivos. *Phytoma* 203: 64-69.

FAO, 2009. El cambio climático, las plagas y las enfermedades transfronterizas. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org>. Consultado el 15 de julio.

⁵ L.C. Birch, 1957. The role of weather in determining the distribution and abundance of animals. *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.* 22: 203-218.

⁶ W.E. Wallner, 1987. Factors affecting insect population dynamics: Differences between outbreak and non-outbreak species. *Ann. Rev. Entomol.* 32: 317-340.

⁷ M. Mejía, 2005. Calentamiento global y la distribución de plagas. *Boletín de la NAPPO*: 5-6.

tienen efectos múltiples y en su mayoría pueden ser realizadas por el agricultor con un mínimo de insumos externos.

Percepción sobre cambio climático e incidencia de plagas agrícolas

La percepción que tienen quienes viven y trabajan en los sistemas agrícolas sobre los cambios en el comportamiento del clima –que muchas veces no se deben al cambio climático sino a procesos normales–, adquiere cada día mayor importancia. Al observar el comportamiento del clima, surgen preocupaciones e inquietudes, porque los eventos climáticos tienen efectos sobre toda la vida, pero son particularmente decisivos para la producción agropecuaria.

En un estudio de percepción realizado con técnicos de sanidad vegetal en sistemas agrícolas del occidente, centro y oriente de Cuba,⁸ hubo consenso en cuanto a los eventos extremos de cambios en el clima que ocurren en el país. Se consideraron como más importantes los huracanes, las sequías prolongadas, el incremento de la temperatura anual y las lluvias más intensas; sin embargo, la percepción para el resto de los eventos fue diferente (tabla 1).

Como consecuencia de los eventos extremos de cambios en el clima, se consideró que pueden ocurrir los siguientes problemas fitosanitarios:

- Aparición de nuevas plagas para el territorio
- Manifestación de plagas ocasionales como habituales
- Incremento de plagas habituales
- Reducción de plagas habituales
- Incremento de arvenses
- Cambios en el período de manifestación de plagas habituales
- Reducción de reguladores naturales
- Reducción de la efectividad de métodos de control

Resultó interesante que estas personas, que trabajan directamente en los sistemas agrícolas con la función de observar y luchar contra las plagas, hayan desarrollado habilidades para detectar cambios en la conducta de estos

⁸ L.L. Vázquez, M. Veitía, E. Fernández, J. Jiménez y S. Jiménez, 2009. Diagnóstico rápido de la ocurrencia de plagas en sistemas agrícolas de Cuba por eventos extremos de cambios en el clima. *Revista Brasileira de Agroecología* 4 (2): 2149-2152. <http://www.aba-agroecologia.org.br/ojs2/index.php/rbagroecologia/.../5650>.

Tabla 1. Percepción de técnicos de sanidad vegetal de sistemas agrícolas cubanos* sobre eventos extremos derivados de cambios en el clima y que tienen efectos sobre la fitosanidad

Eventos extremos	Efectos Fitosanitarios**	Frecuencia en cada región***		
		Occidental (9 talleres)	Central (4 talleres)	Oriental (5 talleres)
Huracanes más frecuentes e intensos (vientos, lluvias, inundaciones)	a, c, d, f, g, h	9 (100)	3 (75)	5 (100)
Sequías prolongadas	b, c, d, e, f, g, h	7 (77,7)	3 (75)	5 (100)
Temperatura media anual más elevada	b, c, f, g	8 (88,8)	1 (25)	5 (100)
Lluvias más intensas en período lluvioso	d, e, f, g, h	3 (33,3)	3 (75)	3 (60)
Estaciones de lluvia y seca desplazadas	b, c, e, f	1 (11)	3 (75)	1 (20)
Temperatura en invierno con fluctuaciones más bruscas (noche y día)	c, f	1 (11)	1 (25)	2 (40)
Neblinas más intensas y continuas	c, e, f, g, h	0	2 (50)	1 (20)
Tornados más frecuentes e intensos	a, f, g	0	1 (25)	2 (40)
Sequías prolongadas seguidas de lluvias intensas	b, c, d, e, f, g	0	0	2 (40)

* Proceso participativo realizado durante el primer semestre de 2009 en diecisiete sistemas agrícolas de las provincias de La Habana, Matanzas, Cienfuegos, Ciego de Ávila, Granma y Holguín, donde participaron 657 técnicos fitosanitarios de UBPC, CPA, CCS, granjas y empresas, especialistas de sanidad vegetal de las provincias y Estaciones Territoriales de Protección de Plantas.

** Principales efectos fitosanitarios, que aparecen a continuación de esta tabla.

*** Cantidad y porcentaje, según el número de sistemas agrícolas en que se realizaron los talleres.

organismos nocivos, en particular la modificación de sus patrones poblacionales, incluyendo sus reguladores naturales y sus efectos sobre los métodos de control, entre otros muchas veces no perceptibles. En todos los ejercicios realizados durante el estudio, cada evento extremo fue argumentado con ejemplos locales de plagas que modificaban su comportamiento en el cultivo donde habitualmente se manifiestan.

Estos resultados demuestran que los técnicos que trabajan en los sistemas agrícolas están convencidos de que los efectos del cambio climático también se manifiestan en la sanidad de los cultivos. De ahí la necesidad de realizar investigaciones que profundicen en el tema, así como de disponer de un sistema participativo para el seguimiento de tales eventos, base para adoptar prácticas adaptativas bajo las condiciones particulares de las diferentes regiones agrícolas del país.⁹ Generalmente, en la producción agropecuaria solo se le otorga importancia al efecto físico directo sobre los cultivos y su producción, sin considerar que los problemas fitosanitarios se incrementan o reducen durante o después de los eventos extremos.

El calentamiento de la atmósfera es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados en el promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo de los casquetes polares, y el incremento del nivel del mar, así como las variaciones de la cubierta terrestre y de la radiación solar, que alteran el equilibrio energético del clima, elementos suficientes para estar alertas y tomar las decisiones pertinentes.¹⁰

Efectos de las lluvias y vientos intensos sobre las poblaciones de insectos y sus reguladores naturales

La mayoría de los eventos que conducen a lluvias y vientos intensos en Cuba se debe a los huracanes, aunque en determinados años se han registrado fuertes lluvias fuera de época o vientos localmente severos. Como se conoce, los huracanes tienen dos características físicas fundamentales: los vientos fuertes y las precipitaciones en forma de lluvia, que ocasionan efectos directos combinados. Cuando se manifiestan de manera extrema para las capacidades de tolerancia de la estructura de las plantas y del suelo, así como de los organismos causales de plagas y los reguladores naturales que los habitan, ocasionan cambios en las poblaciones.

⁹ Ídem.

¹⁰ IPCC, 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza. 104 p.

Como señalaran Emanuel, Sundararajan y Williams,¹¹ los huracanes han incrementado su intensidad, predominando los de categoría 4 y 5. Las lluvias que los acompañan son extremadamente variables y difíciles de predecir. Pueden ser muy fuertes y durar varios días o se pueden disipar en horas. En la incidencia de la precipitación se reconocen como importantes la topografía local, la humedad y la velocidad de avance de un huracán, pero los intentos para determinar una conexión directa hasta ahora han sido estériles.

Los principales efectos de los huracanes sobre las plagas de insectos y sus reguladores naturales son: 1) alteraciones que ocasionan a las poblaciones que habitan en el área de incidencia del evento, 2) contribución a la dispersión de poblaciones de plagas, y 3) reducción de efectividad o imposibilidad de realizar tácticas supresoras (control).

Alteraciones a las poblaciones de plagas y sus reguladores naturales

Los efectos físicos de los huracanes son el resultado de la combinación de vientos y precipitaciones en forma de lluvia. Debido a su elevada magnitud, no solo afectan la planta y el suelo, sino también las plagas y sus reguladores naturales, sean los estados que se encuentren expuestos directamente, los que estén en el interior de los órganos de la planta o en los niveles inferiores del suelo.

La combinación de viento y lluvia ejerce un efecto mecánico directo sobre la planta, que generalmente es perceptible porque se parten los órganos, se caen los frutos o se dobla el tallo, mientras que el suelo puede saturarse y llegar a inundaciones que derivan en fuertes corrientes de agua que fluyen en diferentes direcciones (figura 1).

Los efectos físicos de esta combinación sobre las plantas y el suelo, así como su repercusión sobre las plagas y sus reguladores naturales, muestran que los órganos de la planta se afectan sensiblemente y que este daño físico también repercute, de forma directa e indirecta, sobre las poblaciones de insectos fitófagos y sus reguladores naturales (tabla 2).

También se aprecian efectos sobre las condiciones ambientales, que al alterarse y cambiar a valores extremos, influyen directamente sobre la dinámica de las poblaciones de estos organismos, así como en sus tasas de reproducción y sobrevivencia, entre otros parámetros bioecológicos. Esto significa que los efectos de los huracanes sobre las poblaciones de plagas y sus reguladores naturales son múltiples, lo que obliga a que las investigaciones para identificarlos y medirlos requieran de análisis complejos.

¹¹ K. Emanuel, R. Sundararajan y J. Williams, 2008. Hurricanes and Global Warming: Results from Downscaling IPCC AR4 Simulations. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 89 (3): 347-367.

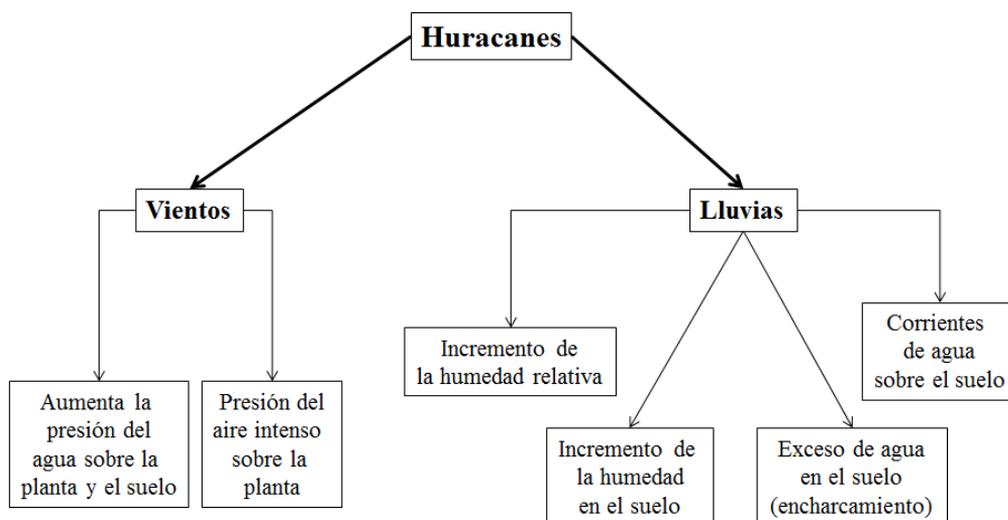


Figura 1. Representación de los efectos físicos de los huracanes sobre el hábitat de las plagas de insectos y sus reguladores naturales

Tabla 2. Síntesis de efectos de las lluvias y vientos intensos sobre las poblaciones de insectos en los agroecosistemas

Efecto	Afectaciones a las plantas	Efectos sobre plagas y reguladores naturales
Aumento de la presión del agua y el viento sobre la planta	Presión de la fuerza del agua y el viento sobre la superficie de los órganos de las plantas	Daño directo a las poblaciones expuestas de plagas y sus reguladores naturales
	Debilitamiento de los órganos de la planta (tallo, ramas, raíces y otros)	Aumento de susceptibilidad a plagas secundarias
	Afectaciones de plantas que son hospedantes secundarios (arvenses, otras)	Emanación de olores que atraen a ciertas plagas (como perforadores de ramas)
	Desprendimiento de órganos de la planta (hojas, flores, frutos, ramas y otros)	Cambios en el comportamiento de las poblaciones de plagas
		Dispersión de plagas junto con los órganos donde habitan (dispersión por el viento o por las corrientes de agua)

Efecto	Afectaciones a las plantas	Efectos sobre plagas y reguladores naturales
	Muerte de plantas completas (cortadas y caídas)	Reservorios de plagas
	Condiciones extremas de lluvia y viento	Refugio en el interior de los órganos de la planta (perforadores)
Incremento de la humedad (alrededor de la planta y en el suelo)	Condiciones extremas	<p data-bbox="767 500 1143 567">Aceleración del ciclo biológico de ciertas especies de plagas</p> <p data-bbox="767 595 1143 881">Favorecimiento del desarrollo de reguladores naturales en algunas especies, principalmente de hongos entomopatógenos y reducción de la actividad de ciertos reguladores naturales (parasitoides, predadores)</p>
Exceso de contenido de agua en el suelo (encharcamiento)	Muerte de plantas	<p data-bbox="767 910 1126 938">Reservorios de ciertas plagas</p> <p data-bbox="767 967 1126 1033">Muerte de plagas y sus enemigos naturales</p>
Corrientes de agua sobre la superficie del suelo	Debilitamiento y muerte de plantas	<p data-bbox="767 1081 1130 1148">Dispersión de poblaciones de plagas</p> <p data-bbox="767 1176 1130 1233">Muerte de plagas y sus reguladores naturales</p>
Cambios en las propiedades del suelo	<p data-bbox="400 1262 663 1328">Debilitamiento de las plantas</p> <p data-bbox="400 1357 704 1424">Reducción del contenido de materia orgánica</p>	<p data-bbox="767 1262 1130 1328">Aumento de la susceptibilidad a ciertas plagas</p> <p data-bbox="767 1357 1130 1500">Afectación de poblaciones de reguladores naturales, principalmente predadores y patógenos</p>
Cambios bruscos y temporales en el clima	Nuevas condiciones de humedad, temperatura y otras variables del clima	<p data-bbox="767 1528 1130 1595">Desarrollo de poblaciones de plagas habituales y ocasionales</p> <p data-bbox="767 1624 1130 1681">Cambios en la actividad de reguladores naturales</p>

Dispersión de poblaciones de plagas

Las características de los vientos de los huracanes constituyen una vía reconocida de dispersión de poblaciones de plagas.¹² Particularmente en la subregión Caribe de la región neotropical, donde se inserta el archipiélago cubano, la formación regular de huracanes ha contribuido al flujo de organismos vivos, entre los que se encuentran las poblaciones de insectos, dentro de un mismo país y entre países, incluidas las islas y el continente. Esta dispersión sucede mediante dos vías principales:

- Directa. Cuando las poblaciones de adultos que están sobrevolando las plantas, volando de una planta a otra o emigrando hacia campos cercanos, son elevadas por encima de las plantas por los vientos fuertes de los huracanes.
- Indirecta. Cuando las poblaciones de adultos e inmaduros que habitan en el interior de los órganos de la planta o permanecen adheridos a la superficie de los órganos (sésiles), se trasladan junto con estos al desprenderse por la acción del viento y se elevan, como sucede frecuentemente con hojas, flores, frutos y ramas y, en algunos casos, plantas herbáceas completas.

En ambos casos, al elevarse y entrar en el sistema de rotación del huracán, son trasladadas a cortas, medianas y largas distancias, y son depositados en otros hábitats, que pueden ser desde campos o fincas vecinas, hasta otras regiones del país, e incluso hacia otros países cercanos. También puede ocurrir que se depositen sobre la superficie de mares o ríos y sean arrastradas por el agua hacia sus orillas. El éxito de que estas poblaciones arriben a nuevos hábitats en buenas condiciones biológicas depende de disímiles factores, al igual que las posibilidades de sobrevivir y luego establecerse; pero se ha demostrado que es un proceso que ha contribuido a la dispersión de diversas especies de insectos y otros organismos.¹³

¹² L.C. Birch, Ob. cit. en nota 5; M. Mejía, Ob. cit. en nota 7; L.L. Vázquez e I. Pérez, 1997. Introducción y dispersión del minador de la hoja de los cítricos (*Phyllocnistis citrella* Stainton) en la región neotropical. *Levante Agrícola* 36 (338): 4-7; L.L. Vázquez, E. Blanco y A. Navarro, 2002. Riesgos de la cochinilla rosada (*Maconellicoccus hirsutus*) para Cuba. INISAV, La Habana. 41 p.; y P.J. Webster, G.J. Holland, J.A. Curry y H.R. Chang, 2005. Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment. *Science* 309: 1844-1846. http://zfacts.com/metaPage/lib/Webster_Science_2005_Hurricanes.pdf.

¹³ L.L. Vázquez, E. Blanco y A. Navarro, 2002. Ob. cit. en nota 12; y P.J. Webster, G.J. Holland, J.A. Curry y H.R. Chang, 2005. Ob. cit. en nota 12.

Efectos físicos de la sequía sobre el hábitat y las poblaciones de insectos y sus reguladores naturales

Los efectos físicos directos e indirectos se hacen sentir en los cambios en el contenido de humedad de los órganos de la planta que les sirven de alimento a los insectos, así como en la estructura de su superficie y el funcionamiento de los estomas. Los que se producen en la temperatura exterior de estos órganos, que en muchos casos puede ser adversa para la ovoposición o la alimentación, son especialmente importantes. De igual forma sucede con la superficie del suelo, donde muchas especies habitan durante parte de su ciclo de vida (figura 2).

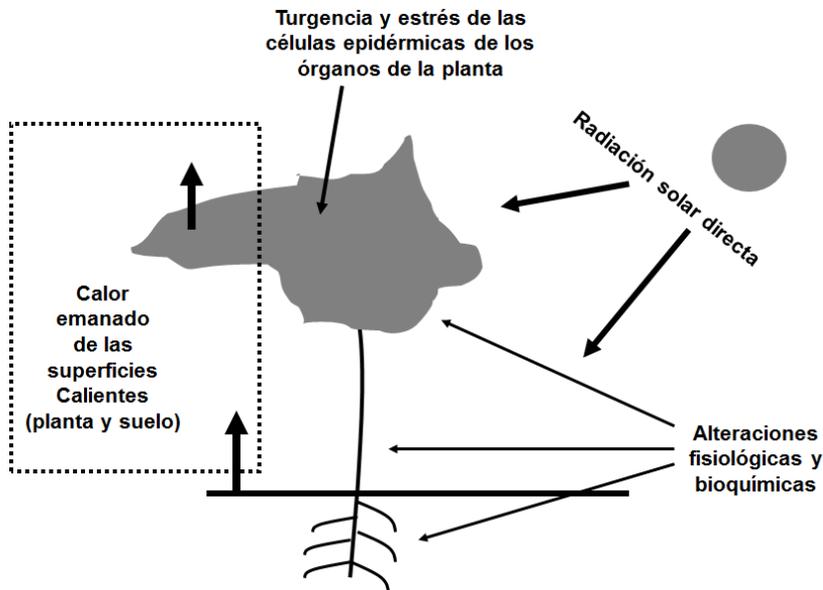


Figura 2. Síntesis de los principales efectos físicos de la sequía prolongada sobre el hábitat de las poblaciones de insectos¹⁴

Al respecto, Lorimer expresó que los factores de estrés medioambiental, como las fluctuaciones de temperatura y la sequía, afectan a los insectos porque reducen la variabilidad fenotípica en la población de sus plantas hospedantes.¹⁵ Ello puede desencadenar simultáneamente respuestas metabólicas y

¹⁴ L.L. Vázquez, 2007. Ob. cit. en nota 3.

¹⁵ N. Lorimer, 1980. Pest outbreaks as a function of variability in pests and plants. In: Resistance to diseases and pests in forest trees. Proceedings 3rd International Workshop on Genetic Host-Parasite Interactions. Wageningen, pp. 287-294.

fisiológicas entre plantas individuales, lo cual resulta en una rápida selección de poblaciones de los fitófagos que se pueden reproducir exitosamente en estas plantas y originar un brote.

Desde luego, cuando estos factores estresantes se prolongan por largos períodos de manera ininterrumpida, habrá una mayor contribución a la selección de poblaciones de insectos, que serán más tolerantes o resistentes a tales condiciones, y pueden alcanzar el estado de plagas si se prolongan.¹⁶

La sequía prolongada, al igual que otros fenómenos derivados del calentamiento global, favorecerá más a las especies de insectos que son invasoras (transfronterizas) que a las nativas y establecidas, ya que están adaptadas a mayores extremos de temperatura y, por tanto, muestran una mayor plasticidad ecológica. De igual forma, algunas especies de insectos fitófagos, sean plagas o no, se irán incrementando, mientras otras se debilitarán o reducirán su desarrollo, pero el efecto final será el aumento de la presión de las plagas sobre los cultivos.¹⁷

Existen especies de insectos que naturalmente son tolerantes o de cierta forma favorecidas por la sequía prolongada, por lo que al crearse estas condiciones aumentan su tasa reproductiva cuando el efecto es sobre su desarrollo o incrementan sus daños cuando el efecto es sobre el órgano de la planta del cual se alimentan, como sucede de manera general con los Thysanoptera y Hemiptera, para citar dos ejemplos muy conocidos.

Con las afirmaciones de Wellington¹⁸ y lo analizado hasta aquí, se puede concluir que el concepto de liberación climática está estrictamente ligado a la composición genética y distribución espacial de la población del insecto en cuestión. Las especies capaces de sobrevivir a períodos de estrés medioambiental son altamente resilientes, pero inestables, y se les suele considerar como plagas, mientras que para las especies que no brotan, las condiciones climáticas no son un factor tan crítico en su dinámica poblacional como en el caso de las especies brotantes.

Las investigaciones biológicas y ecológicas sobre el desarrollo de los insectos han esclarecido las relaciones de estos organismos con la temperatura y la humedad relativa como los factores abióticos que más inciden en su comportamiento poblacional.¹⁹ Este aspecto se considera de manera práctica en el

¹⁶ W.E. Wallner, 1987. Ob. cit. en nota 6.

¹⁷ L.L. Vázquez, 2007. Ob. cit. en nota 3.

¹⁸ W.G. Wellington, 1980. Dispersal and population change. In: Berryman, A.A., Safranyik, L. (eds.) *Dispersal of Forest Insects: Evaluation, Theory and management Implications*. Proc. Int. Union For. Res. Org. Sandpoint, Idaho, 1979. pp. 11-24.

¹⁹ D.W. Hagstrum y G.A. Milliken, 1991. Modeling differences in insect developmental times between constant and fluctuating temperatures. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 84: 369-379; y

manejo de plagas y en la reproducción de las especies benéficas (entomófagos), pues como expresara Marco,²⁰ al igual que otros organismos vivos, los insectos son capaces de sobrevivir únicamente dentro de ciertos límites, marcados por factores ambientales como la temperatura, la humedad relativa o el fotoperíodo. Dentro de este rango, tales factores influyen a su vez sobre el nivel de respuesta de actividades, como la alimentación, la dispersión, la puesta o el desarrollo.

Probablemente, la temperatura es el factor ambiental que ejerce mayor influencia sobre el desarrollo de los insectos. Esto se debe principalmente a su importante incidencia sobre los procesos bioquímicos, al ser organismos poiquiloterms, es decir, «de sangre fría».²¹

Un estudio realizado en Cuba pronosticó que en la medida que se produzca el cambio climático, la especie de insecto *Thrips tabaci* (Lind.) resultará cada vez más favorecida en su desarrollo por las variaciones previstas en la temperatura y las precipitaciones.²² Asimismo, se producirán ataques más intensos sobre el ajo y otras liliáceas, fundamentalmente en los primeros meses del año. En nuestro país la sequía y sus efectos se han convertido en uno de los problemas socioeconómicos y medioambientales de mayor repercusión,²³ principalmente en los últimos años, debido a sus impactos en las regiones central y oriental del país.

Cambios en la incidencia de plagas

Las observaciones realizadas en los sistemas agrícolas cubanos han conducido a definir tres tipos de efectos principales de los eventos extremos del cambio climático sobre las poblaciones de plagas de insectos, a saber:

- Cambios en las poblaciones de plagas
- Afectaciones a los reguladores naturales de plagas
- Introducción y dispersión de plagas exóticas

D.J. Lactin, N.J. Holliday, D.L. Johnson y R. Craigen, 1995. An improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. *Environ. Entomol.* 24: 68-75.

²⁰ V. Marco, 2001. Modelación de la tasa de desarrollo de insectos en función de la temperatura. Aplicación al manejo integrado de plagas mediante el método de grados-días. *Aracnet (Bol. S.E.A.)* 7 (28): 147-150.

²¹ T.L. Wagner, H. Wu, P.J.H. Sharpe, R.M. Schoolfield y R.N. Coulson, 1984. Modeling insect development rates: a literature review and application of a biophysical model. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77: 208-225.

²² S. Jiménez, A. Porras y Y.J. Cortiñas, 1999. Ob. cit. en nota 1.

²³ M.N. Urquiza, 2004. Ob. cit. en nota 2.

Este es un tema que trabaja continuamente la red de estaciones del servicio de sanidad vegetal del país, por lo que en el futuro habrá nuevos elementos que contribuyan a enriquecer la información, en especial sobre las sequías y los huracanes, los eventos que ocurren con mayor frecuencia y magnitud.

Cambios en las poblaciones de plagas

Las especies de plagas de insectos que se incrementan o reducen por los efectos físicos de los huracanes no han sido suficientemente documentadas, aunque existen varias evidencias en los sistemas agrícolas más afectados por estos eventos que han sido informadas como resultado de un estudio de percepción,²⁴ así como en observaciones hechas por algunos agricultores durante los últimos años (tabla 3).

Por otra parte, los problemas de plagas de insectos durante y después de la sequía prolongada en diferentes regiones de Cuba, han sido evidentes y muchos de ellos documentados;²⁵ aunque es preciso continuar las investigaciones, sobre todo de manera sistemática (tabla 4). Como se aprecia, las plagas insectiles son en gran medida insectos con estrechas relaciones coevolutivas con sus plantas hospedantes, principalmente con sus órganos, sea porque habitan parte de su ciclo de vida dentro o sobre estos, o porque prefieren órganos específicos.

Según se ha podido observar en diferentes agroecosistemas, los casos de mayor connotación son los picadores-chupadores (Hemiptera) y los raspadores (Thysanoptera), cuyo desarrollo poblacional se favorece con el incremento de la temperatura. Ello deriva en el aumento de la transmisión de enfermedades causadas por virus y micoplasmas, evidente en cultivos como los ornamentales, las solanáceas (tomate, pimiento, tabaco), los granos (frijol, maíz) y ciertos frutales (papaya), entre otros. Esta combinación entre insecto vector-virus o micoplasma-cultivo-hospedantes secundarios, resulta muy favorecida por la sequía prolongada y potencialmente puede ser un problema fitosanitario de gran magnitud.

²⁴ L.L. Vázquez, M. Veitía, E. Fernández, J. Jiménez y S. Jiménez, 2009. Ob. cit. en nota 8.

²⁵ L.L. Vázquez, 2007. Ob. cit. en nota 3; y L.L. Vázquez, M. Veitía, E. Fernández, J. Jiménez y S. Jiménez, 2009. Ob. cit. en nota 8.

Tabla 3. Alteración de poblaciones de plagas luego del paso de los huracanes

Especie	Efectos
Mosca blanca <i>Bemisia tabaci</i> Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae)	Incremento de poblaciones en tomate, frijol y otros cultivos por debilitamiento de las plantas y atrasos e ineffectividad de los métodos de control
Psílido de los cítricos <i>Diaphorina citri</i> Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae)	Dispersión de poblaciones e incremento por cambios fenológicos en el cultivo
Cochinillas harinosas (Hemiptera: Pseudococcidae)	En cultivos con poblaciones más expuestas, se producen daños físicos; y donde están protegidas, se incrementan las poblaciones por afectación a sus reguladores naturales
Chinche del aguacate <i>Pseudacysta perseae</i> (Heid.) (Hemiptera: Tingidae)	Dispersión de poblaciones
Minadores de las hojas <i>Liriomyza trifolii</i> (Burguess) (Diptera: Agromyzidae)	Incremento de las poblaciones en papa, frijol y otros cultivos, por afectación de sus reguladores naturales
Centella de la yuca <i>Lonchaea chalybea</i> Wied (Diptera: Lonchaeidae)	Incremento de poblaciones por afectación del hábitat
Moscas de la fruta <i>Anastrepha obliqua</i> (Macquart) y <i>A. suspensa</i> (Loew) (Diptera: Tephritidae)	Reducción de poblaciones por efectos de inundaciones sobre las pupas en el suelo
Thrips de la papa <i>Thrips palmi</i> Karny (Thysanoptera: Thripidae)	Reducción de poblaciones de adultos y larvas por daño físico en las hojas y reducción de pupas por inundaciones
Hormiga santanica <i>Wasmannia auropunctata</i> F. (Hymenoptera: Formicidae)	Incremento y dispersión de poblaciones por afectaciones en su hábitat por lluvias intensas
Primavera de la yuca <i>Erinnyis ello</i> L. (Lepidoptera: Sphingidae)	Incremento de poblaciones por afectación de sus reguladores naturales
Palomilla <i>Spodoptera frugiperda</i> J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae)	Incremento poblacional en maíz por afectación a sus reguladores naturales y por reducción de arvenses que son hospedantes secundarios
Tetuán del boniato <i>Cylas formicarius</i> (Summers) (Coleoptera: Brentidae)	Incremento de poblaciones en lluvias fuertes y reducción de las poblaciones cuando ocurren inundaciones

Tabla 4. Ejemplos de algunas plagas insectiles que se manifiestan en altas poblaciones como consecuencia de la sequía prolongada en agroecosistemas de Cuba

Especie	Efectos
Mosca blanca <i>Bemisia tabaci</i> Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae)	Selección de poblaciones de biotipos tolerantes; muy importante en tomate, pepino y frijoles
Mosca blanca del ají <i>Aleurotrachelus trachoides</i> (Back) (Hemiptera: Aleyrodidae)	Incremento de poblaciones en ají y frutales
Mosca blanca del cocotero <i>Aleurodicus dispersus</i> Russell (Hemiptera: Aleyrodidae)	Alta incidencia en algunos cocoteros dispersos, no en cocotales; frecuente en varias localidades y variedades de plátanos
Cochinilla harinosa de la papaya <i>Paracoccus marginatus</i> Williams y Granara de Willink (Hemiptera: Pseudococcidae)	Los efectos son mayores en las ciudades para las plantas ornamentales, por la contribución de otros factores, especialmente sobre sus enemigos naturales
Psílido de la leucaena <i>Heteropsylla cubana</i> Crawford (Hemiptera: Psyllidae)	Incremento de las poblaciones y el complejo de enemigos naturales que las regulan
Psílido de los cítricos <i>Diaphorina citri</i> Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae)	Incremento de poblaciones
Salta hojas del maíz <i>Dalbulus maidis</i> (De Long y Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae)	Las poblaciones en el cogollo de la planta se incrementan y, como consecuencia, aumenta la transmisión de virus y micoplasmas
Salta hojas del maíz <i>Peregrinus maidis</i> (Ashmead) (Hemiptera: Delphacidae)	
Salta hojas de los frijoles <i>Empoasca kraemerii</i> Ross y Moore (Hemiptera: Cicadellidae)	Incremento de poblaciones en frijoles y en hortalizas
Palomita saltadora común <i>Metcalfa pruinosa</i> (Say) (Hemiptera: Flatidae)	Incrementos poblacionales en algunas zonas, particularmente en anonáceas y guayabo
Chinches hediondas <i>Nezara viridula</i> (L.) (Hemiptera: Pentatomidae)	Incremento de las poblaciones en solanáceas y leguminosas

Innovación agroecológica, adaptación y mitigación del cambio climático

Thrips <i>Frankliniella</i> spp. (Thysanoptera: Thripidae)	Incremento de las poblaciones de algunas especies en hortalizas, frutales, ornamentales, raíces y tubérculos
Thrips de la cebolla <i>Thrips tabaci</i> (Lind.) (Thysanoptera: Thripidae)	Incremento de las poblaciones por cambios en el hábitat, principalmente incremento de la temperatura
Minadores de las hojas <i>Liriomyza trifolii</i> (Burguess) (Diptera: Agromyzidae)	Incremento de las poblaciones en hortalizas y granos
Hormigas cortadoras de hojas <i>Atta insularis</i> Guérin-Meneville (Hymenoptera: Formicidae)	Diversos factores relacionados con la sequía prolongada contribuyen al incremento de las afectaciones en frutales y ornamentales
Hormigas depredadoras <i>Solenopsis geminata</i> (Fabricius) <i>Paratrechina fulva</i> Meyr (Hymenoptera: Formicidae)	Incrementos poblacionales en ciertas localidades, principalmente en zonas periurbanas que afectan animales de crianza y otros
Perforadores xilófagos del café <i>Xylosandrus compactus</i> (Eichhoff) <i>Hypothenemus hampei</i> (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae)	Incremento de daños en los órganos afectados; reducción de los microorganismos descomponedores de los frutos que caen al suelo; humedad relativa y temperatura adversa para la actividad de las hembras en el café; afectación de las epizootias causadas por <i>Beauveria bassiana</i> a las hembras adultas
Picudo verde-azul de los cítricos <i>Pachnaeus litus</i> Germar (Coleoptera: Curculionidae)	Incremento de afectaciones por larvas en raíces de otros cultivos hospedantes
Minadores de hojas en solanáceas <i>Pthorimaea operculella</i> (Zeller) <i>Keiferia lycopersicella</i> (Walsingham) (Lepidoptera: Gelechiidae)	Incremento de las poblaciones de <i>P. operculella</i> en tabaco y de <i>K. lycopersicella</i> en tomate en cultivos protegidos
Cachazudos <i>Agrotis</i> spp. (Lepidoptera: Noctuidae)	Incremento de las poblaciones en hortalizas y dificultades para su control por esconderse en el suelo
Perforadores de frutos <i>Platynota rostrana</i> (Walker) (Lepidoptera: Tortricidae) <i>Cactoblastis cactorum</i> (Berg) (Lepidoptera: Pyralidae)	Incremento de los daños de especies de insectos que habitan en el mesocarpio de frutos u órganos de plantas carnosas como <i>C. cactorum</i> en cactus (<i>Opuntia dillenii</i>) y <i>P. rostrana</i> en guayabo y naranjo

Efectos sobre los reguladores naturales de plagas

Los enemigos naturales de los insectos fitófagos también son afectados por los factores de estrés asociados a la temperatura y la humedad relativa, en particular la sequía prolongada, que afecta sensiblemente el desarrollo y la sobrevivencia de diversos grupos (tabla 5), contribuyendo a su desequilibrio.

Tabla 5. Resumen del efecto relativo de algunos eventos extremos de cambios en el clima sobre los reguladores naturales de plagas

Actividad del regulador	Grupos	Estados más afectados	Efectos principales		
			Sequías	Lluvias intensas	Vientos fuertes
Predadores	Crisopas (Neuroptera: Chrysopidae)	Adultos y huevos	a, b	g	g
	Cotorritas (Coleoptera: Coccinellidae)	Huevos	a, b	g	g
	Moscas sirfidas (Diptera: Syrphidae)	Larvas	a	g	g, i
	Ácaros (Acari: Phytoseiidae y otros)	Todos los estados	a	g	g, i
Parasitoides	Avispitas (Hymenoptera: Chalcidoidea, Braconidae, Ichneumonidae)	Adultos	a, c	g	g, i
Parásitos	Nemátodos (Heterorhabditidae, Steinernematidae)	Todos los estados	d, e	h, j	-
Patógenos	Hongos, bacterias y virus	Todos los estados	f	h	i

Nota: a) Deshidratación por efecto directo de la temperatura de la superficie de las hojas y las radiaciones solares. b) Deshidratación y dificultades para ovipositar por temperatura de las hojas. c) Deshidratación por corrientes superficiales de aire caliente y por superficies de las hojas calientes y secas. d) Deshidratación por baja humedad del suelo y la planta. e) Limitaciones para desplazarse en busca del huésped por no existir lámina de agua. f) Deshidratación de los estados expuestos a la radiación solar directa y por efecto del calentamiento de los órganos de la planta. g) Daño mecánico por efecto directo sobre adultos. h) Acción de microorganismos secundarios por efecto de humedad excesiva. i) Deshidratación combinada con efecto físico de las corrientes fuertes de aire. j) Muerte por exceso de agua (inundación).

Lo mismo sucede con los controles biológicos que son liberados o aplicados de forma aumentativa, sean entomófagos o entomopatógenos. Aunque hay grupos de reguladores naturales más sensibles a las condiciones extremas, de forma general la mayoría es afectada, sea por los efectos directos o por la reducción de sus presas, lo que contribuye a disminuir las poblaciones. En particular, los microorganismos entomopatógenos se deprimen significativamente bajo estas condiciones, debido a que son muy sensibles a las altas temperaturas y al ambiente seco.²⁶ Existen muy pocas posibilidades de epizootias.

Introducción y dispersión de plagas exóticas

Las principales evidencias en Cuba sobre dispersión de plagas de insectos por eventos extremos se asocian a los huracanes, cuyas características constituyen una vía efectiva en la introducción y dispersión de poblaciones de insectos en nuestros ecosistemas.²⁷ Muchas de estas especies no han sido evidentes por carecer de importancia o, simplemente, porque no se establecieron. Los casos más conocidos en los últimos años han sido:

- Minador de la hoja (*Liriomyza trifolii* (Burguess) y perforador de la vaina del gandul (*Melanagromyza obtusa* (Malloch) (Diptera: Agromyzidae). Aunque no se realizaron estudios que lo demuestren, se estima que ambas especies fueron introducidas desde otras islas del Caribe, a través de huracanes en los años ochenta y noventa, respectivamente.²⁸
- Prodenia verde (*Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). Aunque no se realizaron estudios para comprobarlo, se estima que fue introducida a través de los vientos de huracanes, de la misma forma en que se ha dispersado de la región occidental a la central del país.²⁹
- Minador de la hoja de los cítricos (*Phyllocnistis citrella* Stainton) (Lepidoptera: Gracillariidae). Especie cuya introducción ha sido favorecida

²⁶ M.E. Barbercheck, 1992. Effect of soil physical factors on biological control agents of soil insect pests. *Florida Entomologist* 75 (4): 539-548.

²⁷ L.L. Vázquez, A. Navarro y E. Blanco, 2005. Vigilancia territorial de la Cochinilla Rosada de los Hibiscus (*Maconellicoccus hirsutus*) a partir del análisis de riesgos. *Entomología Mexicana* 9: 698-702.

²⁸ L.L. Vázquez, E. Valdés y J.C. Amor, 1994. New manifestations of pests on economically important plants during the period from 1970 to 1991 in Cuba. *Bolletino del Laboratorio di Entomologia Agraria Filippo Silvestri*: 44 (1992): 41-52.

²⁹ Ídem.

por plantas hospedantes secundarias que habitan en cayos y los vientos de huracanes.³⁰

- Gusano de la tuna (*Cactoblastis cactorum* (Berg) (Lepidoptera: Pyralidae). Especie que se ha dispersado por la región del Caribe favorecida debido a por los vientos de los huracanes.³¹
- Psílido de los cítricos (*Diaphorina citri* Kuwayama) (Hemiptera: Psyllidae). Resulta un caso interesante, ya que esta especie se introdujo junto con uno de sus enemigos naturales más eficientes: *Tamarixia radiata* Waterston (Hymenoptera: Eulophidae), dispersada en la región por los huracanes.
- Chinche de encaje del aguacatero (*Pseudacysta perseae* (Heid.) (Hemiptera: Tingidae). Especie que se ha dispersado por el Caribe a través de los vientos de huracanes.
- Cochinilla de la papaya (*Paracoccus marginatus* Williams y Granara de Willink) (Hemiptera: Pseudococcidae). Especie que se ha dispersado en la región a través de los vientos de huracanes sobre órganos de las plantas.

Estas especies de insectos fueron exitosas en la sobrevivencia, establecimiento y dispersión en los sistemas agrícolas de Cuba y se han manifestado como plagas de importancia en diferentes cultivos.

Prácticas de manejo de la finca para lograr resiliencia sobre bases agroecológicas

Los sistemas agrícolas pueden estar estresados por diversos factores y, como resultado, se crean condiciones propicias para incrementar o reducir los índices poblacionales de ciertas plagas y sus reguladores naturales. También se puede mejorar o disminuir la efectividad de las prácticas preventivas y supresoras de los programas de manejo de estas plagas.

Las sequías y los huracanes, al igual que otros eventos extremos asociados al calentamiento global y que pueden afectar países y regiones, tienen una gran connotación por sus disímiles efectos. Ello obliga a las autoridades y organizaciones a encauzar acciones que permitan reducir sus impactos, pues

³⁰ Vázquez e I. Pérez, 1997. Introducción y dispersión del minador de la hoja de los cítricos (*Phyllocnistis citrella* Stainton) en la región neotropical. *Levante Agrícola* 36 (338): 4-7.

³¹ E. Blanco y L.L. Vázquez, 2001. Análisis de los riesgos fitosanitarios asociados al uso de *Cactoblastis cactorum* (Berg) (Lepidoptera: Pyralidae: Phycitinae) como agente de control biológico de *Opuntia dillenii* (Cactaceae) en Cuba. *Fitosanidad* 5 (1): 63-73.

existe consenso internacional en cuanto a que la estrategia correcta es la adaptación al cambio climático, debido a las dificultades para lograr acciones internacionales cooperadas para detener esta situación.

Por supuesto, en el contexto agropecuario en general y del manejo fitosanitario en particular, es importante considerar la vigilancia participativa como el componente de mayor importancia, para detectar a tiempo poblaciones de plagas que llamen la atención y analizar si son habituales o se consideran nuevos problemas. Algunas plagas se manifiestan con posterioridad a los eventos extremos. Otras se han detectado en meses, como ha sucedido con las especies que se dispersan por los vientos de los huracanes, que llaman la atención cuando han logrado desarrollar diferentes generaciones.

Según las experiencias de países tradicionalmente afectados por estos eventos, las mejores alternativas para mitigar sus efectos son las generadas por los propios agricultores, que consideran las condiciones locales y los conocimientos tradicionales mediante procesos participativos bien conducidos, para lograr prácticas sostenibles y duraderas.

De acuerdo con observaciones realizadas bajo nuestras condiciones e intercambios sostenidos en fincas de productores medianos y pequeños de la agricultura urbana y rural, las prácticas agroecológicas ofrecen las mayores perspectivas para lograr la resiliencia de las fincas. Se ha demostrado que las prácticas de la agricultura convencional, más que mitigar los efectos, contribuyen a su incremento, y sus costos económicos y ambientales son elevados. Las prácticas agroecológicas de manejo de plagas para lograr resiliencia se pueden agrupar en:

- Manipulación de la diversidad florística
- Conservación y manejo de la biodiversidad funcional
- Prácticas agronómicas fitosanitarias
- Control ecológico

Por supuesto, el éxito de estas prácticas depende de las características biofísicas de la finca, así como de las exigencias particulares de los diferentes cultivos, por lo que requieren ser ajustadas mediante procesos de innovación local. Para lograr los mejores efectos, es necesario favorecer los procesos de intercambio entre agricultores y tomar en cuenta sus observaciones.

Un ejemplo a gran escala es el caso de Honduras, donde luego del paso del huracán Mitch en 1998, se observó que las fincas que utilizaban métodos convencionales soportaron menos los efectos de la erosión y la escorrentía que las que se valían de prácticas y materiales agroecológicos. Estos incluían

conservación de agua, cultivos escalonados para evitar terrenos vacíos, manejo integrado de plagas y pastoreo mínimo o nulo.³²

Las prácticas que a continuación se describen son el resultado del análisis y síntesis de opiniones de técnicos fitosanitarios³³ y de intercambios con agricultores, principalmente en Bahía Honda (Pinar del Río), Artemisa y San Antonio de los Baños (La Habana),³⁴ Perico y Jagüey Grande (Matanzas), Manicaragua (Villa Clara), Trinidad (Sancti Spiritus), Florida (Camagüey), Buey Arriba (Granma), La Maya (Santiago de Cuba), Maisí (Guantánamo), entre otros, que explicaron sus experiencias en el manejo de su finca para reducir efectos de los vientos y lluvias fuertes o la sequía.

Variedades y semillas

La disponibilidad de semillas es esencial para la producción agropecuaria, pero en el caso de los sistemas agrícolas estresados por eventos extremos del cambio climático, también es importante disponer de semillas adaptadas a las condiciones locales, que se puedan sembrar en diferentes épocas y sean de ciclo corto y tolerantes o no susceptibles a plagas. Para ello, los agricultores deben disponer de sistemas locales de evaluación, conservación y producción de germoplasma, así como de sistemas efectivos de almacenamiento, protegidos del exceso de humedad y el ataque de plagas de almacén (gorgojos y polillas).

Fundora y otros autores realizaron estudios en la región occidental de Cuba tras el paso de huracanes con el propósito de identificar las estrategias de los campesinos para rescatar cultivos tradicionales frente al cambio climático.³⁵ Los autores destacaron la importancia de la conservación segura de semillas como una de las principales medidas preventivas ante el riesgo de huracanes, especialmente las estrategias de conservación local de semilla tradicional, con vistas a evitar su erosión, así como de otras especies/variedades que permitan una recuperación rápida.

³² E. Holt-Gimenez, 2001. Midiendo la resistencia agroecológica contra el huracán Mitch. *Leisa Revista de Agroecología* 17 (1): 7-10.

³³ L.L. Vázquez, M. Veitía, E. Fernández, J. Jiménez y S. Jiménez, 2009. Ob. cit. en nota 8.

³⁴ Con la nueva división político-administrativa aprobada en enero de 2011 por la Asamblea Nacional, La Habana se dividió en dos provincias: Mayabeque y Artemisa. Estos dos municipios forman parte ahora de la segunda. (N. de los Eds.).

³⁵ Z. Fundora, T. Shagarodsky, T. Tellería, L. Fernández, N. León, O. Barrios, L. Castiñeiras, F. Hernández, M. García, V. Moreno, R. Cristóbal, M.C. López, Y. González, Y. Sánchez, D. de Armas y G. Acuña, 2010. Estrategias campesinas para el rescate de cultivos tradicionales frente al cambio climático. En: *Memorias VIII Encuentro de Agricultura Orgánica y Sostenible*. La Habana, mayo.

Agrobiodiversidad

Constituye una de las principales prácticas agroecológicas para lograr la resiliencia de fincas a eventos del cambio climático. En el caso de los ataques de plagas, la diversidad de cultivos en espacio y tiempo es un factor determinante para regular el microclima, favorecer la multiplicación y actividad de los reguladores naturales de plagas, y tiene efectos disuasivos sobre ciertas especies de insectos, entre otros servicios ecológicos que contribuyen a reducir los daños de estos organismos.

En sistemas agrícolas afectados por sequías prolongadas, las fincas que practican los policultivos, la agroforestería y el silvopastoreo son menos vulnerables a plagas de importancia. En estas se ha podido comprobar que los índices de plagas son menores, hay mayor actividad de los reguladores naturales y resulta más efectivo el uso de bioplaguicidas para controlar ciertas plagas, debido a que el microclima es más favorable. En cambio, en las fincas o sistemas simples, los cultivos están más estresados y las afectaciones por plagas son más intensas, a la vez que son menos efectivas las intervenciones para el control.³⁶

El intercalamiento y la asociación de cultivos, sean herbáceos, arbustivos o arbóreos, constituyen una práctica tradicional en los sistemas campesinos. Precisamente, estos arreglos espaciales son los menos afectados por la sequía y los efectos de los huracanes, no solamente en el orden físico de las plantas o en su producción, sino porque bajo estas condiciones se propician servicios ecosistémicos que reducen poblaciones de plagas.

Como expresaran Altieri y Nicholls,³⁷ en muchas áreas del mundo los campesinos han desarrollado sistemas agrícolas adaptados a las condiciones locales que les permiten una producción continua necesaria para subsistir, a pesar de cultivar en ambientes marginales de tierra, con variabilidad climática no predecible y un uso muy bajo de insumos externos. Parte de este desempeño está relacionado con el alto nivel de agrobiodiversidad que caracteriza a los agroecosistemas tradicionales, lo cual tiene efectos positivos en su funcionamiento. La diversificación es, por lo tanto, una estrategia importante para el manejo del riesgo de la producción en sistemas agrícolas pequeños.

Reid y Swiderska consideran que la biodiversidad es clave en el proceso de adaptación del hombre al cambio climático, así como en el modo en que los paisajes pueden absorber y guardar carbono de forma efectiva y también

³⁶ L.L. Vázquez, 2010. Manejo de plagas en la agricultura ecológica. *Boletín Fitosanitario* 15 (1): 117.

³⁷ M.A. Altieri y C.I. Nicholls, 2009. Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. *Leisa Revista de Agroecología* 24 (4): 5-8.

en la manera como la vegetación y los ecosistemas pueden reducir los impactos adversos del cambio climático.³⁸ Los sistemas tradicionales y las innovaciones de los campesinos están a la vanguardia en la adaptación a este fenómeno. Alegan que, mientras los científicos y los diseñadores de políticas trabajan en la búsqueda de soluciones, los campesinos ya han acumulado una larga experiencia a partir de la observación y la experimentación en el campo. De hecho, esto ya está ocurriendo alrededor del mundo, pues muchas personas están utilizando recursos naturales y biodiversidad, incluyendo biodiversidad genética, como parte del proceso de adaptación. Estos autores aseguran que, a menudo, para enfrentar los efectos de las sequías y las inundaciones producidas por el cambio climático, se trata de incrementar la producción agrícola a través de métodos de cultivo intensivos. Sin embargo, estos no son efectivos, ya que no promueven la biodiversidad ni el buen funcionamiento de los ecosistemas.

Densidad de siembra

El incremento de la densidad de siembra tiene efectos positivos en la aparición de ciertas plagas, sea en cultivos herbáceos, arbustivos o arbóreos. Entre estos efectos se encuentran:

- Reducir arvenses que son hospedantes secundarios de poblaciones (por ejemplo: mosca blanca (*Bemisia tabaci*) en tomate y muchos otros) o compiten con el cultivo.
- Reducir la radiación solar directa sobre el suelo, que afecta el desplazamiento de los reguladores naturales por su superficie (por ejemplo: las hormigas predatoras *Pheidole*, *Solenopsis*, *Paratrechina* y otras) o en su interior por disminución del contenido de humedad y de materia orgánica, que afecta el desarrollo y desplazamiento de otros reguladores naturales (por ejemplo: parasitoides, predadores, parásitos y patógenos de larvas, pupas de picudos y gusanos de manteca, de cochinillas harinosas y otros insectos).
- Reducir daños físicos en las ramas, que favorecen ataques de plagas secundarias (por ejemplo: perforadores de ramas como *Xylosandrus compactus*, *Xyleborus affinis* e *Hypochryphalus mangiferae* en frutales y forestales).

³⁸ H. Reid y K. Swiderska, 2008. Biodiversidad, cambio climático y pobreza: una exploración de los vínculos. Nota Informativa del IIED (International Institute for Environment and Development). 8 p. Disponible en: <http://www.iied.org>.

- Contribuir al microclima, que influye sobre el desarrollo de epizootias por entomopatógenos (por ejemplo: hongos como *Beauveria bassiana*, *Metarrhizium anisopliae*, *Lecanicillium lecanii* y otros).
- Reducir la dispersión de plagas por arrastre del suelo (ejemplo: fitonemátodos, fitobacterias).

Estas situaciones, que dependen de las características del suelo y de los cultivos, pueden ocurrir a consecuencia de eventos extremos, como sequías, huracanes y otros.

Profundidad de siembra

La mayoría de las plagas del suelo se relaciona de manera directa con su preparación para la siembra y la profundidad a que esta se realice, principalmente en el caso de las semillas agámicas. Por otra parte, las plantas que enraízan superficialmente son más susceptibles a afectaciones por eventos físicos, como las corrientes de agua y los vientos de huracanes. Cuando el sistema radicular está más cercano a la superficie, resulta más accesible a las plagas, sobre todo cuando se trata de fincas estresadas por la sequía (tetúan, *Cylas formicarius*, en boniato). En cambio, cuando se trata de inundaciones por huracanes o intensas lluvias, es menor la incidencia de plagas secundarias y el sistema se recupera en la medida en que el nivel del agua disminuye.

Respecto a los vientos, las plantas débiles o dañadas por estos eventos son más sensibles a la afectación por plagas secundarias, las que prefieren órganos debilitados o enfermos (por ejemplo: perforadores de ramas como *Xylosandrus compactus*). Cuando existe arrastre del suelo por lluvias intensas, las plantas que han enraizado con mayor profundidad tienen más posibilidades de acceder a los nutrientes y, por tanto, toleran mejor ciertas plagas.

Coberturas del suelo

Existen diferentes tipos de coberturas sobre el suelo, lo que constituye una práctica tradicional para la conservación de este recurso y para retener humedad, entre otras ventajas agronómicas. Se ha podido comprobar que cuando el suelo está cubierto con cobertura viva, como las leguminosas, o cobertura muerta, como el arropo, que son dos prácticas comunes, se crean condiciones propicias para la actividad de los reguladores naturales, principalmente parasitoides y entomopatógenos, además de que se logra establecer mejor los controles biológicos que se aplican sobre el suelo, como los entomonemátodos, y se favorece la nidificación, el desplazamiento y la actividad depredadora de las hormigas.

En sistemas afectados por huracanes o lluvias fuertes, la cobertura sobre el suelo, además de contribuir a su conservación, reduce la dispersión de poblaciones de plagas que se trasladan con el suelo arrastrado por las corrientes de agua. Resulta importante mencionar la pérdida de materia orgánica del suelo por calentamiento, ya que las temperaturas más altas del aire pueden acelerar la descomposición de la materia orgánica y afectar la fertilidad del suelo.³⁹ Al disminuir el contenido de materia orgánica, se incrementan problemas de plagas y se reduce la actividad de reguladores naturales.

Barreras vivas

Las fincas diversificadas que manejan diferentes tipos de barreras vivas, sean intercaladas en los cultivos, alrededor de los campos o como cerca viva perimetral, son menos vulnerables al ataque de plagas, tanto en áreas estresadas por la sequía como azotadas por huracanes. Las barreras vivas constituyen la barrera física a poblaciones inmigrantes de plagas, a la vez que ofrecen servicio de refugio y alimentación a poblaciones de reguladores naturales, en especial parasitoides y predadores.

Saneamiento

La poda de árboles es una práctica preventiva que se realiza principalmente en frutales y en las cercas vivas perimetrales para reducir los efectos de los vientos. Esta medida minimiza los ataques de plagas a los órganos debilitados o cortados y se recomienda para cultivos anuales, ya que se trata de reducir las fuentes de infección antes de que ocurran las lluvias fuertes o los vientos.

Conservación y manejo de reguladores naturales

Todas las prácticas que favorezcan la protección, el desarrollo y la actividad de los enemigos naturales en la finca, sea en los campos cultivados, en sus bordes o en otros microambientes de la finca, contribuyen a que cuando ocurren eventos extremos estos organismos estén presentes y actúen sobre las poblaciones de plagas. Por ello se recomiendan prácticas que incrementen la vegetación en espacio y tiempo dentro de los campos cultivados (policultivos, asociaciones e intercalamiento de cultivos, barreras vivas, relevos de cultivos, rotaciones y otras) y a sus alrededores (cerca viva perimetral, arboleda o minibosque, ambientes seminaturales, etc.), todos los cuales ofrecen servicios ecológicos fundamentales para lograr una actividad constante de estos organismos benéficos.

³⁹ M.A. Altieri y C.I. Nicholls, 2009. Ob. cit. en nota 37.

De hecho, como señalaran Reid y Swiderska,⁴⁰ los ecosistemas que poseen una «diversidad funcional» rica, es decir, especies que llenan un amplio espectro de funciones ecológicas, son más estables y se adaptan mejor al cambio climático que los sistemas empobrecidos. Agregan que la biodiversidad y los servicios de ecosistemas son los cimientos sobre los cuales se construyen muchas estrategias de adaptación, que también pueden ser útiles al pensar en la mitigación del cambio climático.

La diversificación de las especies vegetales en la finca, sean cultivadas o no, contribuye al microclima, al desarrollo de los biorreguladores de plagas y mantiene las condiciones para que no se incrementen las poblaciones de insectos que se manifiestan como plagas habituales.⁴¹ Los campos donde hay poca diversidad florística y factores estresantes, como la sequía, generalmente son más afectados por estos organismos.

Control ecológico

Cuando se emplean productos para el control de plagas, sean químicos o biológicos, hay que considerar que las condiciones de sequía, tanto desde el punto de vista del microclima como de la planta, pueden afectar significativamente la efectividad de la aplicación, por lo que se requiere extremar las medidas que garanticen su calidad.

En el caso de los productos químicos, debe disponerse de información acerca de sus efectos colaterales sobre los insectos, las plantas y el suelo bajo estas condiciones de estrés hídrico. Para la aplicación de bioplaguicidas, estas circunstancias son muy adversas, por lo que es necesario disponer de riego y realizar las aplicaciones en horas de la tarde-noche. La liberación de entomófagos también debe realizarse en horarios de la tarde-noche y en los sitios con mayor diversidad de plantas.

Otra dimensión del asunto es que tras períodos prolongados de sequía, en coincidencia con el aumento del régimen hídrico en los agroecosistemas, diversas especies de insectos fitófagos desarrollan altas poblaciones, a causa de las condiciones favorables para su desarrollo y la baja presencia de sus biorreguladores, que fueron afectados por la sequía. Esto significa que luego de las sequías también existen riesgos de desastres fitosanitarios y debe mantenerse la vigilancia, sobre todo por la posibilidad de que se hayan manifestado inmigraciones de nuevas especies de insectos.

⁴⁰ H. Reid y K. Swiderska, 2008. Ob. cit. en nota 38.

⁴¹ L.L. Vázquez, 2004. El manejo agroecológico de la finca. Una estrategia para la prevención y disminución de afectaciones por plagas agrarias. ACTAF-Entre Pueblos-INISAV, La Habana. 121p.

El uso de bioplaguicidas (*Bacillus thuringiensis*, *Beauveria bassiana*, *Lecanicillium lecanii*, *Metarhizium anisopliae*), plaguicidas botánicos (nim y otros) y cal, es un método de control ecológico que se ha generalizado, pero que resulta más efectivo cuando el sistema es diversificado.

Vigilancia

Es importante realizar estudios que permitan detectar las variaciones del clima existentes en cada región o localidad, como etapa importante para predecir y mitigar los efectos desastrosos de las especies que brotan bajo estas condiciones. De cualquier manera, según Kozár,⁴² para evaluar el efecto del cambio climático sobre las poblaciones de insectos, resulta importante encontrar buenos indicadores. Son posibles candidatos: 1) los cambios en la distribución y dispersión o expansión, 2) los cambios de densidad espacial y temporal, 3) los cambios en los factores de mortalidad, 4) los cambios de la biodiversidad local, 5) los cambios en la composición de especies en diferentes comunidades, entre otros.

De acuerdo con las características de estos eventos, los mayores éxitos en vigilancia de plagas como consecuencia del cambio climático pudieran estar en la combinación de métodos de seguimiento poblacional por entidades especializadas (puntos fijos, cultivos y variedades representativas, métodos uniformes y cuantitativos, correlaciones con el clima, entre otros) y mediante la percepción de actores relevantes, entiéndase agricultores y técnicos de base, que son personas que habitualmente recorren los sistemas agrícolas.

Desde luego, muchas de estas prácticas agroecológicas son tradicionales en los sistemas campesinos y otras se han desarrollado en procesos de innovación realizados por los propios agricultores, procurando que sus fincas sean menos afectadas por estos eventos, lo que evidencia su capacidad para la solución de problemas.⁴³

⁴² F. Kozár, 1997. Insects in Changing World (Introductory Lecture). *Acta Phytopath. Et Entomol. Hungarica* 32 (1-2): 129-139.

⁴³ L.L. Vázquez, 2008. Desarrollo de la innovación agroecológica por los campesinos cubanos. *Agricultura Orgánica* 14 (1): 33-36.



ESTUDIOS DE CASO

ANÁLISIS AGROENERGÉTICO DE TIPOLOGÍAS AGRÍCOLAS EN LA PALMA

Maikel Márquez, Nelson Valdés, Ernesto M. Ferro, Iván Paneque, Yoan Rodríguez, Eliecer Chirino, Luis M. Gómez

FACULTAD DE AGRONOMÍA DE MONTAÑA, UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO

Dania Vargas

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, MAYABEQUE

Fernando R. Funes-Monzote

ESTACIÓN EXPERIMENTAL INDIO HATUEY, UNIVERSIDAD DE MATANZAS

La región más occidental de Cuba es la que con mayor frecuencia recibe los embates de fenómenos climáticos extremos como huracanes, que en el último decenio han ganado intensidad debido a la agudización del cambio climático.¹ Los daños ocasionados tanto a infraestructuras como a la producción agropecuaria han sido devastadores.

El municipio La Palma se encuentra ubicado en la región noroccidental del país y pertenece a la provincia Pinar del Río. Los patrones de transferencia tecnológica y transculturación agrícola que más han caracterizado la forma de producir la tierra en la localidad han sido: a) el empleo del saber local ancestral legado de generación en generación, b) la adopción del tabaco como cultivo principal y el uso de maquinaria y agroquímicos con paquetes tecnológicos que luego se transfirieron a otros cultivos, según el modelo de la Revolución Verde, entre los años setenta y ochenta del siglo pasado, y c) el emergente y forzado enfoque de producción agroecológica durante las dos últimas décadas, debido a la escasez de insumos externos.

Los cambios tecnológicos y socioeconómicos recientes han requerido de la adopción de modelos de disseminación de conocimientos, aprendizaje de prácticas y métodos de cultivo y manejo animal, así como de nuevas metodologías de investigación. En la localidad se han destacado tres programas agropecuarios: el Movimiento Agroecológico de Campesino a Campesino (MACAC) de la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP), el Programa Nacional de Agricultura Urbana y Suburbana, y el Programa de Innovación Agropecuaria Local (PIAL).

¹ ONE, 2010. Territorio y medio ambiente. En: Anuario Estadístico de Cuba. p. 21. Disponible en <http://www.one.cu>.

Los sistemas agrícolas locales han respondido de forma diferente ante los efectos negativos del cambio climático, y al mismo tiempo contribuyen de diversas maneras a mitigar y adaptarse a este fenómeno. Sin embargo, no se conoce con precisión en qué medida y forma han ocurrido estos procesos. En Cuba se ha comenzado a incentivar el empleo de prácticas amigables con el medioambiente, como la conservación de suelos y el pago a los propietarios de plantaciones forestales a través del Fondo Nacional de Desarrollo Forestal (FONADEF), pero aún se ha avanzado poco en reconocer el impacto positivo que han tenido las fincas diversificadas.

El estudio de los principales factores que contribuyen a la mitigación y adaptación al cambio climático es clave para entender cómo un determinado sistema agrícola puede incidir positiva o negativamente en el ecosistema y, a la vez, ser resiliente a tales cambios en las condiciones climáticas locales y globales. Esta investigación pretende identificar los principales factores de éxito en fincas con enfoque ecológico en cuanto a la adaptación y mitigación del cambio climático, a la seguridad alimentaria y nutricional. Las evidencias aquí descritas podrían contribuir a identificar tipos de incentivos, así como mecanismos de evaluación, certificación y pagos por servicios ambientales, que reconozcan la labor de las fincas ecológicas en la soberanía alimentaria y la preservación del medioambiente, acordes con los propósitos políticos y la misión actual de la producción agropecuaria en Cuba.

Metodología de estudio

La investigación se realizó en La Palma entre 2007 y 2009. Este municipio se caracteriza por presentar ecosistemas muy contrastantes, desde zonas costeras con escaso régimen de precipitaciones y baja altura sobre el nivel del mar, hasta valles intramontanos con microclimas diversos de una región a otra y alturas de hasta 142 msnm. Los habitantes de la zona poseen una amplia cultura agrícola, y el acceso a sus fincas es relativamente difícil, por estrechos caminos entre las pendientes de las elevaciones de la Sierra de los Órganos.

Tipologías de producción

En La Palma coexisten actualmente al menos tres formas de uso y manejo de sistemas (tipologías): Sistemas Convencionales (SC), Sistemas Tradicionales (ST) y Sistemas de corte Ecológico (SE). Los tipos fueron identificados de acuerdo con elementos específicos de manejo de ecosistemas: reciclaje de nutrientes, empleo de la energía en el proceso de producción, grado de acceso a tecnologías limpias, conservación de los suelos, programas de capacitación y

asistencia técnica, manejo de la agrobiodiversidad y utilización de insumos externos.

- Convencional: Utiliza altos insumos externos (combustibles, agroquímicos y mano de obra) y maquinarias; escasa diversidad de la producción (monocultivo) y poco aprovechamiento de residuales.
- Tradicional: Desarrollado localmente durante muchos años a través de la experiencia empírica y la experimentación campesina. Cambio del cultivo principal en dependencia del mercado. El uso de agroquímicos y maquinarias no sigue patrones fijos, depende de la gestión propia. Aunque no son totalmente productores convencionales, tampoco realizan prácticas agroecológicas conscientes.
- Ecológico: Adopta prácticas amigables con el medioambiente, como conservación de suelos, alta agrobiodiversidad, manejo ecológico de plagas y enfermedades, aprovechamiento de residuos de cosechas y del hogar. Cuentan con asistencia técnica y un comportamiento más regular en cuanto a las rotaciones de cultivos y buen aprovechamiento del espacio disponible.

Selección, monitoreo y análisis de fincas

Se definieron los principales sistemas de producción agrícola (tipos) siguiendo las definiciones encontradas en la literatura que se ajustaron a las condiciones del área de estudio. Posteriormente, se realizó una encuesta (tabla 1) para determinar qué prácticas se emplean en cada proceso de producción con el fin de tomar en consideración variables comunes y diferentes que podrían utilizarse para diferenciar los sistemas de producción utilizando el manual de buenas prácticas de la FAO.

Se eligieron 60 fincas al azar, 20 para cada tipo de producción (tabla 2). Se determinaron los principales indicadores para evaluar la eficiencia energética de los ecosistemas agroproductivos utilizando la metodología propuesta por Funes-Monzote et al., así como el software Energía, versión 3.01.² Se realizaron encuestas, entrevistas, mediciones de campo, valoraciones del potencial proteico y energético de las producciones de las fincas, así como los insumos invertidos y las labores de cultivos. Además, se caracterizaron las principales prácticas agroecológicas de cada tipo, su agrobiodiversidad y las rotaciones de cultivos empleadas.

² F.R. Funes-Monzote, D. Pérez, J. Castro, N. Valdés, Y. Rodríguez y A.L. Gonçalves, 2009. Energía 3.01. Sistema computarizado para el cálculo de los indicadores de eficiencia energética. Manual del usuario. CEDECO-INCA-EEPF Indio Hatuey. 58 p.

Tabla 1. Principales preguntas de la encuesta para caracterizar los tipos de fincas

Pregunta	Convencional	Tradicional	Ecológico
¿Cuáles son las principales prácticas agrícolas?	Monocultivo, uniformar los agroecosistemas con maquinaria y químicos	Métodos que empleaban sus padres	Rotación de cultivo, trazado de curvas de nivel y manejo de la diversidad
¿Qué cantidad de productos químicos utiliza?	La establecida por los paquetes tecnológicos del cultivo principal	Los que consiga	Ninguno
¿Qué número de variedades por especie agrícola mantiene?	Una o dos	Experimento para quedarme con la mejor	Más de cuatro
¿Emplea algún sistema de riego?	Sí	Si es posible	No
¿Emplea maquinaria en la labranza del suelo?	En el área que el relieve lo permita	En el área que el relieve lo permita	No
¿Cómo controla las malezas y plagas?	Con químicos y marcos de tejanía establecidos para cultivos que compartan plagas	Con los productos químicos, biológicos y métodos aprendidos de sus padres	Con medios biológicos y manejo de la diversidad
¿A qué forma de organización está asociado?	CPA, CCS, UBPC, GENT	CCS y campesinos independientes	CCS
¿Asiste a algún tipo de capacitación?	No	Experiencia empírica	Sí
¿Qué cultivos prioriza en la finca?	El establecido por las autoridades agrícolas y el sector al que pertenece	El que mejor precio y demanda tenga en el mercado local	El que responda a las condiciones de la finca
¿Cómo aprovecha los restos de cosecha y residuos del hogar?	Quema, que pudran fuera del espacio cultivable	Quema, reincorporación al área de siembra	Compostaje, lombricultura, biodigestores
¿Si aparecieran insumos químicos externos los utilizaría o seguiría utilizando?	Sí	Sí	Sí
¿Qué asistencia técnica accede a usted?	Técnicos y extensionistas	Ninguna	INCA, universidad, técnicos y extensionistas
¿Cuál es el origen de las semillas que utiliza?	Gran porcentaje se compran en casa de semillas	Producción propia	Bancos personales y locales de semillas

Tabla 2. Fincas participantes en el estudio por tipo

Tipo	Nombre	Área (ha)	Entidad
Convencional	Área 11 de plátano	13,5	UBPC Miriam
	Área 13 de plátano	9,1	UBPC Miriam
	Área 17 de plátano	3,2	UBPC Miriam
	Área de café (Caiguanabo)	53,1	UBPC El llano
	Área de café (La Cidra)	39,5	UBPC El llano
	Área de tabaco	18,8	CPA José Martí
	Luis Díaz	8,1	CCSf Francisco Cruz
	Lázaro Valdez Pimentel	10,7	CPA Augusto César Sandino
	Andrés Malagón Cruz	8,0	CCSf Jesús Suárez Soca
	Melchor Rivera	21,0	CPA Augusto César Sandino
	Pounciano Rivero Cairo	7,5	CPA Augusto César Sandino
	Gerardo Rivero Díaz	9,5	Agricultor independiente
	Marcos Hernández Milián	5,8	CCSf Francisco Cruz
	Alejandro Villarreal Toledo	7,9	CCSf Francisco Cruz
	Pedro M. Sánchez	7,9	CCSf José A. Echeverría
	Guillermo Chávez Pérez	7,9	CCSf Joaquín Pérez
	Ariel Pérez Chirino	6,7	CCSf José A. Echeverría
	Yosvany Basanta Díaz	13,4	CCSf Froilán Carrasco
	Zenén Martínez Cairo	10,7	CCSf Ignacio Agramonte
Tradicional	Justo Rivero Pimentel	11,0	CCSf Jesús Suárez Soca
	Francisco Gallardo Martín	5,2	CCSf Jesús Suárez Soca
	Orestes Pérez Jiménez	15,2	CCSf Jesús Suárez Soca
	Pedro A. García Rodríguez	5,4	CCSf Jesús Suárez Soca
	Pedro Borja	5,4	CCSf Ignacio Agramonte
	Exiquio Pimentel Echevarría	0,5	CCSf Ignacio Agramonte
	Iraldo Pimentel Echevarría	2,7	CCSf Ignacio Agramonte
	Eulogio Fernández	12,8	CCSf Antero Fernández
	Julio Suárez	8,1	CCSf Antonio Maceo
	Erick Cruz Suárez	2,4	CCSf Antonio Maceo
	Gilberto Toro Tejada	2,7	CCSf Joaquín Pérez
	Juan Martínez Delgado	18,0	CCSf Froilán Carrasco
	Bartolo Martínez Álvarez	9,8	CCSf Froilán Carrasco
	Oscar Rodríguez Lazo	7,9	CCSf Jesús Suárez Soca
	Moisés Pérez Castillo	5,4	CCSf Froilán Carrasco
	José Tomás Hernández	7,9	CCSf Antonio Maceo
	Ismael Reyes Álvarez	5,0	CCSf José A. Echeverría
	Manuel Portales Portales	13,4	CCSf José A. Echeverría
	Casimiro Ramos Rodríguez	11,1	CCSf Ignacio Agramonte
Gilberto Pérez Robaina	10,7	CCSf José A. Echeverría	

Tabla 2. Fincas participantes en el estudio por tipo (cont.)

Tipo	Nombre	Área (ha)	Entidad
Ecológico	Agustín Pimentel Navarro	2,7	CCSf Ignacio Agramonte
	Abel Pimentel Palomino	5,4	CCSf Ignacio Agramonte
	Jesús González Rodríguez	12,0	CCSf Francisco Cruz
	Jesús Pimentel Domínguez	9,4	CCSf Francisco Cruz
	Lázaro Pimentel Soca	2,7	CCSf Ignacio Agramonte
	Lorenzo Malagón Díaz	8,0	CCSf Jesús Suárez Soca
	Mario Toledo Suárez	5,7	CCSf Ignacio Agramonte
	Mario García Cruz	6,7	CCSf Jesús Suárez Soca
	Santiago Piñeiro Soca	16,0	CCSf José A. Echeverría
	Felipe Rabelo Toledo	10,7	CCSf Francisco Cruz
	Andrés Aldás Medero	13,4	CCSf Pedro Lantigua
	Andrés Tejeda Bello	9,5	CCSf Rigoberto Abreu
	Ángel Mederos Aldás	2,7	CCSf Rigoberto Abreu
	Bestina Mederos Aldás	8,0	CCSf Rigoberto Abreu
	César Sánchez Tejeda	2,7	CCCf Froilán Carrasco
	Félix Mederos Pérez	10,7	CCSf Rigoberto Abreu
	Pedro Felipe González	10,8	CCSf Pedro Lantigua
	Silvia Hernández Martínez	8,8	CCSf Pedro Lantigua
	Vicente Mederos Mederos	8,0	CCSf Pedro Lantigua
	Tomás Placencia	1,7	Agricultor independiente

Se utilizaron los paquetes estadísticos SPSS y Estadística 6.1 con el objetivo de realizar análisis de correlación y análisis de varianza, y el software Biodiversity para análisis de diversidad. También se emplearon hojas de cálculo de Microsoft Excel para almacenar datos y resultados.

La investigación se complementó con los resultados de una encuesta que trató elementos de capital social a partir de preguntas relacionadas con el bienestar de las comunidades rurales y en la que se evaluaron cuestiones de medioambiente, producción y condiciones de vida. El estudio se realizó en el marco del proyecto A/023726/09, financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).

Fuentes de energía directa e indirecta

Teniendo en cuenta tanto la energía directa como la indirecta que se consume en la producción del cultivo (ecuaciones 1, 2 y 3), se determinó el consumo

energético mediante la metodología propuesta por Bowers,³ La energía directa es aquella que está contenida en los insumos directos, como combustible, electricidad, fertilizantes, pesticidas, abonos orgánicos y productos biológicos. Se considera como energía indirecta la que se asocia a los procesos de fabricación, distribución y mantenimiento; por ejemplo, la energía necesaria para obtener el combustible a partir del petróleo crudo, así como la que se requiere para la fabricación de los pesticidas, y de la maquinaria que se amortiza en el tiempo.

La energía indirecta es la que se emplea en la obtención de los materiales empleados en la construcción de los equipos mecánicos y en sus procesos de fabricación, la que se usa en su transporte desde el lugar de fabricación hasta el destino, la que se consume en reparación y mantenimiento, así como la de la mano de obra necesaria para operarla teniendo en cuenta su capacidad de trabajo.

Energía directa (E_d)

a) Energía asociada al consumo de combustible (E_{dc}) (MJ/ha)

$$E_{dc} = C_c * E_{eg} \quad \text{Ec. 1}$$

donde: C_c es el consumo de combustible (l/ha), E_{eg} es el equivalente energético del gasóleo (41 MJ/l).⁴

b) Energía asociada a la mano de obra empleada (E_{dh}) (MJ/ha)

$$E_{dh} = \frac{E_h n_{ob}}{C_{tob}} \quad \text{Ec. 2}$$

donde: E_h es el equivalente energético del trabajo humano (1,96 MJ/h para el hombre y 1,57 MJ/h para la mujer);⁵ n_{ob} es la cantidad de obreros que participan en una determinada labor y C_{tob} , la capacidad de trabajo de los obreros agrícolas (ha/h).

³ W. Bowers, 1992. Agricultural field equipment. En: Fluck, R.C. (ed.), Energy in World Agriculture. Energy in Farm Production, vol. 6. Elsevier, Amsterdam, pp. 117-129.

⁴ C. Saunders, A. Barber, G. Taylor, 2006. Food Miles – Comparative Energy/Emissions Performance of New Zealand's Agriculture Industry. The Agribusiness and Economics Research Unit (AERU). Lincoln University. Disponible en: <http://www.lincoln.ac.nz/story/9430.html>. Consultado en marzo de 2009.

⁵ K.G. Mandal, K.P. Saha, P.K. Ghosh, K.M. Hati, K.K. Bandyopadhyay, 2002. Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. Biomass and Bioenergy 23: 337-345.

c) Energía asociada a los animales utilizados en labores de tiro (E_{da}) (MJ/ha)

$$E_{da} = \frac{E_a n_a}{C_{ta}} \quad \text{Ec. 3}$$

donde: E_a es el equivalente energético del trabajo animal (5,05 MJ/h);⁶ n_a es la cantidad de animales que participan en una determinada labor; C_{ta} , la capacidad de trabajo de los animales (ha/h).

Se realizó un balance energético anual, tomando en cuenta el costo energético que implicó producir la energía alimentaria (Ec. 4).

$$BE = \frac{\sum_{i=1}^S m_i * e_i}{\sum_{j=1}^T I_j * f_j} \quad \text{Ec. 4}$$

donde: S = número de productos; m_i = producción de cada producto (kg); e_i = contenido energético de cada producto (MJ/kg); T = número de insumos productivos; I_j = cantidad de insumos productivos (kg); f_j = energía requerida para la producción del insumo (MJ/kg).

Agrobiodiversidad

Se contempló como diversidad agrícola a todas las especies vegetales que fueran objeto de cultivo por parte de los productores, es decir, solo aquellas que tuviesen una intención productiva o de mercado, tomando el criterio de que todas desempeñan un papel desde el punto de vista económico y ecológico en la regulación del ecosistema.⁷

La medida de heterogeneidad de Shannon (H') relaciona la proporcionalidad del número de individuos de cada especie respecto al total de la muestra.⁸ Este índice adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S, cuando todas las especies están representadas por el

⁶ B. Ozkan, H. Akcaoz, C. Fert, 2003. Energy input-ouput in Turkish agriculture. University of Akdeniz, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, Turkey. Renewable Energy 29: 39-51.

⁷ Cf. M. Márquez, 2009. Impacto del Fitomejoramiento Participativo (FP) como parte de la innovación agropecuaria local por difusión de diversidad genética en sectores agrícolas de la provincia Pinar del Río. Cultivos Tropicales 30 (2):,15-18.

⁸ A. Magurran, 1989. Diversidad ecológica y su medición. Ediciones Vedra, Barcelona, España. 200 p.

mismo número de individuos. Si asumimos que S es el número de productos, la producción en kilogramos de cada cultivo como p_i y la producción total como P, estaríamos en condiciones de calcular la diversidad de la producción (H_s), que correlacionada con el balance energético de cada finca brindaría elementos suficientes para inferir la relación entre el índice de diversidad de la producción y el funcionamiento energético del ecosistema.

$$H_s = - \sum_{i=1}^S \frac{p_i}{P} * \ln \left(\frac{p_i}{P} \right) \quad \text{Ec. 5}$$

Como la diversidad de especies agrícolas resulta baja para todas las fincas, se decidió que ella no constituyera un elemento a correlacionar con el balance energético. Teniendo en cuenta que la oferta en cuanto a diversidad de variedades era muy limitada,⁹ la mayor diversidad que ha entrado en los ecosistemas palmeros en los últimos diez años es varietal. El número de variedades promedio por cultivo constituye entonces una herramienta eficaz para verificar su influencia sobre el funcionamiento energético del ecosistema.

Los contenidos de energía y proteína de productos de origen animal y vegetal para los cálculos fueron tomados de Gebhardt et al.¹⁰ Las equivalencias energéticas utilizadas para calcular los gastos en insumos directos e indirectos fueron las reportadas por García-Trujillo.¹¹ Los valores de consumo de energía y proteína por día recomendados para la población cubana fueron los descritos por Porrata et al.¹²

a) Cantidad de personas que alimenta el sistema (energía):

$$P_e = \frac{\sum_{i=1}^S \frac{m_i * \frac{r_i}{100} * e_i}{A}}{R_e} \quad \text{Ec. 6}$$

⁹ R. Vernooy, 2007, Semillas nuevas, viejos marcos institucionales: retos para la innovación rural. LEISA. Revista de Agroecología 23 (2): 12-13.

¹⁰ S.E. Gebhardt, P.R. Pehrsson, R.L. Cutrufelli, L.E. Lemar, J.C. Howe, D.B. Haytowitz, M.S. Nickle, G.T. Holcomb, B.A. Showell, R.G. Thomas, J. Exler y J.M. Holden, 2007. USDA national nutrient database for standard reference. Release 20. USDA National Nutrient Database for Standard Reference. Disponible en: www.ars.udsda.gov/nutrientdata.

¹¹ R. García Trujillo, 1996. Los animales en los sistemas agroecológicos. Asociación Cubana de Agricultura Orgánica. La Habana, Cuba. 100 p.

¹² C. Porrata, M. Hernández y J.M. Argüeyes, 1996. Recomendaciones nutricionales y guías de alimentación para la población cubana. Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos. La Habana, Cuba. 40 p.

donde: S = número de productos; m_i = producción de cada producto (kg); r_i = porcentaje del peso de producto consumible; e_i = contenido energético de cada producto (MJ); A = área de la finca (ha); R_e = requerimiento de una persona (MJ/año).

b) Cantidad de personas que alimenta el sistema (proteína):

$$P_p = \frac{\sum_{i=1}^S m_i * \frac{r_i}{100} * \frac{P_i}{100}}{R_p} \quad \text{Ec. 7}$$

donde: S = número de productos; m_i = producción de cada producto (kg); r_i = porcentaje del peso de producto consumible; p_i = contenido proteico de cada producto (g/100g); A = área de la finca (ha); R_p = requerimiento de una persona (kg/año). Además, se evaluó el índice de utilización de la tierra (IUT) propuesto por Mead y Willey.¹³

$$IUT_S = \sum_{i=1}^S \frac{P_i}{M_i} \quad \text{Ec. 8}$$

donde: S = número de productos; P_i = rendimiento del cultivo (i) en policultivo; m_i = rendimiento del cultivo (i) en monocultivo.

El IUT compara los rendimientos de dos o más cultivos sometidos a técnicas de policultivos con los rendimientos en monocultivo.¹⁴ Esencialmente, el IUT expresa los efectos benéficos o negativos de la interacción entre los cultivos. En esta investigación se comparó el rendimiento de cada cultivo con el rendimiento promedio de la localidad en monocultivo. De esta forma, se pudo definir cuál de los tipos de producción aprovechó con mayor eficiencia el área cultivada en el predio.

Resultados y discusión

Análisis energético

El análisis energético ha pretendido superar la disociación entre la teoría económica y el estudio de los procesos naturales, para poder analizar correc-

¹³ R. Mead y R.W. Willey, 1980. The concept of a "Land Equivalent Ratio" and advantages in yields from intercropping. *Exper. Agr.* 16: 217-228.

¹⁴ Ver S. Kantor, 1999. Comparing yields with Land Equivalent Ratio (LER). *Agricultural and Natural Resources. Fact Sheet 532 (206): 205-310, 711(TTY)* Disponible en: <http://www.metrokc.gov/wsuc>.

tamente algunos de los aspectos de la crisis ecológica.¹⁵ Mientras, la comunidad científica cuenta con pocas valoraciones de referencia en cuanto a la contribución de las fincas orgánicas a la emisión de gases de efecto invernadero y su eficiencia energética. Uno de los indicadores evaluados fue la relación o balance energético de las fincas de cada tipo. Los resultados mostraron una diferencia significativa del 95% entre las fincas de corte ecológico y tradicional con las fincas convencionales (figura 1).

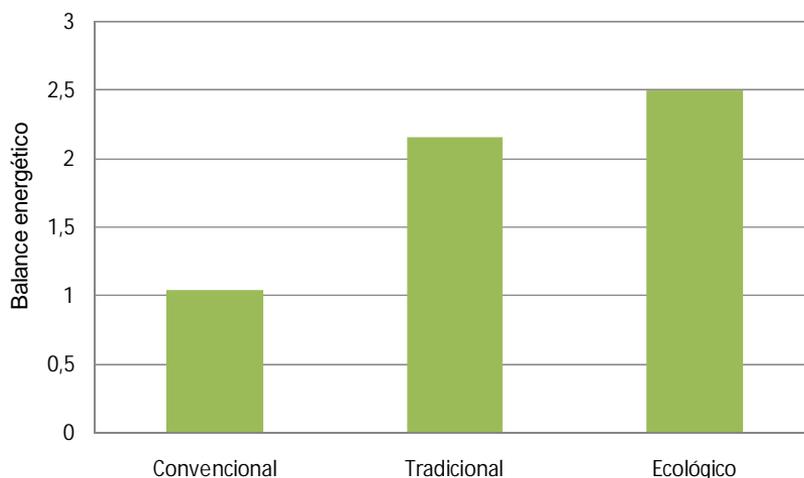


Figura 1: Balance energético por tipo de fincas en estudio (2007-2009)

El bajo balance energético promedio de las fincas convencionales se debió, en esencia, a que su consumo energético es significativamente superior al de las tradicionales y ecológicas. Es conocido que la agricultura moderna derivada de la Revolución Verde es un caso muy particular de alto uso de energía;¹⁶ sin embargo, es necesario seguir demostrando cómo esto repercute en el cambio climático, los subsidios energéticos que necesita este tipo de producción, así como el daño ambiental que ocasionan.

No es casualidad que en las fincas de corte convencional la mayor extensión del predio se dedique a un solo tipo de cultivo permanente, como puede ser tabaco, café o plátano, o de rotación (tabaco-maíz). Estos reciben atención especial del nivel superior del Ministerio de la Agricultura (MINAG)

¹⁵ Véase A. Puntí, 1982. Balance energético y costo ecológico de la agricultura española, agricultura y sociedad. Secretaría General Técnica de Ministerio de Agricultura, Madrid.

¹⁶ J. Olesen, 2004. FarmGHG A model for estimating greenhouse gas emissions from livestock farms. Dinamarca. Danish Institute of Agricultural Sciences. Disponible en: http://www.agrsci.dk/media/webdav/filer/jpm/plant__1/jeo/farmghg. Consultado en junio 2008.

por tratarse de programas priorizados de la agricultura nacional. Los productores de estos cultivos deben aplicar paquetes tecnológicos normados que incluyen agroquímicos, combustible e irrigación con el objetivo de incrementar la productividad. Sin embargo, esto provoca un desbalance en la relación energética de la finca que también repercute en su situación económica.

El país atraviesa una de las peores crisis económicas de su historia. Esta es una de las razones que ha limitado que se destinen incentivos (pagos o créditos) para estimular a productores que apuestan por la agroecología, a pesar de haber demostrado ser más eficientes en el uso de los recursos energéticos y materiales disponibles. Por otro lado, la bonificación de 0,18 CUC por quintal en capacidad de compra en divisa, que entró en vigor a partir de 2008 para estimular a los productores¹⁷, atentó directamente contra los proyectos agroecológicos que no son remunerados.

La crisis económica del país y las medidas adoptadas en el sector agrícola para menguar sus consecuencias y reducir importaciones, contrasta con el pobre desempeño energético de los agroecosistemas y la lenta velocidad de adopción de tecnologías limpias y modelos de producción con baja utilización de subsidios energéticos externos.

Relación entre diversidad y balance energético

La agrobiodiversidad es uno de los aspectos de la intensificación agrícola que recibe menos atención de la merecida. Muchas de las prácticas agrícolas tradicionales se basan en el reconocimiento del papel de la diversidad, sin embargo, el enfoque convencional de la teoría ecológica no solo ha propiciado la simplificación de los agroecosistemas, sino también la crisis contemporánea de la agrobiodiversidad.¹⁸ Vandermeer y Perfecto agregan que quienes desarrollan actividades en agroecosistemas se preocupan por la agrobiodiversidad solo cuando su función en la productividad es obvia. Sin embargo, se conoce que esta realiza servicios ecológicos que influyen en la estabilidad y resiliencia de los sistemas agrícolas, una de las razones más importantes para mantenerla y estimularla.¹⁹

¹⁷ E.F. Freyre y M. Chan, 2010. Atando cabos. La agricultura cubana: contratiempos, reajustes y desafíos. 93 p. Disponible en http://www.landaction.org/.../ATANDOCABOSver201004Nov_originalSpanish.pdf

¹⁸ J. Vandermeer e I. Perfecto, 2000. La biodiversidad en el manejo de plagas en sistemas agroforestales. Revista Manejo de Plagas. Disponible en: <http://web.catie.ac.cr/informacion/rmip/rmip55/art1-a.htm>.

¹⁹ M.A. Altieri, 1999. The ecological role of Biodiversity in Agroecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment 74: 19-31.

Debido a la intensificación agrícola promovida desde los años setenta en la zona, cuando todos los agroecosistemas tendieron a uniformarse y a emplear altos insumos externos y maquinaria para amortiguar la baja fertilidad de los suelos y las sequías prolongadas, disminuyó drásticamente la estructura varietal de los cultivos.

El análisis de la agrobiodiversidad en los diferentes tipos estudiados, mostró que en las fincas de corte ecológico el índice de diversidad intraespecífica (riqueza varietal) es mucho mayor que en las tradicionales y convencionales (figura 2). Antes de la intervención del proyecto PIAL en la localidad, todas las fincas poseían alrededor de una o dos variedades por especie.²⁰ La diferencia con la situación actual muestra la efectividad de los programas de capacitación e intercambio entre diferentes actores en cuanto a la diseminación de la agrobiodiversidad.

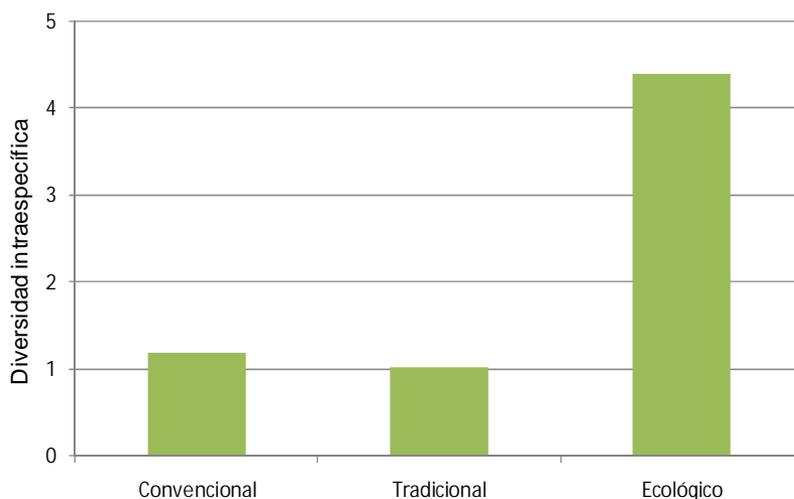


Figura 2. Índice de diversidad intraespecífica por tipos de finca (2007-2009)

El limitado número de fincas estudiadas y los indicadores seleccionados no resultan suficientes para demostrar en mayor medida la contribución de la agrobiodiversidad a la regulación biótica y el aumento de la resiliencia ante fenómenos ambientales extremos como los huracanes. Lo que sí podría

²⁰ R. Acosta, H. Ríos, G. Verde y D. Pomagualli, 2003. Evaluación morfoagronómica de la diversidad genética de variedades locales de maíz (*Zea mays*. L) en La Palma, Pinar del Río. *Cultivos Tropicales* 24 (4): 61-67; I. Moreno, H. Ríos y C. Almekinder, 2003. Caracterización de los sistemas locales de arroz en el municipio La Palma, Pinar del Río. *Cultivos Tropicales* 24 (4): 49-54; y M. Márquez, 2009. Ob. cit. en nota 7.

inferirse es que el incremento de la agrobiodiversidad promueve una mayor funcionalidad de sus componentes y permite elevar los rendimientos.²¹

Para comprender la relación entre el índice de diversidad y el balance energético de cada uno de los tipos evaluados, se realizó un análisis de correlación entre las dos variables. Los resultados del modelo estadístico utilizado (correlación lineal simple) mostraron una correlación de 0,2507. Este valor es significativo para el 95%, lo que confirma que existe una estrecha relación entre el número de variedades promedio por especie y el balance energético de los agroecosistemas en estudio. En la medida en que se maneje la diversidad intraespecífica en la finca, puede esperarse que su funcionalidad tenga mayor impacto económico y ecológico.

Las fincas pequeñas y medianas, altamente diversificadas, heterogéneas y complejas, han demostrado que pueden alcanzar niveles de eficiencia productiva y de recursos más elevados que los sistemas especializados de cultivo y ganaderos a mayor escala gestionados centralizadamente.²² Sin embargo, no podríamos asegurar que una finca más pequeña y diversificada tendría una mayor productividad, sino aquella que alcance mayor funcionalidad de la agrobiodiversidad y logre así mejores interacciones sinérgicas en beneficio de la productividad del sistema y la protección del ambiente.

Diversidad de la producción

El análisis de varianza arrojó que no existe diferencia significativa entre los tipos en cuanto a diversidad de la producción. Esto evidenció que el número de variedades y especies manejadas en la finca no constituye un factor determinante de su productividad energética, sino para incrementar la eficiencia de la producción. Aún así, la distribución espacial de cada especie, la época en que se cultive, el conocimiento del aporte nutricional y los requerimientos humanos o animales, son factores que deben considerarse para diseñar modelos de producción con enfoques ecológicos y de autosuficiencia alimentaria.

Utilización de la tierra

Entre las principales limitaciones de los productores de la zona está el área disponible para cultivar. El área total de las fincas es pequeña, si tenemos en

²¹ F.R. Funes-Monzote, M. Monzote, E.A. Lantinga, C.J.F. Ter Braak, J.E. Sánchez y H. van Keulen, 2009. Agro-Ecological Indicators (AEIs) for dairy and mixed farming systems classification: Identifying alternatives for the Cuban livestock sector. *Journal of Sustainable Agriculture* 33 (4): 435-460. DOI: 10.1080/10440040902835118

²² Idem.

cuenta que las condiciones de relieve no siempre son óptimas y el área de producción se reduce porque la mayoría de los productores vive dentro del predio. Por ello se hace imprescindible lograr la máxima utilización y eficiencia del terreno disponible.

El resultado del IUT mostró valores por encima de 1 para los tres tipos, a pesar de ser diferentes en la forma de utilización de la energía, la agrobiodiversidad funcional y el conocimiento del calendario agrícola. El uso de rotaciones e intercalamiento de cultivos permitió un empleo más racional del área disponible en el tiempo y el espacio. Las fincas de corte ecológico mostraron un IUT mucho mayor que las tradicionales y convencionales (figura 3).

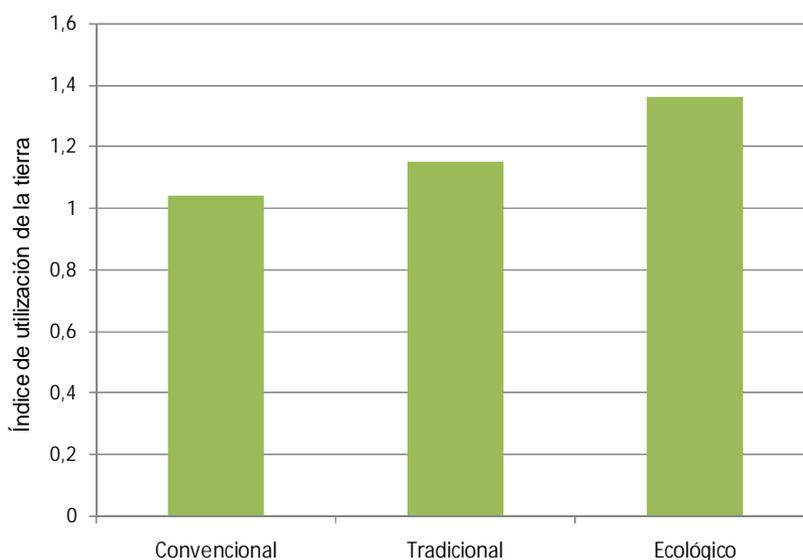


Figura 3. Índice de utilización de la tierra para cada tipo en estudio (2007-2009)

El IUT constituye una herramienta eficaz para revelar las ventajas o desventajas de la diversificación en el aprovechamiento del suelo. Sin embargo, la clave está en conocer bajo qué condiciones se desarrolla el manejo de la finca y contar con información que permita conocer el estado de nutrición del suelo para evitar su sobreexplotación.

Las fincas de corte ecológico, además de utilizar de forma más eficiente el área disponible, son las que mayor cantidad de materia orgánica y medidas de conservación de suelos aplican, por lo que se espera que la productividad del terreno sea más estable en el tiempo. Esto garantizará un adecuado nivel de seguridad alimentaria y nutricional, así como la recuperación de las fincas al ser afectadas por fenómenos extremos.

Personas que alimenta la finca desde el punto de vista energético

Existe consenso internacional en cuanto a que el crecimiento acelerado de la población mundial es una de las principales limitantes para suplir la demanda de alimentos, fibras y otros productos agrícolas a una población que exigirá mayor acceso a los bienes y servicios. Por tanto, la explosión demográfica es una de las grandes preocupaciones ambientales que enfrenta el siglo XXI.

En regiones donde el acceso al mercado es limitado y los ingresos son insuficientes, la diversificación de la producción de alimentos es una estrategia importante para suplir la demanda familiar y de los mercados locales. El concepto de sostenibilidad que se maneja mayormente en la producción agrícola cubana se refiere a la sostenibilidad económica, y coloca en segundo plano la sostenibilidad ecológica de los agroecosistemas. Sin embargo, estas valoraciones económicas no logran captar otras dimensiones relevantes en la producción agropecuaria, como la capacidad de los agroecosistemas para suplir los requerimientos nutricionales de las personas de manera sostenible en el tiempo y su resiliencia a eventos climáticos extremos.

Un análisis de la producción energética de cada tipo evaluado que tomó en consideración los requerimientos energéticos de una persona bajo nuestras condiciones, mostró que las fincas de corte ecológico son capaces de alimentar a 4,7 personas por hectárea por año, mientras que las fincas de corte convencional 2,7. Las fincas de corte tradicional no guardan diferencia significativa con las demás, pero sí existe diferencia significativa del 95% entre las ecológicas y las convencionales (tabla 3).

Al conocer los principales cultivos empleados por las fincas de cada tipo, se puede inferir que una de las causas que condicionan la escasa disponibilidad de energía alimentaria en las convencionales es que estas destinan gran parte de su área a la producción de cultivos de bajo contenido energético. Tal es el caso del tabaco, que en la mayoría de estas fincas se puede clasificar como un monocultivo alternado con el maíz, pues es la única rotación en ese espacio.

Si tenemos en cuenta que este cultivo está acompañado de un paquete tecnológico abundante en pesticidas, fertilizantes, combustible, maquinaria y alta intensidad de la fuerza de trabajo humano por la complejidad de las prácticas de cultivos que exige, se agudiza más la situación, lo que también influye en el balance energético de la finca. El trabajo empleado, la alta intensidad energética y el impacto ambiental negativo, aparentemente se justifican por el valor de este producto en los mercados internacionales; sin embargo, en términos ecológicos, de desarrollo rural e incluso de salud humana, merece una discusión a profundidad.

Tabla 3. Cantidad de personas que alimenta cada tipo de finca desde el punto de vista energético y proteico

Tipo	Energía (personas/ha/año)	Proteína (personas/ha/año)
Convencional	2,7	3,3
Tradicional	4,3	5,8
Ecológico	4,7	7,2

Personas que alimenta desde el punto de vista proteico

Para buscar modelos de desarrollo más justos desde el punto de vista alimentario y teniendo en cuenta la importancia de las proteínas en la alimentación humana, se analizó la capacidad de cada tipo de finca para suplir los requerimientos proteicos de una persona por hectárea por año.

Los resultados mostraron una vez más que las fincas de corte ecológico tienen diferencias significativas con las convencionales. Las fincas ecológicas son capaces de suplir las necesidades proteicas de 7,2 personas por hectárea durante todo el año, mientras que en las de corte convencional esta cifra fue de 3,3 (tabla 3).

Comentarios finales

En una encuesta realizada en 2010 a 1500 productores del municipio La Palma, se constató que en cada finca u hogar del productor viven como promedio cinco personas. Si tenemos en cuenta que en el municipio los campesinos cultivan 14 384 ha de tierra, se estaría en condiciones de suplir las necesidades proteicas de 103 135 personas con solo redireccionar el enfoque agrícola de las fincas. Por lo tanto, La Palma tiene potencial para triplicar las producciones de proteínas que necesita la población local y, desde el punto de vista nutricional, puede ser autosuficiente e incluso tendría capacidad para exportar alimentos.

Las fincas tradicionales son un buen punto de partida para el cambio de enfoque hacia una producción más amigable con el medioambiente. Los programas de asistencia técnica y de capacitación jugarán un papel fundamental en este propósito. A pesar de los resultados obtenidos en este estudio, es preocupante que aún persista entre los productores de la localidad la mentalidad de emplear químicos y recurrir a las prácticas convencionales. En la citada encuesta, el 96% respondió afirmativamente a la pregunta de si estarían dispuestos a utilizar insumos químicos externos en el proceso de producción, aunque ellos no influirían sobre otros productores para que no los emplearan.

Resulta paradójico que reconozcan y perciban cambios en el ambiente adversos para la producción agrícola y, sin embargo, estén dispuestos a utilizar e incluso invertir en paquetes tecnológicos para aumentar las producciones.

Esta conducta pone en claro riesgo los logros de los programas de capacitación en materia de educación ambiental y agroecología. Además, prueba que la condicionante para que los productores hayan reenfocado su sistema de producción hacia perspectivas más amigables con el medioambiente, no ha estado ligada al convencimiento sobre las bondades de las prácticas agroecológicas, sino a la escasez de insumos. ¿Qué pasará si de pronto existe una apertura de acceso a paquetes tecnológicos basada en agroquímicos?

EVALUACIÓN AMBIENTAL Y AGROPRODUCTIVA EN FINCAS DE LA PALMA Y GIBARA

Dania Vargas, Sandra Miranda y Humberto Ríos

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, MAYABEQUE

En busca de soluciones a los efectos del cambio climático se ha fomentado en el mundo la aplicación de modelos alternativos para la producción de alimentos. Esta tendencia favorece el uso más racional de la energía, la no dependencia de insumos industriales, la conservación de la agrobiodiversidad y el empleo de manejos agroecológicos en las fincas en armonía con los ecosistemas.

Los datos con los que se analizan las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Cuba se basan en estadísticas a nivel nacional, lo que limita la búsqueda de soluciones locales y efectivas. El problema del calentamiento global y la agricultura no se vincula ni se analiza con un enfoque multidisciplinario y multisectorial, por lo que las estrategias de trabajo se centran en la adaptación y mitigación por sectores, y no con un enfoque holístico. De ahí la necesidad de definir indicadores para evaluar los sistemas agroproductivos que contribuyan a reducir las emisiones de GEI, que manejen la biodiversidad dentro de la finca y hagan un consumo racional de la energía externa. Este trabajo evalúa la relación que existe entre las prácticas agrícolas, el manejo de la diversidad y el calentamiento global en dos municipios de Cuba: La Palma, en la provincia de Pinar del Río, y Gibara, en la de Holguín.

Metodología

La investigación se realizó durante el año 2007 en 20 fincas de la porción norte de La Palma y 15 de la comunidad de Velasco, al oeste de Gibara. Todas las fincas incluidas en el estudio poseen áreas de pequeña a mediana, tienen una orientación fundamentalmente agrícola, con experiencia en el manejo de cultivos de ciclo corto y largo y con presencia de árboles en la finca. La metodología de trabajo se basó en los principios de la investigación-acción con la

participación de los agricultores en el proceso de estudio de sus fincas.¹ Se definieron cuatro etapas de trabajo:

Etapa I. Desarrollo de una visión concertada sobre los indicadores y herramientas que se emplearán para el estudio de las fincas

- Identificación participativa de indicadores claves ambientales y productivos.
- Diseño de herramientas para obtener la información primaria en las fincas.
- Selección de las fincas.

Etapa II. Trabajo de campo para la recopilación de la información primaria

- Aplicación de encuesta semiestructurada a la familia campesina.
- Evaluaciones de campo en las fincas.

Etapa III. Cálculo de indicadores ambientales y agroproductivos claves

- Agrodiversidad (inventario de especies, índices de Margalef y Shannon).
- Emisiones de GEI.
- Captura de carbono en biomasa arbórea.
- Carbono almacenado en suelos.
- Productividad agrícola.
- Eficiencia energética de las producciones de la finca.

Etapa IV. Caracterización agroproductiva y ambiental de los tipos de agroecosistemas

- Tipificación de los agroecosistemas de acuerdo con indicadores evaluados.

Se identificaron indicadores ambientales y agroproductivos, así como sus variables (tabla 1). La información primaria se obtuvo de forma general, a partir de las técnicas de muestreos de especies agrícolas en las parcelas de cultivos de ciclo corto y largo, y para todas las especies arbóreas presentes en la finca; así como muestreos y mediciones de las áreas en las parcelas cultiva-

¹ J.F. Muñoz, J. Quintero y R.A. Munévar, 2002. Experiencias en investigación-acción-reflexión con educadores en proceso de formación en Colombia. Revista Electrónica de Investigación Educativa 4 (1). Disponible en: <http://redie.uabc.mx/vol4no1/contenido-munevar.htm>

das. Se aplicó la encuesta semiestructurada para los datos generales de la finca, los manejos agrícolas e insumos y las producciones agrícolas obtenidas por cultivo en un año. También se hicieron entrevistas directas a los agricultores con el objetivo de triangular la información obtenida, y se tuvo acceso a los registros personales de gastos, inversiones y producciones de cada finca.

Tabla 1. Variables por cada indicador identificado

Indicadores	VARIABLES
Ambientales	
Diversidad de cultivos y especies arbóreas	Número de especies de cultivos temporales en la finca
	Área de cada cultivo
	Número de especies arbóreas en la finca
	Número de individuos por especie
Emisiones de GEI	Cantidad de fertilizante químico
	Cantidad de residuos de cosecha incorporados al suelo
	Áreas de arroz bajo aniego permanente, intermitente o de secano
Captura de carbono en biomasa arbórea	Número de especies arbóreas presentes en la finca
	Número de individuos por especie
	Altura de la planta
	Perímetro del tronco a 1,2 m de altura
Carbono retenido en suelo	Densidad aparente de la capa de 0-20 cm
	Porcentaje de materia orgánica en la capa de 0-20 cm
Agroproductivos	
Eficiencia energética	Cuantificación de todos los insumos industriales y artesanales, posturas de árboles y semillas
	Cuantificación de todas las producciones de la finca a partir de los cultivos presentes y de las especies arbóreas
	Estimación de las equivalencias energéticas de cada insumo utilizado y cada producto obtenido en la finca
	Cuantificación de las horas de trabajo animal y humano invertidas en la producción de la finca
Producción de la agrodiversidad	Producción de energía en equivalentes energéticos y de proteínas por especie

Resultados

Inventarios de diversidad

Los inventarios de la diversidad de especies agrícolas (temporales y permanentes) y de especies arbóreas permitieron identificar que en las fincas estudiadas se encuentran al menos 109 especies vegetales cultivadas y naturales. El mayor porcentaje de las especies identificadas corresponde a forestales (tabla 2), a pesar de que la actividad productiva fundamental es la producción de alimentos, no la de madera. Muchas de las especies clasificadas como forestales no producen madera con valor comercial, lo que indica que los agricultores conservan esta riqueza de especies en sus sistemas agroproductivos por sus propiedades medicinales, para combustible y sombra, por motivos religiosos y culturales, para obtener pagos por servicios ambientales, como cortinas rompevientos y cercas vivas, y para proteger las riveras de los ríos.

Tabla 2. Porcentaje de especies de acuerdo a su uso

Especie	%	Especie	%
Forestales	61	Raíces y tubérculos	4
Hortalizas	12	Cereales, granos y oleaginosas	8
Cítricos y frutales	11	Otros	5

El fomento y mantenimiento de especies arbóreas dentro de las fincas mejora la estructura vertical de los agroecosistemas. Estas especies contribuyen al equilibrio biológico de los organismos pues propician el control de plagas y enfermedades de forma natural al ser hospederos de esta diversidad.

Análisis de la agrobiodiversidad

En el trabajo con el indicador de diversidad de cultivos y especies arbóreas se tuvo en cuenta la riqueza de especies (relacionada directamente con el número de especies vegetales) y la estructura de las especies dentro de la finca (representatividad espacial y temporal de especies en un área). Se elaboró un inventario general de diversidad de especies de cada finca con el número de individuos por especie y los porcentajes de especies para cada uso. Con estos datos se calculó para cada finca el índice de Shannon como indicador de estructura y el índice de Margalef como indicador de riqueza, tanto para los cultivos como para las especies arbóreas.²

² A. Magurran, 1989. Diversidad ecológica y su medición. Ediciones Vedra, Barcelona, España. 200 p.

Se identificaron 32 especies de cultivos, entre las que predominan frijol (94%), yuca (86%), maíz (83%) y plátano (71%). Las fincas de La Palma mostraron un mayor porcentaje de cultivos (28 especies) que las de Gibara (17). Se observaron rangos diferentes para los valores de los índices por localidades, especies arbóreas y cultivos temporales. Para ambos índices, tanto el rango de los valores como el valor máximo fueron superiores para las especies arbóreas, considerando cada municipio, así como la muestra total (tabla 3).

Tabla 3. Rangos de valores de cada índice para los índices de diversidad por finca

Índice	Gibara	La Palma	Total
Margalef (cultivos)	0,07-0,44	0,12-1,25	0,07-1,25
Margalef (especies arbóreas)	0,42-5,19	1,44-6,06	0,42- 6,06
Shannon (cultivos)	0,36-1,26	0,69-1,84	0,36-1,84
Shannon (especies arbóreas)	0,32-2,70	0,88-3,05	0,32-3,05

Los valores de los índices de diversidad estudiados resultan significativamente superiores para las especies arbóreas, que tienen mayor presencia (72% de las especies identificadas) y están menos intervenidas desde el punto de vista temporal y espacial. También se observaron diferencias entre municipios, considerando los índices de diversidad para las especies arbóreas y los cultivos temporales. En el caso de los cultivos temporales, los valores mayores para ambos índices corresponden a las fincas de La Palma, mientras que los menores se observaron en las de Gibara. En las fincas de La Palma no solo hay mayor riqueza de especies cultivadas temporales (figura 1), sino que su distribución está más equilibrada, en correspondencia con la agricultura tradicional que predomina en la zona. Por su parte, las fincas de Gibara poseen una agricultura más tecnificada, en la que predomina el monocultivo y la especialización productiva.

Análisis de las reservas de carbono

La biomasa arbórea y el suelo son los reservorios naturales de carbono considerados en este estudio y la suma de ambos constituye el carbono total secuestrado en las fincas. Sin embargo, la proporción de carbono secuestrado por cada uno de los reservorios en relación al carbono total secuestrado no es equivalente en las fincas estudiadas. Así, el 83% de la muestra total (29 fincas) tiene al suelo como el reservorio fundamental de carbono (más del 62% del carbono total secuestrado en los suelos), con una media de 25,3 t/ha, la cual es significativamente superior a la de la biomasa de 4,8 t/ha (tabla 4).

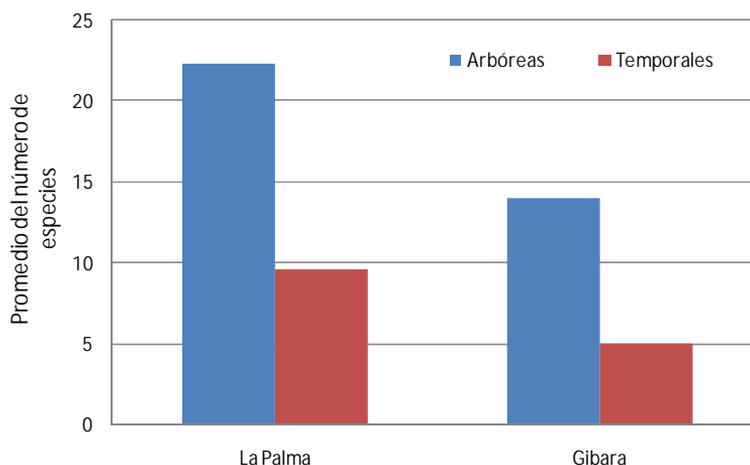


Figura 1. Promedio del número de especies arbóreas y temporales

Tabla 4. Carbono retenido en las fincas de acuerdo con el reservorio principal (t/ha)

Reservorio fundamental de carbono	Fincas	Suelo	Biomasa arbórea	Total
Más de 62% del C retenido en suelo	29 (83%)	25,3	4,8	30,1
Más de 73% del C retenido en biomasa arbórea	6 (17%)	35,8	616,9	652,8

Por el contrario, solo seis fincas tuvieron la biomasa arbórea como principal reservorio de carbono (más del 73% del carbono total secuestrado en biomasa arbórea), con una media de carbono secuestrado en el suelo de 35,8 t/ha y de carbono secuestrado en biomasa de 616,9 t/ha. Estas fincas, todas ubicadas en La Palma, tienen la peculiaridad de presentar áreas de arboledas compactas de más de una hectárea, situación en la que el carbono secuestrado en la necromasa producida por los árboles es considerado parte del carbono secuestrado por la biomasa, lo que no sucede con los árboles aislados. Sus valores de carbono retenido en biomasa, así como sus valores totales de carbono retenido, son significativamente superiores a los de las fincas de Gibara.

El carbono retenido en los suelos muestra una correlación negativa significativa con las emisiones de óxido nitroso (N₂O) y las de gases totales, así como con la aplicación de plaguicidas y el gasto energético total. Esto podría deberse al tipo de agricultura que se realiza en las fincas, donde altos valores de plaguicidas y otros insumos representan mayores gastos energéticos y altas emisiones de óxido nitroso. En la agricultura más intensiva e industrial los suelos sufren mayores daños en sus propiedades físico-químicas, entre las

que se encuentran el porcentaje de materia orgánica y, por ende, el carbono retenido en el suelo.

Se observó además una correlación negativa del carbono retenido en suelo con la proteína de origen vegetal producida, así como con las horas de trabajo animal empleadas por hectárea por año en las fincas. Esto se debe a que las fincas con arboledas compactas presentan una proporción menor de áreas dedicadas a la agricultura y menores valores de trabajo animal y de producción de proteínas.

Emisiones de GEI

Las fuentes de emisión de GEI derivadas de la actividad agrícola fueron el cultivo del arroz anegado, la aplicación de nitrógeno sintético para la fertilización química y los residuos de cosecha incorporados al suelo. En ninguna de las fincas se detectó quema de biomasa, otra de las posibles fuentes de emisión de GEI por el manejo agrícola.

La única fuente de emisión de metano (CH_4) considerada fue el cultivo del arroz anegado, que no se practica en Gibara, pero sí en La Palma. Sin embargo, debido a que el potencial de calentamiento global del CH_4 (1 t de CH_4 corresponde a 21 t de equivalentes de CO_2) es unas 15 veces menor que el del N_2O (1 t de N_2O corresponde a 310 toneladas de equivalentes de CO_2), cuando se transforman los valores primarios de ambos gases a toneladas de equivalentes de carbono por año, la contribución del CH_4 a las emisiones totales es pequeña (12% en La Palma y 4% en todas las fincas de la muestra). Las emisiones de óxido nitroso son las que más contribuyen a las emisiones totales de GEI en toda la muestra y para cada una de las provincias (figura 2).

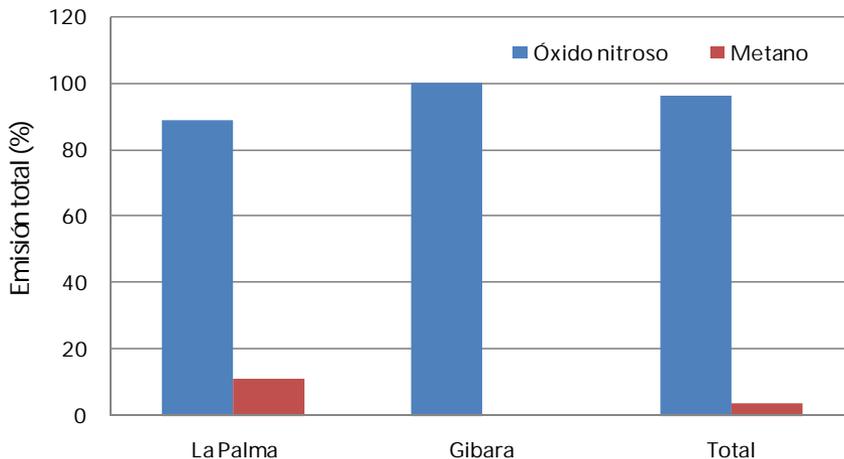


Figura 2. Contribución del óxido nitroso y el metano a la emisión de GEI

Por consiguiente, las categorías de emisión del N₂O son las prácticas agrícolas más importantes en cuanto a las emisiones totales de GEI en este estudio. Estas categorías son la aplicación de nitrógeno sintético para la fertilización de los cultivos y los residuos de cosecha incorporados al suelo, lo que coincide con los inventarios nacionales elaborados por el Instituto de Meteorología para los reportes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático.³

Los valores de emisión encontrados oscilan entre 0 y 2,88 TeqC/ha/año, con una media de 0,95 TeqC/ha/año. Se observó una diferencia altamente significativa entre las medias de las emisiones totales de los municipios estudiados, con un valor medio para La Palma de 0,063 TeqC/ha/año, unas 22 veces menor que las emisiones medias de Gibara (1,38 TeqC/ha/año). Estas diferencias se deben fundamentalmente a las categorías de fuentes de emisión relacionadas con el N₂O, pues la contribución de las emisiones de CH₄ es pequeña (tabla 3).

Tabla 3. Emisiones totales de GEI y principales fuentes de emisión para la muestra total y por municipios

Fuentes de emisión	La Palma	Gibara	Total
Emisiones totales (TeqCO ₂ /ha/año)	0,63	1,38	0,95
Nitrógeno sintético aplicado a los cultivos (kg/ha/año)	7,2	33,9	18,6
Residuos de biomasa incorporados al suelo, kg/ha/año	1501,0	1999,7	1714,7

Caracterización de las fincas según indicadores agroproductivos

La producción de alimentos es la función fundamental de las fincas agroproductivas, y aunque en general se expresa en toneladas producidas o en ingresos económicos brutos, en este trabajo se presenta como energía bruta total. En cada finca estudiada se produce un promedio de 3 172,1 Mcal/ha/año brutas, lo que corresponde a los alimentos que se necesitan para cubrir los requerimientos energéticos de un año para 3,6 personas. Para producir esta energía, se requirieron 1 255,8 Mcal/ha/año como promedio, lo que indica que la muestra de fincas, en su conjunto, es eficiente desde el punto de vista energético, pues se produce más cantidad de energía de la que se insume.

Las fincas presentaron un amplio rango de valores de producción bruta energética (58,0-11 458,3 Mcal/ha/año) y se clasificaron en «poco productivas»,

³ Ver CITMA/CCTRAIN, 1999. Inventario nacional de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero. Año base 1990, Instituto de Meteorología, Ediciones GEO. 339 p.

«productivas» y «muy productivas», cuyas medias presentaron diferencias significativas (tabla 4).

Tabla 4. Clasificación de las fincas según la productividad

Clasificación	Criterio (rango de producción energética, Mcal/ha/año)	Producción promedio (Mcal/ha/año)
Poco productivas	Menos de 1 800 Mcal/ha	1 060,9
Productivas	Entre 1 800 y 3 400 Mcal/ha	2 872,5
Muy productivas	Mayor de 3 400 Mcal/ha	5 406,9
Todas	Entre 58,0 y 11458,3	3 172,1

A partir de los grupos propuestos según la productividad, se realizó un análisis de discriminante que mostró la formación de dos funciones canónicas que explican el 100% de la variabilidad. La primera función discriminante explica el 65,3% de la variabilidad, lo que representa una contribución altamente significativa a la formación de los grupos; la segunda función, por su parte, explica el 34,7%, con una contribución significativa a la formación de los grupos (figura 3).

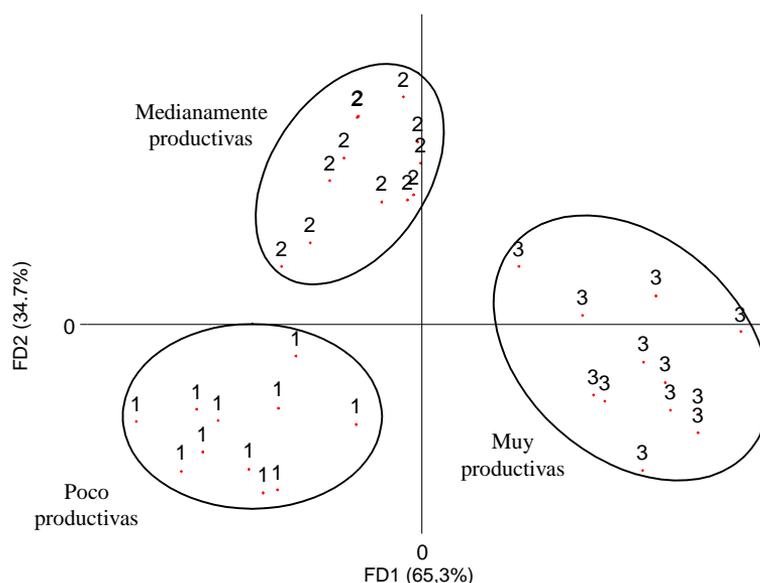


Figura 3. Gráfico de discriminantes según producciones de las fincas

Las fincas «poco productivas» emiten bajos niveles de N₂O y su gasto energético, particularmente de combustible, es menor. Se caracterizan por tener mayor cantidad de especies totales y arbóreas, así como una distribución más equilibrada de los cultivos temporales. Sin embargo, son muy poco productivas y cubren los requerimientos energéticos y proteicos de un menor número de personas. Gibara posee mayor proporción de fincas clasificadas como «muy productivas», y solo unas pocas «poco productivas». La Palma, por el contrario, tiene pocas fincas «muy productivas» (tabla 5).

Tabla 5. Porcentaje de las fincas clasificadas de acuerdo con su productividad

Clasificación según producción energética	La Palma	Gibara
Poco productiva	45%	13%
Productiva	40%	27%
Muy productiva	15%	60%

Las fincas de Gibara presentaron mejores resultados de eficiencia energética que las de La Palma, así como en la mayoría de las variables (tabla 6). Gibara, con fincas más pequeñas, se caracteriza por tener una productividad más elevada, pero al no tener áreas arbóreas compactas secuestra menos carbono. Además, al ser superior su especialización productiva, emplea cantidades más elevadas de insumos agroquímicos y emite mayor cantidad de GEI.

Tabla 6. Medias de las variables cuantitativas para la clasificación productiva

Variable	La Palma	Gibara
Producción energética (Mcal/ha/año)	2 499,8	4 068,5
Personas que alimenta proteicamente el sistema	3,6	8,6
Proteína de origen vegetal producidos en la finca (kg)	55,3	127,9
Personas que alimenta energéticamente el sistema	2,9	4,8
Gasto energético (Mcal/ha/año)	763,5	1 912,3
Combustible empleado (l/ha/año)	24,7	21,1
Emisión de óxido nitroso (TeqC/ha/año)	0,6	1,4
Residuos de cosecha Incorporados al suelo (kg)	1 501,0	1 999,7
Número total de especies arbóreas	22,3	14,0 b
Total de especies (temporales, forestales y frutales)	34,2	20,8
Área de la finca (ha)	13,8	6,8

Manejos de las fincas y su relación con los indicadores

En la actualidad existe una controversia relacionada con la capacidad de los sistemas productivos agroecológicos para producir alimentos. Además, hay una gran diversidad de conceptos en cuanto a lo que se considera agricultura ecológica y orgánica, y en especial a los elementos que deben tenerse en cuenta para su clasificación. Las fincas se clasificaron en convencionales, intermedias y ecológicas (tabla 7).

Tabla 7. Clasificación de las fincas según el manejo agrícola

Clasificación de las fincas	Número de fincas	Porcentaje de las fincas
Convencional	8	23
Transición	23	66
Ecológica	4	11
Total	35	100

Estos resultados indican que la mayoría de los agricultores de la muestra emplean en sus labores agrícolas insumos agroquímicos, como fertilizantes nitrogenados sintéticos y plaguicidas, pero en dosis muy pequeñas. Aunque no puedan considerarse orgánicos o agroecológicos, tampoco son productores convencionales, los cuales emplean dosis muy superiores de estos insumos. Las motivaciones de los agricultores para emplear cantidades moderadas de agroquímicos son diversas, pero en general están relacionadas con el bajo nivel de acceso a los insumos agroquímicos y el proceso de sensibilización por el que algunos han transitado, que los hace buscar alternativas más saludables para las familias, los suelos y el medioambiente.

El análisis de discriminante realizado, en base a la clasificación anterior, mostró la formación de dos funciones canónicas que explican el 100% de la variabilidad. La primera función discriminante explica el 82,4% de la variabilidad, lo que representa una contribución altamente significativa a la formación de los grupos, mientras que la segunda función discriminante explica el 17,6%, con una contribución significativa a la formación de los grupos (figura 4).

Por otro lado, la matriz de estructura de los discriminantes mostró las variables que contribuyen a la diferenciación de los grupos en cada función, lo que permitió caracterizar los grupos. En la función discriminante 1, que es la que más contribuye al agrupamiento de las fincas según la clasificación de manejo, las variables más importantes y con una contribución positiva fueron el gasto energético, el trabajo animal, la producción agrícola, las proteínas de

origen vegetal producidas en la finca, el número de personas que alimenta energéticamente el sistema, así como las emisiones de N_2O . Además, influyó para esta función, pero con una contribución negativa, el porcentaje de materia orgánica en los suelos por hectárea por año.

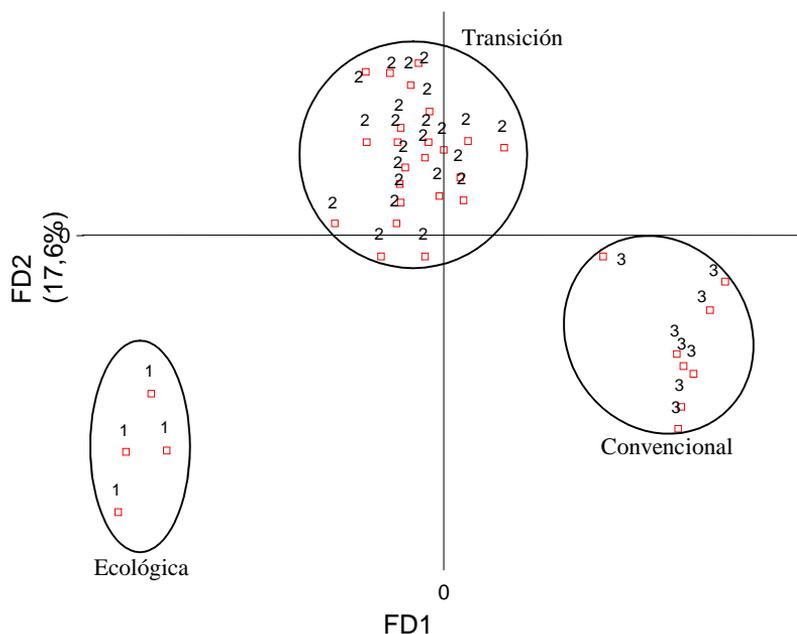


Figura 4. Gráfico de discriminantes según manejo de la finca

Por su lado, para la función discriminante 2, las variables más importantes y con una contribución positiva fueron el índice de Margalef y el de Shannon para cultivos temporales, además de las horas trabajo humano por hectárea por año, así como el carbono secuestrado en biomasa arbórea por hectárea por año, pero con una contribución negativa.

La matriz de estructura y la representación gráfica de las funciones discriminantes indican que las fincas clasificadas como «convencionales» se caracterizan por gastos energéticos más elevados, con producciones agrícolas superiores y mayores emisiones de GEI, en particular N_2O . Estas fincas presentan una cantidad elevada de carbono secuestrado en biomasa arbórea, pues tienen una gran cantidad de árboles aislados (en cercas vivas fundamentalmente), pero un bajo porcentaje de materia orgánica en los suelos. Por tanto, son las más productivas del estudio, pero sobre la base del empleo de mayores niveles de insumos agroquímicos, de mayores emisiones de GEI y de la degradación de las propiedades físico-químicas de los suelos.

Las fincas «ecológicas», por el contrario, se caracterizan por mayores niveles de carbono secuestrado en biomasa arbórea y materia orgánica en los suelos, gastos energéticos y emisiones mínimas, pero también por una baja productividad agrícola. Estas fincas tienen una gran desproporción entre las áreas dedicadas a arboledas compactas y las dedicadas a la producción agrícola, lo que las hace muy poco contaminantes, grandes reservorios de carbono en biomasa arbórea y en suelo, pero con una contribución demasiado baja a la producción de alimentos. Esto no significa que la presencia de arboledas compactas o bosques imposibilite que un sistema agrícola sea productivo, sin embargo, se requieren manejos específicos como el que caracteriza a las fincas integrales, diseños agroforestales u otras alternativas que permitan explotar las arboledas compactas para la producción de alimentos, como la introducción de una mayor diversidad de especies de árboles frutales. Estos resultados coinciden con los reportados por autores que plantean que las fincas con un manejo ecológico, bajo los principios agroecológicos, son mucho más diversas, tienen una mayor captura de carbono, usan menos insumos industriales disminuyendo su gasto energético.⁴ Por otro lado, las fincas ecológicas logran reducir las emisiones de óxido nítrico cuando eliminan la fertilización nitrogenada del manejo de los cultivos.⁵

Conclusiones

Existen alternativas al empleo de altas dosis de insumos agroquímicos para llevar a cabo la producción de alimentos, que además contribuyan a mitigar las emisiones de GEI. El empleo de cantidades limitadas o nulas de insumos agroquímicos, la mayor diversidad de especies agrícolas, el uso de prácticas saludables para los suelos, como la rotación y el intercalamiento de cultivos, así como la incorporación de materia orgánica a los suelos, no solo disminuyen las emisiones de GEI, sino que contribuyen a conservar las propiedades físico-químicas del suelo y su función como reservorio natural de carbono.

La baja disponibilidad de insumos agroquímicos y la capacidad de los agricultores para experimentar con nuevas alternativas, son una buena oportunidad para trabajar en la facilitación de opciones tecnológicas que puedan ser seleccionadas, adaptadas y adoptadas por los agricultores. Estas constitu-

⁴ M.W. Ho, 2008. Organic agriculture and localized food & energy systems for mitigating climate change, how the world can be food and energy secure without fossil fuels. East and Southeast Asian conference-workshop on sustainable agriculture, food security and climate change, waterfront-insular hotel. Davos, Filipinas, 12-14 octubre.

⁵ J. Castro, 2007. Fijación de carbono y agricultura orgánica. *Ambientico*. Revista mensual sobre la actualidad ambiental 165: 10.

yen alternativas al uso de agroquímicos industriales, para que en un inicio los complementen y con el tiempo los sustituyan por alternativas naturales de manejo del suelo. Las fincas ecológicas y biodiversas tienen el efecto opuesto a las convencionales, pues sus suelos absorben y captan más carbono que los que se cultivan con fertilizantes químicos.

EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE ECOSISTEMAS EN PINAR DEL RÍO

Nelson Valdés, Duniesky Pérez y Maikel Márquez

FACULTAD DE AGRONOMÍA DE MONTAÑA, UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO

Este trabajo documenta un estudio que evaluó la contribución de ecosistemas agrícolas para mitigar el cambio climático, así como la seguridad alimentaria y nutricional de la localidad de San Andrés en La Palma, Pinar del Río. La calidad del suelo, la diversidad agrícola, la retención de carbono y el balance energético fueron los indicadores seleccionados a fin de medir el nivel de estabilidad alcanzado por diez fincas agrícolas vinculadas durante varios años al Programa de Innovación Agropecuaria Local (PIAL).

Metodología

Se realizaron muestreos que constituyen la línea base del comportamiento de los agroecosistemas. Los índices físicos, de diversidad, calidad nutricional y eficiencia energética se utilizaron para construir el índice general de estabilidad de la finca. A través de varios indicadores, se introdujeron aspectos cualitativos en la contribución que el ecosistema puede hacer para mitigar el cambio climático, fundamentalmente mediante el secuestro permanente de carbono y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) o la transformación de gases más o menos dañinos.

Construcción de las expresiones del índice de estabilidad

Índice físico: $I_F = P + O$; donde: P = índice de profundidad efectiva, O = índice de materia orgánica.

Índice de diversidad: $I_D = D_A + D_F$; donde: D_A = índice de diversidad agrícola, D_F = índice de diversidad forestal.

Índice general de estabilidad: $I_S = I_F + I_D + I_N + I_E$; donde: I_F = índice físico, I_D = índice de diversidad, I_N = índice de calidad nutricional, I_E = índice de eficiencia energética.

Calidad física del suelo

Los indicadores de calidad del suelo son:

- Profundidad efectiva, en centímetros. Se determina cavando calicatas.
- Porcentaje de materia orgánica. Se determina en el laboratorio con medios muy simples.

Diversidad agrícola y forestal

Se realizaron inventarios de especies en cada finca y se tomaron como referencia parcelas de 25 m². Se anotaron los datos necesarios de cada cultivo para calcular el Índice de Shannon-Weiner (según la propuesta de Magurran¹), que es uno de los indicadores de diversidad seleccionados. La diversidad forestal se evaluó mediante conteos de árboles dispersos y parcelando los bosques compactos. En ambos casos se recogieron los datos de cubicación por especies: altura del árbol (en metros) y diámetro a 1,3 metros del suelo (en centímetros). El indicador seleccionado es la cantidad de carbono retenido por los árboles (en toneladas/hectárea). Para calcular el carbono retenido es necesario realizar conteos y mediciones de árboles y luego aplicar cualquier método de cubicación válido, utilizando coeficientes mórficos o tablas de cubicación.

Balance energético

Se calculó a partir de datos obtenidos mediante encuestas que incluyen los detalles sobre los insumos empleados y las producciones obtenidas, el tiempo de trabajo humano y animal empleado para labores de cultivo. Tanto las equivalencias energéticas de los insumos como el contenido energético y proteico de los productos agrícolas y pecuarios, fueron obtenidos a partir del modelo propuesto por Funes-Monzote² y calculados con el software Energía, versión 3.01.³

¹ A. Magurran, 1989. Diversidad ecológica y su medición. Vedral, Barcelona, España. 200 p.

² F.R. Funes-Monzote, 2009. Agricultura con futuro. La alternativa agroecológica para Cuba. Indio Hatuey, Matanzas. 196 p.

³ F.R. Funes-Monzote, J. Castro, D. Pérez, Y. Rodríguez, N Valdés y A.L. Gonçalves, 2009. Energía 3.01. Sistema computarizado para el cálculo de los indicadores de eficiencia energética. Manual del usuario. CEDECO-INCA-EPPF Indio Hatuey. 58 p.

Resultados

La contribución del ecosistema a mitigar del cambio climático, mediante el secuestro permanente de carbono y la reducción de emisión de GEI, se midió a través de cuatro índices de estabilidad: índice físico, índice de diversidad, índice de calidad nutricional e índice de eficiencia energética.

El índice físico (I_F) refleja la calidad física del suelo, que es la base sobre la cual descansa la posibilidad de alcanzar la suficiencia alimentaria, independientemente de que haya alteraciones químicas debido a manejos inadecuados. Para construir este índice, se emplean los indicadores profundidad efectiva y porcentaje de materia orgánica (tabla 1).

Tabla 1. Profundidad efectiva y porcentaje de materia orgánica

Finca	Profundidad efectiva (cm)	Materia orgánica (%)	Finca	Profundidad efectiva (cm)	Materia orgánica (%)
1	26	1,20	6	14	1,23
2	15	1,33	7	21	1,82
3	20	1,25	8	8	0,93
4	18	1,14	9	20	1,26
5	13	1,27	10	14	1,21

El índice de diversidad (I_D) incluye tanto la parte agrícola como la forestal, componentes efectivos del ecosistema agrícola. Cuantifica la diversidad de especies de cultivos y de sus variedades dentro del ecosistema. Para construirlo, se utilizan dos indicadores: diversidad agrícola y cantidad de carbono retenido, en toneladas por hectárea por año (tabla 2).

Tabla 2. Índice de Shannon-Weiner y volumen de carbono retenido

Finca	Índice de Shannon-Weiner	Carbono retenido (t/ha/año)	Finca	Índice de Shannon-Weiner	Carbono retenido (t/ha/año)
1	1,08	3,4	6	1,31	1,7
2	1,59	4,8	7	1,37	2,6
3	1,09	5,4	8	0,93	3,9
4	0,95	10,1	9	1,67	5,3
5	0,82	40,0	10	0,95	94,3

El índice de calidad nutricional (I_N) cuantifica la calidad nutricional de las producciones de la finca. Se seleccionó como único indicador la producción de proteínas, en kilogramos por hectárea por año (tabla 3).

Tabla 3. Producción de proteínas

Finca	Producción de proteínas (kg/ha/año)	Finca	Producción de proteínas (kg/ha/año)
1	237,1	6	165,7
2	94,5	7	87,6
3	150,5	8	91,1
4	18,4	9	51,6
5	23,3	10	274,6

El índice de eficiencia energética (I_E) cuantifica el nivel de eficiencia en el uso de la energía a partir de la relación entre la energía que entra al sistema y la que sale. Este indicador está estrechamente relacionado con la estabilidad del agroecosistema y con el nivel de autosuficiencia alimentaria en función del empleo de insumos energéticos (tabla 4).

Tabla 4. Eficiencia energética

Finca	Producción energética (GJ/ha/año)	Gasto energético (GJ/ha/año)	Relación salidas/ entradas
1	24,6	53,6	0,45
2	12,3	6,9	1,78
3	13,4	37,1	0,36
4	3,9	1,0	4,08
5	3,6	0,8	4,26
6	14,9	1,6	9,09
7	12,5	4,2	2,99
8	14,4	5,6	2,58
9	8,7	3,2	2,74
10	25,7	49,8	0,52

Al correlacionar los datos de los indicadores seleccionados, se obtiene una matriz con los coeficientes calculados en sus intersecciones (tabla 5).

Tabla 5. Coeficientes de correlación entre indicadores

	Profundi- dad efectiva	Materia orgánica	Índice de Shannon	Carbono retenido	Producción de proteínas
Materia orgánica	0,4464				
Índice de Shannon	0,2958	0,4339			
Carbono retenido	-0,2910	-0,1021	-0,4411		
Producción de proteínas	0,2023	-0,0896	-0,1260	0,4251	
Relación energética	-0,3371	0,0107	0,0905	-0,2526	-0,3227

Se aprecia que no hay valores altos de correlación entre los indicadores. Ni siquiera en el caso de la relación entre la profundidad efectiva del suelo y su contenido de materia orgánica, el coeficiente de correlación sobrepasa el valor aceptable de 0,50. No parece haber, al menos para estos conjuntos de datos, fuerte dependencia. Por tanto, no sería apropiado aplicar el peso de un indicador a través de otro (dependencia funcional), sino adicionar los indicadores para que cada uno aporte individualmente su peso a las expresiones de los índices, incluyendo el índice general.

Entonces surge el problema de cómo hacerlo, qué tipo de estandarización aplicar y si se deben incluir o no coeficientes para amplificar o disminuir el peso de cada indicador. Existen dos problemas:

- No aparecen referencias de estudios estadísticos sobre la relación entre factores físicos, de diversidad y de balance energético al mismo tiempo, asociados a los componentes de la seguridad alimentaria y nutricional que ofrezcan criterios de ponderación.
- No hay datos suficientes para intentar realizarlos.

Se tomó la decisión de: 1) estandarizar los indicadores en una escala de tres valores (de 0 a 2) que resulta en la definición de seis índices, uno por indicador (tablas 6 y 7); 2) construir las expresiones para calcular los índices de estabilidad sumando los índices que resultaron de la estandarización de los indicadores relacionados; y 3) elaborar la expresión del índice general sumando los índices de estabilidad. Por tanto, se asigna el mismo peso estadístico

a cada indicador. Este procedimiento se escogió porque, a menos que se cometan serios errores, no debe haber grandes variaciones de un ecosistema a otro para el mismo indicador.

Tabla 6. Rangos definidos para estandarizar los indicadores

Indicador	Mínimo	Máximo	Valor del índice		
			0	1	2
Profundidad efectiva	8,00	26,00	8 a 14	15 a 20	21 a 26
Materia orgánica	0,93	1,82	0,9 a 1,2	1,2 a 1,5	1,5 a 1,8
Índice de Shannon	0,82	1,67	0,8 a 1,1	1,1 a 1,4	1,4 a 1,7
Carbono retenido	1,73	94,28	1,7 a 32,6	32,6 a 63,4	63,4 a 94,3
Producción de proteínas	18,43	274,62	18,4 a 103,8	103,8 a 189,2	189,2 a 274,6
Relación energética	-	-	10 a 100	1 a 10	0 a 1

Tabla 7. Valores estandarizados de los índices

Finca	Índice físico (I _F)		Índice de diversidad (I _D)		I _N	I _E
	P	O	D _A	D _F		
1	2	0	0	0	2	0
2	1	1	2	0	0	1
3	1	1	0	0	1	0
4	1	0	0	0	0	1
5	0	1	0	1	0	1
6	0	0	1	0	1	1
7	2	2	1	0	0	1
8	0	0	0	0	0	1
9	1	1	2	0	0	1
10	0	0	0	2	2	0

Nota: P: profundidad efectiva, O: materia orgánica, D_A: diversidad agrícola, D_F: diversidad forestal, I_N: índice de calidad nutricional, I_E: índice de eficiencia energética.

Índice general de estabilidad del agroecosistema

El índice general de estabilidad toma valores entre 0 y 12, que representan, en calidad ascendente, cómo es el desempeño de la finca desde el punto de vista del factor influencias ambientales y del componente estabilidad para la seguridad alimentaria y nutricional (tabla 8).

Tabla 8. Índice general de estabilidad

Finca	I _F	I _D	I _N	I _E	I _S
1	2	0	2	0	4
2	2	2	0	1	5
3	2	0	1	0	3
4	1	0	0	1	2
5	1	1	0	1	3
6	0	1	1	1	3
7	4	1	0	1	6
8	0	0	0	1	1
9	2	2	0	1	5
10	0	2	2	0	4

Nota: I_F: índice físico, I_D: índice de diversidad, I_N: índice de calidad nutricional, I_E: índice de eficiencia energética, I_S: índice general de estabilidad.

De acuerdo con las consideraciones hechas al escoger el procedimiento de estandarización, se puede decir que un comportamiento alrededor de la mediana del indicador (valor de índice igual a 1) está cerca del promedio. Entonces el funcionamiento del ecosistema se considera aceptable si se encuentra alrededor del valor 6 (finca 7). Del análisis realizado a los dos ecosistemas con valores extremos (fincas 7 y 8), se desprende que el factor físico y la diversidad desempeñan un papel decisivo en la estabilidad. La profundidad efectiva del suelo determina su agroproductividad. Por ejemplo, la finca 8, con una profundidad efectiva de 8 cm de capa arable y 0,93% de materia orgánica, posee el nivel más bajo de estabilidad. De ahí la importancia de la protección y uso sostenible de los suelos que promueva la mayor diversidad posible encima de la superficie (plantas y animales) y debajo de esta (biota edáfica).⁴

⁴ M.A. Altieri, 2009. El estado del arte de la agroecología: Revisando avances y desafíos. En: Altieri, M.A. (comp.). Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología, Medellín, Colombia. pp. 69-94.

El contenido de materia orgánica en el horizonte superficial del suelo tiene efectos directos sobre las propiedades físicas de la capa arable. A mayor porcentaje de materia orgánica, mejor retención de humedad, lo cual influye en la nutrición de las plantas y en la capacidad de retención de carbono.

El índice también puede ser útil para cuantificar la entropía (grado de desorden) del sistema. Una mayor entropía puede conducir a un mejor aprovechamiento de los recursos materiales y naturales disponibles (diversidad, energía, fuerza de trabajo, herramientas y maquinarias). Por ejemplo, la diversidad agrícola de un ecosistema es mayor cuando se incrementa la variedad de especies de cultivos y el número de variedades de cada especie. Si se toman como componentes los cultivos y como microestados las diferentes especies y variedades, la entropía del sistema aumenta con el incremento de su diversidad. No es casual que los sistemas más diversos sean más estables y soporten mejor los ataques de plagas: su entropía es mayor. Podría esperarse que las fincas 2, 7 y 9, con mayor índice general de estabilidad, alcancen a su vez mayor entropía.

La eficiencia energética de una finca suele ser mayor cuando tiene una diversidad más alta, utiliza menos recursos energéticos o productos de alto contenido energético. Al contar con mayor diversidad, el sistema agrícola tendrá mayor capacidad de captura y conversión de los recursos energéticos disponibles. Los componentes son las fuentes de energía; y sus microestados, los diferentes tipos de fuentes. Los sistemas más diversificados desde el punto de vista energético suelen ser los más eficientes en el uso de la energía: su entropía es mayor.

La eficiencia energética también está fuertemente determinada por la calidad de los suelos, y la agrotecnia adecuada influye en el balance energético de los agroecosistemas. Otro elemento a tener en cuenta en los balances energéticos es la cantidad de trabajo humano y animal, también relacionada con la calidad de los suelos. En suelos más deteriorados se obtendrán peores cosechas, por tanto, la demanda de fuerza de trabajo y recursos tendrá que ser mayor para lograr mejores resultados.

A medida que aumente la calidad de los suelos agrícolas, disminuirán las aplicaciones de fertilizantes químicos. El equilibrio que la diversidad forestal logra en los ecosistemas, aunque sean destinados a las producciones agrícolas, contribuye de manera significativa a reducir las emisiones de GEI y a proporcionar otros servicios ambientales, productivos y alimentarios.

[Una versión de este estudio fue publicada como «Evaluación del índice de estabilidad a nivel de ecosistemas agrícolas», en *Cultivos Tropicales* 30 (2): 31-35, 2009].

BALANCE DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN DOS COOPERATIVAS MATANCERAS

Alicia Mercadet, Yolanis Rodríguez

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FORESTALES, LA HABANA

Osiris Ortiz, Lourdes Gómez, Milagros González, Roberto Ramos

ESTACIÓN EXPERIMENTAL FORESTAL ITABO, MATANZAS

Delkys Hernández

GRUPO EMPRESARIAL AGRICULTURA DE MONTAÑA, LA HABANA

El incremento en la atmósfera de los llamados gases termoactivos y su efecto sobre el cambio climático, tendrán una repercusión importante en el siglo XXI. Su impacto será aún más significativo en los países en vías de desarrollo, por su alta tasa de deforestación, debida al tradicional manejo inadecuado del uso de la tierra. Como consecuencia, se manifiestan procesos de degradación de los suelos y la pérdida progresiva del nivel de materia orgánica.

En el último medio siglo los suelos agrícolas han perdido 50 Pg de carbono,¹ lo cual representa un tercio de la pérdida total del suelo y la vegetación. Esta situación aconseja tener en cuenta políticas y estrategias apropiadas para el manejo de la silvicultura y la agricultura dirigidas a reducir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) e incrementar la captura de carbono en los suelos. Los suelos forestales son los mayores depósitos de carbono en los ecosistemas terrestres, y representan el 36% del total del carbono del suelo a un metro de profundidad.² Esta es la razón fundamental por la cual los bosques reciben una atención especial cuando se buscan mecanismos para el secuestro de carbono.

La agrosilvicultura es entendida como un conjunto de prácticas relacionadas con el uso de la tierra que implican la combinación deliberada, en una misma unidad de ordenación de árboles, cultivos agrícolas o animales dispuestos en una determinada forma espacial o secuencia temporal.³ La práctica

¹ IPCC, 2000. Land use, land use change, and forestry special report. Cambridge University Press, 377 p.

² R. Jandl, 2006. Secuestro de carbono en bosques. El papel del suelo. Revista Forestal Iberoamericana. <http://www.estrucrucplan.com.ar/Articulos/verarticuloss.asp?IDArticulo=1127/>

³ FAO, 2005. Situación de los bosques en el mundo. Parte 2. Adaptarse al futuro. pp. 65-94.

de combinar la arboricultura con los cultivos y la ganadería es muy antigua,⁴ y en los últimos años se ha incrementado el interés por la agrosilvicultura. Son varios los factores que explican la gran importancia que se le confiere actualmente. Entre ellos se encuentran el aumento de la deforestación en los trópicos, la degradación del suelo y la escasez de tierras de cultivo como consecuencia de la presión demográfica, así como el creciente interés por los sistemas agrícolas sostenibles, los cultivos intercalados y la protección del medioambiente.

Los sistemas agroforestales (SAF) son una apreciable fuente de ingresos, por su alto uso relativo equivalente de la tierra. Además, cumplen una función protectora contra los vientos y abrigo. Los diseños suelen variar, según la tradición ecológica y cultural de cada lugar, se han desarrollado mediante la experiencia práctica y se transmiten de generación en generación. Algunos de los sistemas y prácticas agroforestales que han tenido resultados positivos son el cultivo en hileras, el silvopastoreo, las cortinas rompevientos, el cultivo intercalado de setos vivos, los parques, los patios y huertos caseros, y la rotación de cultivos. Varios de ellos se conocen desde hace siglos, y han ido evolucionando en respuesta a las necesidades y limitaciones, tanto en la explotación agrícola como fuera de ella.⁵

Los modelos de SAF han sido señalados por su potencial para reducir las consecuencias negativas del efecto invernadero a través de la fijación del carbono. Estos sistemas han demostrado que son capaces de compatibilizar producción agrícola, rentabilidad y servicios ambientales y que pueden constituirse en una importante fuente de acumulación de carbono, compensando las emisiones inherentes al proceso agrícola.⁶ Según estos autores, hay básicamente tres mecanismos para la acumulación de carbono en los sistemas agrícolas: a) por intermedio de la acumulación de la materia orgánica en el suelo; b) a través de la propia biomasa vegetal; y c) cuando la biomasa vegetal es utilizada para fuente de energía, en sustitución de los combustibles fósiles. Consideran además que estos sistemas son importantes en la mitigación de GEI, en la medida que incorporan el elemento arbóreo, aumentando así la biomasa total producida, como también la materia orgánica del suelo. Además,

⁴ P.K.R. Nair, 1993. *An introduction to agroforestry*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Países Bajos.

⁵ FAO, 2009. *Situación de los bosques en el mundo. Parte 2. Cuestiones seleccionadas de interés actual en el Sector Forestal. Beneficios económicos de la agrosilvicultura: experiencias, enseñanzas y dificultades*. pp. 88-95.

⁶ J. Pretty y A. Ball, 2001. *Agricultural Influences on Carbon Emissions and Sequestration: A Review of Evidence and the Trading Options*. Colchester, Centre for Environment and society and Department of Biological Sciences, University of Essex, Reino Unido. pp. 1-31.

los SAF pueden contribuir a disminuir la presión sobre los bosques y fragmentos forestales. Otros servicios ambientales como la protección y regeneración de la biodiversidad, la conservación del agua y la manutención del paisaje, también son aspectos que justifican la promoción de estos sistemas.

El estudio que documentamos en este capítulo evalúa el balance de los GEI en dos Unidades Básicas de Producción Cooperativa (UBPC) de la provincia Matanzas (El Zapato y Guamutas). En ellas se realiza un manejo diversificado del uso de la tierra, que incluye producción agrícola, pecuaria y forestal. Aquí analizaremos cuál es la contribución de este tipo de manejo a la captura y fijación de los GEI y, por tanto, a la mitigación del cambio climático.

Metodología

Para el diagnóstico socioeconómico se utilizaron las entrevistas según el modelo confeccionado por el proyecto «Efectos de la innovación agrícola local en la emisión de gases con efecto invernadero y el balance energético de los sistemas productivos en Cuba», del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA).

La evaluación de emisiones de GEI se realizó según la metodología establecida por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés).⁷ Asimismo para calcular la equivalencia de emisiones de NO₂ y CH₄ con las de CO₂ (CO₂ e), se multiplicó por los coeficientes 310 y 21, respectivamente.⁸ La retención de carbono por los árboles se evaluó por la metodología del Instituto de Investigaciones Forestales.⁹

Para las mediciones de altura y diámetro de las plantaciones forestales, se realizó el muestro estableciendo parcelas de 500 m², y para los linderos y árboles dispersos se evaluaron todas las plantas existentes. En todos los casos se utilizó para la altura una regla graduada en centímetros hasta 3 m, y para alturas mayores, el hipsómetro. Para el diámetro se empleó forcípula o cinta diamétrica, y para calcular la equivalencia de t de carbono retenido por los árboles con la cantidad de CO₂ removido de la atmósfera, se multiplicó por (44/12).

⁷ IPCC, 1996. Documento Técnico I del IPCC: Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático. pp. 61-68.

⁸ IPCC, 2006. Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. V. 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Instituto para las Estrategias Ambientales Globales, Hayama, Japón.

⁹ A. Mercadet y A. Álvarez, 2009. Metodología para establecer la línea base de retención de carbono en las Empresas Forestales Integrales de Cuba. En: Efecto de los cambios globales sobre el ciclo del carbono. Publicado por: RED CYTED 406RT0285 «Efecto de los cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica», pp. 107-118.

Caracterización edafoclimática de las localidades estudiadas

La UBPC Guamutas está ubicada en el municipio Colón, provincia Matanzas, a 10 km del entronque de la carretera Martí-Itabo. La UBPC El Zapato se localiza a 10 km del poblado Itabo, el cual pertenece al municipio Martí, Matanzas. De los siete perfiles de suelo estudiados en Guamutas y tres en El Zapato, que incluyeron tanto las áreas de plantaciones de especies forestales como las áreas de cultivos agrícolas y pastos, se determinó que el suelo es del tipo Ferralítico amarillento con propiedades gléyicas (tabla 1).

Tabla 1. Caracterización edafoclimática de las zonas de ubicación de las UBPC

UBPC	Municipio	Altitud (m)	Suelo	Precipitación anual (mm)	Temp. promedio anual (°C)
Guamutas	Colón	150	Ferralítico amarillento gleyzado	1 458	25,0
El Zapato	Martí	50	Ferralítico amarillento gleyzado	1 163	25,0

FUENTES: Suelo: Instituto de Suelos, 1999. Nueva versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Ministerio de la Agricultura. La Habana, 64 p.; precipitación: Instituto Nacional de Recurso Hidráulicos, 2008. Boletín Hidrológico. Dirección de Cuencas Hidrográficas. enero-diciembre; temperatura: Instituto de Meteorología, 2008. Base de datos meteorológicos.

UBPC Guamutas

Guamutas era una unidad de producción cañera, pero con el cierre del central de la localidad, pasó a formar parte de las Unidades de Producción Agropecuaria. A finales de 2009 la fuerza laboral estaba constituida por 84 trabajadores (21 mujeres y 63 hombres). Para el desempeño de sus actividades tecnológicas, mantienen relaciones estrechas de trabajo con diferentes entidades, como la Estación Experimental Forestal de Itabo, las delegaciones provinciales del Ministerio del Azúcar (MINAZ) y del Ministerio de la Agricultura (MINAG), y el Proyecto Sabana-Camagüey del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).

Buscan opciones tecnológicas con la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP), el MINAG, diversas instituciones científicas y la Universidad de Matanzas. En la implementación de las nuevas soluciones tecnológicas, participan de conjunto los trabajadores de la entidad y los investigadores de las otras instituciones. Han recibido bonificaciones del Fondo Nacional de

Desarrollo Forestal (FONADEF) para reforestar, cumplir con el plan de mantenimiento a las plantaciones forestales existentes, hacer las trochas cortafuego y designar un guardabosque. Para el desempeño en sus actividades agrarias, cuentan con dos tractores, cuatro carretas y seis yuntas de bueyes. La preparación del suelo, que contempla aradura, pase de grada y surcado, la realizan de forma mecanizada, mientras que la siembra, aporque y cosecha es manual y el deshierbe, con bueyes.

La cooperativa Guamutas tiene una superficie total de 1 037,3 ha, de las cuales 53 ha son de uso agrícola, 141,9 ha de uso forestal y 842,6 ha están cubiertas de árboles forestales y frutales. El plan de desarrollo de la entidad considera la creación de 24 fincas. Hasta ahora ha creado ocho, de las cuales seis son fincas forestales, una de cultivos varios y otra de frutales. En la tabla 2 se resumen las producciones agrícolas entre los años 2007-2009.

Tabla 2. Cultivos agrícolas y producción durante los años evaluados

Año	Cultivo	Área (ha)	Producción (t)
2007	Boniato	9,0	28,5
	Plátano	5,0	15,25
	Calabaza	4,0	6,21
	Cebolla	1,0	2,42
	Maíz	6,0	4,63
	Frijol	2,0	0,63
	Ajo	0,5	0,05
	Arroz	1,0	24,2
	Yuca	17,2	8,0
2008	Boniato	2,0	0,05
	Plátano	5,6	19,8
	Malanga	5,0	2,23
	Yuca	5,0	45,7
2009	Plátano	6,0	0,34
	Maíz	2,0	0,89

En 2007 esta UBPC produjo 8,89 t de hortalizas (lechuga, cebollino, berenjena, zanahoria y rábano). Los residuos de las cosechas los sacan del campo, pero solo utilizan el boniato para la alimentación animal. La cantidad de animales por categoría se presentan en la tabla 3, de donde se infiere que en el

año 2007 el ganado vacuno y las aves representaron el mayor porcentaje, con 47,65% y 34%, respectivamente; mientras que en 2008 el componente del ganado aumentó con 69,13% del total y decreció en 2009 con 29,56%. En este último año las aves ocuparon el segundo lugar, con 34%, y se incorporó el componente caprino, en tanto aumentó el ovino. El componente porcino disminuyó en 80% con relación a 2007. Todos estos cambios en el componente animal están relacionados directamente con los resultados de las evaluaciones de emisiones de GEI.

Tabla 3. Cantidad de animales por categoría en la UBPC Guamutas

Ganado	2007	2008	2009
Vacuno	193	253	191
Avícola	138	60	220
Porcino	20	4	4
Caprino	-	-	100
Ovino	-	10	77
Equino	54	17	20
Cunícola	-	21	34
Total	405	365	646

Evaluación de emisiones de GEI por el manejo de excretas

La estimación de emisiones se realizó en función de la distribución y cantidad de animales según el destino de las excretas, es decir, si estuvieron estabulados o en pastoreo (tabla 4). Los residuales vertidos a la laguna de oxidación correspondieron a los porcinos, mientras que para el almacenamiento sólido y la aplicación fresca diaria del ganado vacuno, caprino, ovino y equino, se contabilizó el 50% del total de deyecciones de cada categoría, teniendo en cuenta que durante el día están en pastoreo (aplicación fresca diaria), pero en la tarde y noche se concentran para su protección (almacenamiento sólido).

Los coeficientes de emisiones son diferentes para cada tipo de animal y destino de las excretas. En la tabla 5 se muestran los resultados del procesamiento de la información. En Guamutas había 193 cabezas de ganado en 2007, un año después aumentaron a 253, lo que incrementó las emisiones de metano por fermentación entérica; mientras que en 2009 decreció a 191, con la consiguiente disminución de las emisiones, por debajo de los valores de 2007.

Tabla 4. Destino de las excretas de los animales en la UBPC Guamutas

		2007	2008	2009
Número de animales		405	365	646
Estabulados		158	85	258
Pastoreo		247	280	388
Destino de las excretas de los animales estabulados (número de animales)	Almacenamiento sólido	262	220	447
	En laguna de oxidación	20	4	4
	Aplicación fresca diaria	123	141	195

Nota: Se consideran en la categoría de estabulados las aves, los conejos y los cerdos; el resto, en pastoreo.

Tabla 5. Resumen de las emisiones en la UBPC Guamutas

	2007	2008	2009
Arroz (Gg CH ₄)	1,408 x 10 ⁻³	1,408 x 10 ⁻³	-
Cantidad de animales	405	365	646
Fermentación entérica del ganado (Gg CH ₄)	7,219 x 10 ⁻⁶	8,414 x 10 ⁻⁶	6,930 x 10 ⁻⁶
Manejo de estiércol (Gg NO ₂)	8,891 x 10 ⁻⁸	5,688 x 10 ⁻⁸	4,659 x 10 ⁻⁸
Manejo de estiércol (Gg CH ₄)	2,736 x 10 ⁻⁷	2,055 x 10 ⁻⁷	2,040 x 10 ⁻⁷
Total de emisiones (CO ₂ e)	1,4155 x 10 ⁻³	1,4166 x 10 ⁻³	7,18 x 10 ⁻⁶

Nota: Gg (Giga gramos): 10⁹ g. Total de CO₂ e: suma de CO₂ e de las emisiones de metano y NO₂

El metano (CH₄) es el GEI de mayor incidencia en el sector agrícola cubano, según se reportó en la Primera Comunicación Nacional de Cambio Climático¹⁰ y su representatividad se debía básicamente a la fermentación entérica del ganado. El cultivo del arroz es considerado el principal emisor de metano en la agricultura. En la UBPC Guamutas el arroz es «anegado intermitentemente con aireación simple».

¹⁰ A. Centella, J. Llanes y L. Paz, 2001. Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. República de Cuba. 166 p.

El manejo del estiércol ocupa el tercer lugar en las emisiones de metano, resultando con mayores valores que las de NO₂. En el caso de los cultivos, solamente el arroz presenta emisiones, ya que las labores de mantenimiento y cosecha de todos los cultivos agrícolas son de forma manual y no se aplica fertilizante mineral.

Evaluación de la retención de carbono por el componente arbóreo

Se evaluaron los árboles cuyo diámetro fuera mayor de 3 cm, los que ocupaban un área de 38,1 ha. La evaluación de retención de carbono se resume en la tabla 6. El carbono retenido en el año 2008 equivale a 15 416,9 t de CO₂ removidos de la atmósfera, cifra que en 2009 fue de 25 833,9 t. El carbono retenido aumenta con una mayor área cubierta y con el crecimiento de los árboles, ya que esto incide directamente en una mayor cantidad de biomasa.

Tabla 6. Evaluación del carbono retenido en la UBPC Guamutas (2008-2009)

Año	Especies	Edad (años)	Área (ha)	Altura (m)	Diámetro (cm)	C retenido (t)
2008	Acacia mangium	3	17,1	4,15	6,08	1 169,73
	Acacia mangium	4	10	6,21	8,85	1 415,84
	Eucalyptus sp.	3	5	6,8	7,02	727,32
	Eucalyptus sp.	4	6	7,24	7,59	891,56
	Neem	2	69 árboles	2,71	3,68	0,084
	Aguacate	2	160 árboles	2,12	3,02	0,023
	Almácigo	2	15 árboles	3,25	6,43	0,053
	Total					4 204,61
2009	Acacia mangium	4,5	17,1	9,7	13,75	3 281,68
	Acacia mangium	5,5	10,0	10,65	14,02	1 790,95
	Eucalyptus sp.	4,5	5,0	10,29	10,94	885,85
	Eucalyptus sp.	5,5	6,0	10,72	12,09	1 084,55
	Neem	3,5	66 árboles	5,15	11,76	1,58
	Aguacate	3,5	118 árboles	5,29	5,19	0,37
	Almácigo	3,5	13 árboles	4,28	10,98	0,24
	Yambolán	4,0	42 árboles	4,87	7,75	0,39
Total					7 045,61	

UBPC El Zapato

El Zapato pertenece a la Empresa Pecuaria del municipio Martí. Su fuerza laboral está constituida por 82 trabajadores (15 mujeres y 67 hombres). Para el desempeño de sus actividades tecnológicas, mantienen estrechas relaciones de trabajo con diferentes entidades, como la Estación Experimental Forestal de Itabo, la Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ACTAF), la Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA), la Estación Experimental Indio Hatuey, el Servicio Estatal Forestal (SEF), Veterinaria Estatal y la Empresa de Cultivos Varios de Máximo Gómez.

La cooperativa busca opciones tecnológicas con las instituciones con las que mantiene relaciones de trabajo, y con agricultores de la comunidad y del territorio. La implementación de las nuevas soluciones tecnológicas la realiza con trabajadores de la entidad. Ha recibido bonificaciones del FONADEF por cumplir con el plan de mantenimiento a las plantaciones forestales existentes y hacer trochas cortafuego, así como del Programa de conservación de suelos.

La preparación del suelo (aradura y pase de grada), se realiza con tractor, mientras que la aradura y limpieza de calles se ejecuta con bueyes (la UBPC posee nueve yuntas). La siembra, aporque y cosecha es manual. El Zapato posee una superficie total de 2 062 ha, de las cuales 291 ha son de uso agrícola, 1 577 ha son de uso forestal y 194 ha están cubiertas de árboles forestales y frutales. En la tabla 7 se resumen las producciones agrícolas entre los años 2007 y 2009.

Tabla 7. Cultivos agrícolas y producción durante los años evaluados

Año	Cultivo	Área (ha)	Producción (t)
2007	Boniato	9,1	4,60
	Plátano	1,6	0,21
	Maíz	1,8	1,42
	Frijol	1,3	0,47
	Yuca	1,9	0,4
2008	Boniato	1,74	8,79
	Maíz	6,04*	3,16
	Frijol	6,04*	0,21
	Yuca	4,97	2,51
2009	Boniato	0,3	1,2
	Frijol	1,2	0,06
	Yuca	1,4	3,2

* En la misma área cultivaron maíz y frijol.

En 2007 la UBPC produjo 10,84 t de hortalizas (tomate y pimiento). En 2008 obtuvieron 3,75 t de hortalizas (tomate, ajo, lechuga, habichuela, rábano, quimbombó y pepino) y en 2009 produjeron 0,7 t de guayaba y fruta bomba. Del área total disponible para cultivos agrícolas, se están utilizando 31,35 ha, por lo que el potencial de la UBPC para esta actividad solamente se está explotando en un 11%. La tabla 8 muestra la cantidad de animales por categoría.

Tabla 8. Cantidad de animales por categoría en El Zapato

Ganado	2007	2008	2009
Vacuno	1 529	1 633	1 305
Avícola	60	74	77
Porcino	91	13	5
Caprino	19	50	29
Ovino	86	84	38
Equino	17	18	19
Cunícola	61	38	27
Total	1 863	1 910	1 500

De la tabla anterior se infiere que en el año 2007 el ganado vacuno, porcino y ovino tuvieron la mayor representación, con 82,0%; 4,8% y 4,6%, respectivamente; mientras que en el siguiente año el componente vacuno aumentó con 85,5% del total; el porcino decreció, y el ovino pasó al segundo lugar, con el 4,4%, y el avícola ocupó el tercero, con el 3,8%. En 2009 decreció la cantidad total de animales, con mayor representación del ganado vacuno (87%) y el avícola (5,1%). Todos estos cambios en el componente animal inciden directamente en las emisiones de GEI.

Evaluación de las emisiones de GEI por el manejo de excretas

Del procesamiento de los datos se obtuvo que las emisiones de metano por fermentación entérica del ganado ocupan el primer lugar en los tres años evaluados. En 2007 poseían 1 529 cabezas de ganado, al año siguiente aumentó a 1 633, provocando que se incrementaran las emisiones de metano. En 2009 esta cifra decreció hasta 1 305, y las emisiones disminuyeron por debajo de los valores de 2007 (tabla 9). Las emisiones de metano por manejo del estiércol ocupan el segundo lugar, pero con valores menores que las de NO₂. En el caso de los cultivos, en esta UBPC también realizan las labores de mantenimiento y cosecha de los cultivos agrícolas de forma manual y sin fertilizantes.

Tabla 9. Destino de las excretas de los animales en la UBPC El Zapato

		2007	2008	2009
Número de animales		1 863	1 910	1 500
Estabulados		426	125	138
Pastoreo		1 437	1 785	1 362
Destino de las excretas de los animales estabulados (número de animales)	Almacenamiento sólido	947	1 004	800
	En laguna de oxidación	91	13	5
	Aplicación fresca diaria	825	893	695

Nota: Se consideran en la categoría de estabulados las aves, los conejos y los cerdos; el resto, en pastoreo.

Los coeficientes de emisiones son diferentes para cada tipo de animal y destino de las excretas. La tabla 10 presenta los resultados del procesamiento de la información.

Tabla 10. Emisiones de las actividades agrícolas y pecuarias de la UBPC El Zapato

	2007	2008	2009
Cantidad de animales	1 863	1 910	1 500
Fermentación entérica del ganado (Gg CH ₄)	5,176 10 ⁻⁵	5,547 10 ⁻⁵	4,690 10 ⁻⁵
Manejo de estiércol (Gg NO ₂)	5,246 10 ⁻⁷	3,273 10 ⁻⁷	5,244 10 ⁻⁸
Manejo de estiércol (Gg CH ₄)	1,234 10 ⁻⁶	1,190 10 ⁻⁶	9,855 10 ⁻⁷
Total de emisiones (CO ₂ e)	5,35 10 ⁻⁵	5,69 10 ⁻⁵	4,79 10 ⁻⁵

Nota: Gg (Giga gramos): 10⁹ g. Total de CO₂ e: suma de CO₂ e de las emisiones de metano y NO₂

Evaluación de la retención de carbono por el componente arbóreo

A pesar de que en 2009 se incorporaron nuevas especies en la evaluación del carbono retenido, este valor disminuyó, como consecuencia de la tala del lindero de almácigo y de las talas ilegales en la plantación de Ipil-Ipil. Esto incidió en la disminución del diámetro medio y, por ende, en el volumen y la biomasa. El carbono retenido en 2008 equivale a 132 032,26 t de CO₂ removido de la atmósfera, mientras que en 2009 equivale a 121 678,21 t (tabla 11).

Tabla 11. Evaluación del carbono retenido en la UBPC El Zapato (2008-2009)

Año	Especies	Edad (años)	Área (ha)	Altura (m)	Diámetro (cm)	C retenido (t)
2008	Ipil-Ipil	9	192,0	7,4	12,2	35 963,7
	Cayeput	6	0,3	5,3	7,4	43,7
	Almácigo	-	13 árboles	5,4	24,7	1,5
	Total					36 008,8
2009	Ipil-Ipil	10	192,0	7,56	11,75	32 832,7
	Cayeput	7	0,3	6,81	10,41	49,4
	Gmelina	7	1,5	4,27	6,20	197,5
	Casuarina	-	0,5	12,82	14,24	65,8
	Albizzia lebbbeck	-	0,3	4,29	6,91	39,6
	Total					33 185,0

Conclusiones

La importancia de los árboles en la retención de carbono está respaldada por los valores reportados en las parcelas evaluadas con diferentes edades y en diferentes ambientes. Estos resultados constituyen un fundamento para que los agricultores se sensibilicen e incorporen árboles en sus fincas y hagan un manejo adecuado de los que tienen.

Los talleres realizados con estas entidades sobre los resultados de las evaluaciones de las emisiones y la retención de carbono, han servido para capacitar al personal técnico y obrero, que ha comprendido la importancia de tomar medidas tecnológicas con el objetivo de disminuir las emisiones. Algunas de estas medidas son la mejora de las lagunas anaeróbicas, la utilización del estiércol que se obtiene de los animales estabulados, el método del cultivo del arroz, la incorporación de los árboles en las fincas y la aplicación de los tratamientos silvícolas correspondientes.

Durante el proceso resultó evidente la necesidad de mayor capacitación en el diseño e implementación de sistemas agroforestales.

TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS: SILVOPASTOREO

Tania Sánchez, Luis Lamela,
Taymer Miranda, Onel López y Katia Bover

ESTACIÓN EXPERIMENTAL INDIO HATUEY, UNIVERSIDAD DE MATANZAS

La producción de leche en Cuba, desde el triunfo de la Revolución hasta 1990, estuvo basada en sistemas de producción que contemplaban la utilización de concentrados elaborados con materias primas procedentes de otros países y el empleo de fertilizantes químicos importados. A comienzos de los años noventa se produjo un decrecimiento en las importaciones, las exportaciones y en el producto interno bruto, lo cual generó una crisis en la ganadería. Para tratar de salir de esta situación tan desalentadora, se inició un proceso de reconversión de las tecnologías de explotación del ganado lechero. De esta forma, se comenzó aplicar en el país la tecnología del silvopastoreo en las empresas estatales como vía para suplir el déficit de proteínas para alimento animal.

El silvopastoreo es una opción agropecuaria que involucra la presencia de los árboles en interacción con los componentes tradicionales, que son el pasto y el animal. Este conjunto es sometido a un sistema de manejo integrado con tendencia a incrementar la productividad y el beneficio neto del sistema a largo plazo.¹ Los estudios sobre sistemas sostenibles en el trópico recomiendan el silvopastoreo como una alternativa factible para los productores del sector estatal y privados que dispongan de pocos recursos. En este sentido, las formas más empleadas son el banco de proteína, la asociación de árboles en toda el área de pastoreo y las cercas vivas.

En las investigaciones realizadas, se notó que la presencia de los árboles en toda el área de pastoreo contribuyó a elevar los indicadores productivos con relación a lo alcanzado con el empleo de sistemas de gramínea sin fertilización,

¹ T.E. Ruiz, G. Febles (eds.), 1999. Sistemas silvopastoriles, conceptos y tecnologías desarrolladas en el Instituto de Ciencia Animal. EDICA, La Habana, Cuba. 33 p.

cuyos valores potenciales se encuentran entre 450 y 600 g/animal/día y de 8 a 10 kg/vaca/día.²

Los sistemas silvopastoriles ofrecen una opción para producir sin recurrir a fertilizantes químicos. Además, constituyen una vía para conservar el entorno, ya que promueven el mantenimiento de la cubierta arbórea en las explotaciones ganaderas. En este sentido, devienen sumideros de carbono y hábitats de diversos organismos o corredores que permiten la conectividad entre ecosistemas más estables. Los árboles leguminosos tienen la capacidad de establecer una relación simbiótica con microorganismos capaces de fijar el nitrógeno atmosférico y transformarlo en formas asimilables para las plantas.³

Por otra parte, los árboles y arbustos modifican la fermentación ruminal, lo que se ha comprobado al identificarse un número de plantas que contienen compuestos antiprotozoarios y propiedades antimetanogénicas. Las saponinas y taninos presentes en muchas de ellas deprimen la producción de metano, reducen los conteos de protozoos del rumen y cambian los patrones de fermentación.⁴

A pesar de los impactos positivos del silvopastoreo, su adopción en Cuba es aún limitado; de ahí que se comenzara la introducción en las cooperativas con el apoyo financiero del proyecto «Efectos de la innovación agrícola local en la emisión de gases con efecto invernadero y el balance energético de los sistemas productivos en Cuba», que, como parte del Programa de Innovación Agropecuaria Local (PIAL), se ejecuta en varias provincias del país.

² I. Hernández, L. Simón y P. Duquesne, 1996. Evaluación del comportamiento de tres leguminosas asociadas con *Panicum maximum* cv. Likoni en la ceba de toros. Resúmenes. Taller «Los árboles en los sistemas de producción ganadera». EEPF Indio Hatuey, Matanzas, Cuba. p. 11; y T. Sánchez, L. Lamela, O. López y M. Benítez, 2008. Comportamiento productivo de vacas lecheras Mambí de Cuba en una asociación de gramíneas y *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham. *Pastos y Forrajes* 31 (4): 371.

³ M. Ibrahim y J. Mora, 2006. Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios. En: *Memorias de una conferencia electrónica «Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales»*. CATIE, Turrialba, Costa Rica. p. 10; y C. Harvey, 2006. La conservación de la biodiversidad en sistemas silvopastoriles. En: *Memorias de la conferencia electrónica «Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales»*. CATIE, Turrialba, Costa Rica. p. 23.

⁴ J. Galindo, 2004. Efecto de metabolitos secundarios de especies vegetales arbóreas y arbustivas en la población microbiana ruminal de animales. Proyecto Optimización de la fermentación microbiana ruminal mediante el empleo de técnicas manipuladoras. Programa Biotecnología Agrícola. Informe final etapa de investigación. CITMA. La Habana, Cuba; y Wei-Lian Hu, Jian-Xin Liu, Jun-An Ye, Yue-Min Wu y Yan-Qiu Guo, 2005. Effect of tea saponin on rumen fermentation in vitro. *Animal Feed Science and Technology* 120: 333-339.

Este proyecto ha estimulado la multiplicación del silvopastoreo como alternativa de alimentación para el ganado, ya que contribuye a diversificar la base alimentaria de las fincas y a mejorar el balance emisión-captura de gases de efecto invernadero a partir de su contribución en términos de carbono secuestrado y reducción de metano. El Centro Local de Innovación Agropecuaria (CLIA), en la provincia de Matanzas, organizó un programa para introducir la tecnología durante los tres años de ejecución del proyecto en las fincas de los productores cuyo objeto social fuera la ganadería, para lo cual se elaboró un plan de siembra en más de veinte fincas.

Entre las actividades fundamentales emprendidas, se aviveraron 70 000 posturas por año, principalmente de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. (*leucaena*), y se introdujeron especies maderables y frutales. Se realizaron talleres de capacitación y visitas con los productores a lugares donde la tecnología del silvopastoreo estaba establecida y con años de explotación. Todas estas acciones propiciaron la siembra de 90 hectáreas de asociaciones de árboles en toda el área de pastoreo que se encuentran en fase de establecimiento (tabla 1).

Tabla 1. Establecimiento de sistemas silvopastoriles en fincas

Municipio	Cooperativas	Productores	ha
Colón	2	4	29
Perico	3	5	22
Cárdenas	2	2	2
Jovellanos	1	2	13
Pedro Betancourt	1	2	14
Martí	2	2	4
Jagüey Grande	1	1	10
Total	12	17	90

Las acciones: estudios de casos

Caso 1

Uno de los casos de éxito en la implementación de la tecnología se encuentra en la finca La Quinta, ubicada a 3 km del municipio Colón, perteneciente a la Cooperativa de Créditos y Servicios (CCS) Antonio Maceo y con 33,6 ha. Los suelos son de baja fertilidad y de relieve ligeramente ondulado (con un declive menor de 2%). Su actividad fundamental es la producción de leche, con

una masa de 59 bovinos y el 68,5% del área dedicada a la ganadería, aunque también ocupa parte de su superficie con cultivos varios (tabla 2). La finca es manejada fundamentalmente con fuerza de trabajo familiar. Laboran el dueño, otros miembros de la familia y dos obreros contratados. La familia cuenta hoy con seis miembros (2 progenitores y 4 hijos).

Tabla 2. Distribución de áreas de la finca La Quinta por subsistemas productivos antes de la intervención del CLIA

Subsistema agrícola		Subsistema pecuario		Subsistema forestal	
Especie	Área (ha)	Especie	Área (ha)	Especie	Área (ha)
Cultivos permanentes	4	Pastos/ leguminosas	-	Bosques dispersos	
Cultivos en rotación	5	Pastos naturales	23	Monte y manigua	7
Frutales	dispersos	Forrajes	1		

La introducción de la tecnología del silvopastoreo en 7 ha, antes ocupadas por *Acacia farnesiana* (L.) Willd. (aroma) y *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn. (marabú), permitió la reconversión de estas áreas en sistemas con árboles leguminosos (tabla 3), que se emplean en la alimentación de las vacas en ordeño. Este sistema se dividió en 6 cuartones y se utiliza una carga de 2 vacas/hectárea y tres días de estancia. Con la siembra de árboles se han producido cambios en la composición florística del pastizal en relación con el resto del área, al incrementarse la diversidad del estrato herbáceo (tabla 4).

Tabla 3. Distribución de áreas de La Quinta después de la intervención del CLIA

Subsistema agrícola		Subsistema pecuario		Subsistema forestal	
Especie	Área (ha)	Especie	Área (ha)	Especie	Área (ha)
Cultivos permanentes	4	Pastos/ leguminosas	7	Bosques dispersos	
Cultivos en rotación	5	Pastos naturales	23	Monte y manigua	-
Frutales	dispersos	Forrajes	1		

En el sistema silvopastoril se encontraron 25 especies, mientras que en el monocultivo de pastos, solo 13. Dentro de las especies nuevas se destacan la guinea, la bermuda común, la pangola y el pasto estrella.

Tabla 4. Composición florística de la finca La Quinta (%)

Especie	Monocultivo	Sistema silvopastoril
<i>Acacia farnesiana</i> L. Willd (aroma)	0,49	7,40
<i>Alicicarpus vaginalis</i> L. (maní cimarrón)	-	0,45
<i>Brachiaria plantaginea</i> (Link) Hitchcock (brachiaria)	-	2,02
<i>Brachiaria subcuadripara</i> (Trinius) Hitchcock	-	5,38
<i>Brachiaria purpurascens</i> (Raddi) (hierba bruja)	-	0,67
<i>Cassia occidentalis</i> L. (yerba hedionda)	5,94	0,22
<i>Cynodon nlemfuensis</i> Vanderyst (pasto estrella)	-	0,22
<i>Cynodon dactylon</i> L. Pers.(bermuda común)	-	3,36
<i>Desmodium triflorum</i> L. Decandolle (pegapega)	-	0,67
<i>Dichantium caricosum</i> (jiribilla)	27,75	-
<i>Digitaria decumbens</i> Stewt. (pangola)	-	1,57
<i>Eleusine indica</i> L. Gaertn (pata de gallina)	-	0,45
<i>Hymenachne amplexicaulis</i> Nees (paja de agua)	-	0,67
<i>Hyparrhenia rufa</i> (Nees) Stapf (faragua)	2,97	0,67
<i>Mimosa pigra</i> L. (sensitiva mimosa)	0,49	-
<i>Mimosa púdica</i> L. (dormidera)	9,40	13,90
<i>Paspalum virgatum</i> L. (caguazo)	7,92	6,50
<i>Panicum maximun</i> cv. Likoni Jacquín (guinea)	0,94	3,59
<i>Paspalum notatum</i> Fluegge (sacasebo)	38,61	2,91
<i>Paspalum</i> sp. (sacasebo)	-	1,12
<i>Setaria geniculata</i> (Willd.) Beauv. (rabo de gato)	-	10,09
<i>Sida rhombifolia</i> Lin. (malva de cochino)	0,99	2,47
<i>Sesbania</i> sp. (sesbania)	-	2,91
<i>Sporobolus</i> sp.	3,46	1,79
<i>Sporobolus indicus</i> L. R. Br. (espartillo)	-	10,99
<i>Teramnus labialis</i> L. f. Sprengel (teramnus)	0,99	-
<i>Walteria americana</i> Lin. (malva blanca)	-	16,14

Otros efectos del trabajo participativo del CLIA en la finca fueron:

- Incremento de la diversidad de árboles, distribuidos en 22 especies de frutales, 9 de uso forestal y 4 que son empleadas como postes vivos en los cercados. Las especies forestales predominantes son *Bursera simaruba* L. (almácigo) y *Spondias mombin*, Lin. (jobo).
- Incorporación de residuos de cosecha y humus de lombriz para la nutrición del suelo y los cultivos.
- Empleo de rotaciones de cultivos, policultivos y otras prácticas fitotécnicas que incrementan el uso equivalente de la tierra.
- Control de plagas agrícolas a través de un manejo integrado, mediante el cual se han establecido barreras de maíz o sorgo con siembra en fecha óptima y selección negativa de plantas enfermas.
- Establecimiento de un sistema de producción de semillas bajo condiciones controladas que se almacenan en ambiente seco.
- Adopción del método de labranza mínima para proteger la estructura física, la composición química y la vida del suelo.

Caso 2

La tecnología también se introdujo en una finca de 70 ha de la Estación Experimental Indio Hatuey, situada en áreas aledañas al municipio de Perico, Matanzas. El suelo se clasifica como Ferralítico rojo típico, la temperatura media anual es de 23 °C y el promedio de precipitaciones, de 1 300 mm. El trabajo se inició con un diagnóstico en la finca, cuya actividad fundamental es la producción de leche. Cuenta con una masa total de 183 cabezas de ganado vacuno mestizo (tabla 5).

Tabla 5. Composición de la masa vacuna

Categoría	Número (cabezas)	Categoría	Número (cabezas)
Vacas totales	33	Añojos	69
Vacas en ordeño	15	Añojas	20
Terneros	21	Novillas	8
Ternereras	17		

El área está cubierta por gramíneas mejoradas sin fertilización química. Las vacas en ordeño reciben suplementación proteica con Norgol (residuo de

destilería del maíz) según sus resultados productivos. El ecosistema estudiado está compuesto por áreas de pastos, forrajes y forestal, además de una fuente de agua (pozo), un canal y marabuzales. En general, se aprecia un descenso en la disponibilidad de bienes y servicios que se obtienen de estos componentes. Solo aquellos asociados al marabuzal han aumentado como consecuencia del incremento de las áreas infestadas en la finca en estudio (tabla 6).

Tabla 6. Cambios en la disponibilidad de bienes y servicios de los componentes del ecosistema

Componente	Bienes y servicios	1980-1990	1991-2000	2001-2010
Animales	Codorniz, gallareta, gallinuela, yaguaza, zunzún	10	7	6
Área de pastos	Alimento para el ganado, carne, leche, animales silvestres, refugio de fauna	10	6	5
Área forrajera	Conservación del suelo, alimento para el ganado	10	8	4
Forestal	Madera, leña, carbón, muebles, aire puro, fijación de carbono, frutas, refugio de fauna, animales silvestres, plantas medicinales	0	10	5
Marabú	Conservación del suelo, refugio de fauna, animales silvestres	0	3	10
Agua	Agua para animales y siembras, refugio de fauna	10	10	10
Canal	Drenaje natural, refugio temporal de animales, agua para animales de forma temporal	10	8	5

Nota: Escala 0-10, donde 10 es el valor de máxima de disponibilidad, 5 el medio y 0 el mínimo.

Los cambios ocurridos en el área durante los últimos treinta años reflejan la fuerte tendencia al monocultivo, lo que propició el deterioro de los suelos de la zona. También han influido factores de índole económico (carencias de insumos) y de manejo, que han propiciado la diseminación de plantas invasoras, como el marabú, en detrimento de la supervivencia de especies de pastos mejorados.

En su expansión, el marabú redujo los niveles de producción de biomasa para el consumo animal, lo que repercutió en la producción de leche y, en última instancia, en los niveles de ingresos de los trabajadores y las familias que dependen de esta actividad.

La tecnología del silvopastoreo se implementó en 9,5 ha, de las cuales 1,6 ha están establecidas y el resto se encuentra en fase de fomento. La leucaena se estableció a los siete meses con una altura de 2 metros. De las áreas que se fomentaron en 1,6 hectáreas, se empleó micorrizas al momento de la siembra. En este sentido, se encontraron diferencias para la altura, número de ramas y el grosor del tallo, en todos los casos el mayor valor se halló cuando se utilizó micorrizas (tabla 7).

Tabla 7. Efecto del empleo de micorrizas al momento de la siembra en el establecimiento de *L. leucocephala*

Indicador	Altura		Número de ramas		Grosor del tallo	
	con	sin	con	sin	con	sin
Media	157,65	140,91	13,54	11,68	1,03	0,79
Significación	P≤0,001		P≤0,01		P≤0,001	

Conclusiones y futuro

La principales limitaciones para implementar la tecnología son:

- Falta de capacitación de los productores estatales y privados en sistemas silvopastoriles.
- Poca disponibilidad de semillas de especies arbóreas como leucaena, *Albizia lebbek* (L.) Benth. (albizia) y maderables.
- Falta de combustibles para desbrozar marabú y preparar tierra.
- Carencia de otros insumos necesarios para mantener las nuevas siembras hasta su establecimiento (machetes, limas, guantes, entre otros).

No obstante, por los beneficios descritos en este trabajo, muchos productores han mostrado interés en utilizar el silvopastoreo para la alimentación del ganado de leche.

TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA PARA REDUCIR EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Ybrahim López, Vladimir Reyes, Anayansi Arbert

FACULTAD AGROPECUARIA DE MONTAÑA DEL ESCAMBRAY, UNIVERSIDAD DE SANCTI SPÍRITUS

Fernando R. Funes-Monzote

ESTACIÓN EXPERIMENTAL INDIO HATUEY, MATANZAS

La investigación relacionada con la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), el calentamiento global como su consecuencia y sus repercusiones ambientales y socioeconómicas, ha recibido una gran atención en los últimos años. Instituciones y organizaciones de diversas ramas de la economía y la sociedad han insertado en sus programas de investigación, desarrollo y docencia las tendencias actuales de desarrollo sostenible, incluyendo los temas relacionados con el cambio climático. A nivel internacional, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) y el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) tratan de combinar y unificar las distintas propuestas de evaluación, cuantificación, reducción y mitigación de este fenómeno.

En 1987 comenzó a implementarse en Cuba el Programa para el Desarrollo de las Regiones Montañosas, conocido como Plan Turquino, que contó con la participación y el apoyo de los organismos de la administración central del Estado. En el transcurso del siguiente año se crearon las Comisiones de Repoblación Forestal a nivel de municipio, provincia y nación, que formaron parte del Sistema de Repoblación Forestal denominado Plan Manatí.¹ Forzada por la pérdida de sus principales mercados a inicios de la década de los noventa y la drástica reducción de los insumos agroquímicos y combustibles fósiles, Cuba se convirtió en proceso más masivo de transición hacia una agricultura orgánica o semiorgánica a nivel mundial.²

¹ ANPP (Asamblea Nacional del Poder Popular), 1991. El programa alimentario. Editorial José Martí, La Habana. 198 p.

² F. Funes, L. García, M. Bourque, N. Pérez y P. Rosset, (eds.), 2001. Transformando el campo cubano: Avances de la agricultura sostenible. ACTAF, La Habana. 286 p.

Las potencialidades de este enfoque para la producción sostenible de alimentos han quedado demostradas en la práctica.³ Sin embargo, a pesar de que existen sobradas evidencias de la eficiencia productiva de la agricultura orgánica, es necesario continuar investigando la contribución de las prácticas y métodos agroecológicos y la innovación agropecuaria local a la fijación del carbono, la emisión de GEI, y el balance energético de los sistemas productivos.⁴

El Programa de Innovación Agropecuaria Local (PIAL) comenzó en el año 2000 con el apoyo de varias agencias donantes para promover cambios en los sistemas productivos con una orientación participativa y agroecológica.⁵ Así, la evaluación de las variables relacionadas con el cambio climático permitió reforzar la perspectiva ambiental del proyecto y la búsqueda de incentivos como certificación de fincas productivas con prácticas ambientalmente apropiadas y balance energético positivo.

El propósito principal del proyecto de reducción de gases de efecto invernadero e innovación agropecuaria local se dirigió a implementar un sistema de pagos por servicios ambientales, así como a reconocer los productos y procesos de innovación local con un sello de calidad distintiva.⁶ Con tal fin, se evaluó la contribución que hacen las fincas de montaña a la mitigación de GEI al incorporar prácticas agroecológicas en los sistemas agrícolas de Topes de Collantes. Tres objetivos específicos guiaron las acciones: 1) evaluar la eficiencia energética de cuatro fincas de esta localidad entre los años 2007 y 2010, 2) realizar estimados de retención de carbono en la biomasa, necromasa y suelo del área forestal de las fincas en estudio y 3) estimar su volumen de emisión anual de GEI.

Metodología

La investigación fue realizada en cuatro de las dieciséis fincas pertenecientes al proyecto «Desarrollo de sistemas descentralizados y participativos de garantías ambientales en Cuba». Las fincas se ubican en el macizo montañoso Guamuhaya, específicamente en la zona de Topes de Collantes. En una primera etapa, se hicieron mediciones directas, encuestas, entrevistas y observa-

³ B. Machín, A. Sosa, M. Roque, J. Dana, R. Ávila y P. Rosset, 2010. *Revolución Agroecológica: El Movimiento de campesino a campesino de la ANAP en Cuba*. 80 p.

⁴ PIAL, 2006. *Proyecto «Fitomejoramiento Participativo Fase II, Programa para Fortalecer la Innovación Agrícola Local»*. Informe de etapa. INCA, La Habana.

⁵ PIAL, 2003. *Informe final del proyecto «Fitomejoramiento Participativo como estrategia complementaria en Cuba»*. INCA, La Habana.

⁶ PIAL, 2006. Ob. cit. en nota 4.

ción participativa.⁷ En la segunda etapa, se compararon los resultados de cuatro años del balance energético, la estimación de la captura de carbono y la emisión de GEI que se producen a nivel de finca.

Para realizar el cálculo del balance de energía, se utilizó el software Energía 3.0.⁸ Los indicadores de la eficiencia energética que se midieron fueron: 1) producción energética total, 2) balance energético, 3) cantidad de personas que alimenta el sistema desde el punto de vista energético y proteico, y 4) costo energético de la producción a través de los insumos empleados. El estimado de retención de carbono se realizó según la metodología propuesta por Mercadet y Álvarez⁹ y para la estimación del volumen de emisión de GEI anual, desde las distintas fuentes en las fincas, se tuvo en cuenta la metodología propuesta por el IPCC¹⁰ y el software Módulo 4. XIS de Agricultura. Los GEI estudiados a nivel de finca fueron: metano (CH₄) proveniente de las deyecciones y digestión de rumiantes; óxido nitroso (N₂O) provocado por los cambios de uso del suelo, el empleo de fertilizantes nitrogenados, el manejo de residuos de cosecha y el uso de agroquímicos; y el dióxido de carbono (CO₂) emitido por la quema de sabanas y residuos de cosecha.

Las fincas participantes en el estudio se caracterizaron por emplear prácticas agroecológicas, como cero labranza, diversidad de especies y variedades vegetales, así como de especies y razas animales, conservación y mejoramiento de suelos, reforestación, ahorro de agua, manejo integrado en la nutrición del suelo, manejo integrado para el control de plagas y enfermedades, uso de semillas de buena calidad, fabricación de piensos criollos, tracción animal y adecuación de implementos, y conservación de alimentos. Estas prácticas y sus variaciones dentro de las fincas influyeron en diferente grado sobre la eficiencia energética, la captura y retención de CO₂ y la emisión de CH₄, N₂O y CO₂.

⁷ F. Geifus, 2005. 80 herramientas para el desarrollo participativo. Diagnóstico, planificación, monitoreo y evaluación. GTS/IICA, INCA (Rural). SAGARPA.

⁸ F.R. Funes-Monzote, 2006. Elementos prácticos sobre el cálculo de la eficiencia energética (Sistema computarizado ENERGIA). Estación Experimental Indio Hatuey, Matanzas. 43 p.; y CEDECO, 2006. Agricultura orgánica y gases con efecto invernadero. San José. Costa Rica. Disponible en <http://www.cedeco.or.cr>.

⁹ A. Mercadet, A. Álvarez y O. Ortiz, 2007. La economía ecológica vista en la retención y secuestro de carbono como una vía para mitigar el cambio climático en el sector forestal. Memorias IV Congreso Forestal de Cuba. Palacio de las Convenciones, La Habana.

¹⁰ Ver IPCC, 2000. Methodological and Technical Issues in Technology Transfer. A Special Report of IPCC Working Group III. B. Metz, O.R. Davidson, J.W. Martens, S.N.M. van Rooijen y L. van Wie McGrory, L. (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 466 p.

Producción de energía

Casi todas las fincas evaluadas aumentan su producción energética, destacándose La Perla y La Cuba, que alcanzaron alrededor de 12 GJ/ha/año (figura 1). Contar con huerto familiar y mayor diversidad de cultivos, hizo que esta finca pudiera aplicar un mayor número de prácticas agroecológicas y obtener niveles superiores de producción por unidad de área cultivada. Las fincas La Paloma y Providencia, en un estadio más atrasado de transición y con menor proporción de área de cultivo, produjeron menos energía.

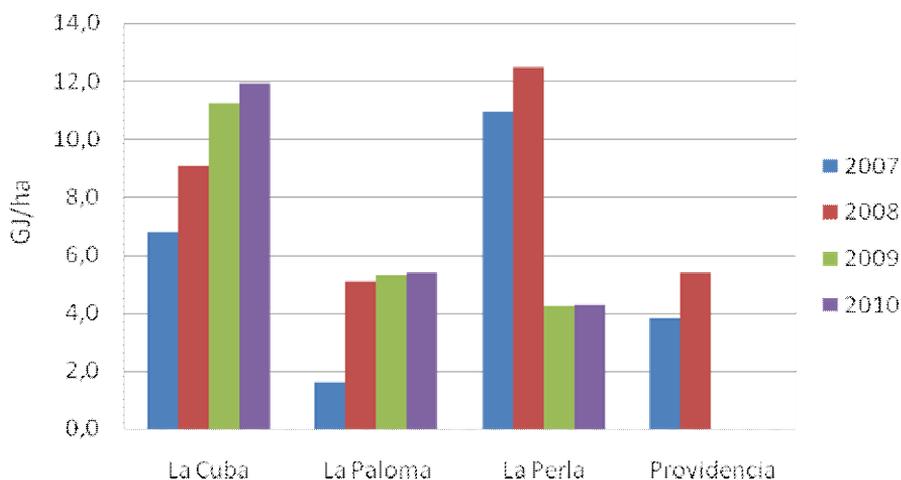


Figura 1. Producción de energía (GJ/ha)

Eficiencia energética

La tabla 1 muestra la eficiencia energética de las fincas en estudio, expresada como la energía producida en forma de alimentos por unidad de energía invertida a través de los insumos productivos utilizados. La finca La Cuba incrementó sostenidamente su eficiencia energética, y fue la más estable de todas, evidencia de un mejor aprovechamiento de los recursos y menor gasto de insumos productivos. Como puede apreciarse, aunque La Perla alcanzó un promedio de eficiencia energética similar, esta tuvo mayores variaciones en su comportamiento. El factor que más influyó en las diferencias de eficiencia energética entre las fincas fue el uso de tracción animal para preparar el suelo, lo que presupondría un mayor costo energético que el trabajo humano. Las fincas que obtuvieron mejores valores de eficiencia energética realizaron un reciclaje más dinámico de nutrientes a través de la fabricación de compost y vermicompost, que contribuyeron a incrementar la fertilidad del suelo.

Tabla 1. Eficiencia energética (salidas/entradas)

	La Cuba	La Paloma	La Perla	Providencia
2007	2,0	0,5	7,7	2,3
2008	3,1	2,0	3,9	3,7
2009	4,3	2,3	1,8	-
2010	5,2	2,9	1,9	-
Promedio	3,7	1,9	3,8	3,0
Desviación St.	1,4	1,0	2,8	1,0

Estos resultados coinciden con los de otros autores,¹¹ quienes al evaluar sistemas de producción agroecológicos en Cuba, bajo condiciones de insumos y determinantes socioeconómicas similares, encontraron rangos de eficiencia energética entre 2 y 10. Otro estudio en fincas integradas ganadería-agricultura evaluadas durante cinco años¹² coincide con los valores de eficiencia energética observados en las fincas de montaña. Esto reafirma que el factor región en sí mismo no determina la eficiencia energética de los sistemas de producción de alimentos.

El bajo uso de insumos externos, como fertilizantes químicos, concentrados para la alimentación animal y diesel en los agroecosistemas evaluados en Topes de Collantes, fueron determinantes en el incremento de la eficiencia energética. La incorporación de prácticas agroecológicas ha resultado en un aumento en la producción de más energía (alimentos) que la que se emplea durante el proceso en forma de insumos.

Podría afirmarse que las fincas de montaña presentan una tendencia a la alta eficiencia energética, dada por la estabilidad y resiliencia de las prácticas de manejo predominantes en estos agroecosistemas, que contribuye a su sostenibilidad. Aún sin haberse alcanzado los resultados productivos y de eficiencia esperados, el potencial estimado se logrará en la medida en que se incorporen prácticas agroecológicas apropiadas y se realice un uso más intensivo, de forma ecológica, de los recursos disponibles en la montaña.

¹¹ F.R. Funes-Monzote, M. Monzote, E.A. Lantinga, C.J.F. Ter Braak, J.E. Sánchez y H. Van Keulen, 2009. Agro-Ecological Indicators (AEIs) for dairy and mixed farming systems classification: Identifying alternatives for the Cuban livestock sector. *Journal of Sustainable Agriculture* 33 (4): 435-460. DOI: 10.1080/10440040902835118

¹² F.R. Funes-Monzote, 2007. Aspectos teóricos e implicaciones de la eficiencia energética en los sistemas de producción agropecuarios. Conferencia del Segundo Taller de Gases de Efecto Invernadero. Estación Experimental Indio Hatuey, Matanzas.

Investigaciones realizadas por la Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense (CEDECO)¹³ en Costa Rica, que compararon fincas orgánicas y en transición, también reportaron rangos de eficiencia energética similares (entre 0,60 y 4,93 calorías producidas por calorías invertidas) que los obtenidos en nuestros sistemas agrícolas de montaña; aunque en los sistemas costarricenses se evaluaron monocultivos, como café, hortalizas y plátano, de bajo valor energético.

La alta eficiencia energética de las fincas de Topes de Collantes se debe a las características intrínsecas de los sistemas agrícolas locales, que tienen un uso muy bajo o nulo de la mecanización, utilizan ampliamente la tracción animal y aplican muy bajos niveles de agroquímicos. Sin embargo, una alta eficiencia energética no estuvo acompañada por una alta productividad del sistema, en términos de alimento por unidad de superficie, aspecto que debe continuarse estudiando y se presenta seguidamente.

Cantidad de personas que alimenta cada hectárea

Entre los años 2007 y 2010, todas las fincas evaluadas lograron aumentar el número de personas que sustentan tanto desde el punto de vista energético como proteico (figuras 2 y 3). La finca La Cuba tuvo los mejores rendimientos en términos de producción de energía (9,8 GJ/ha/año) y proteína (103,3 kg/ha/año) promedio en el período evaluado.

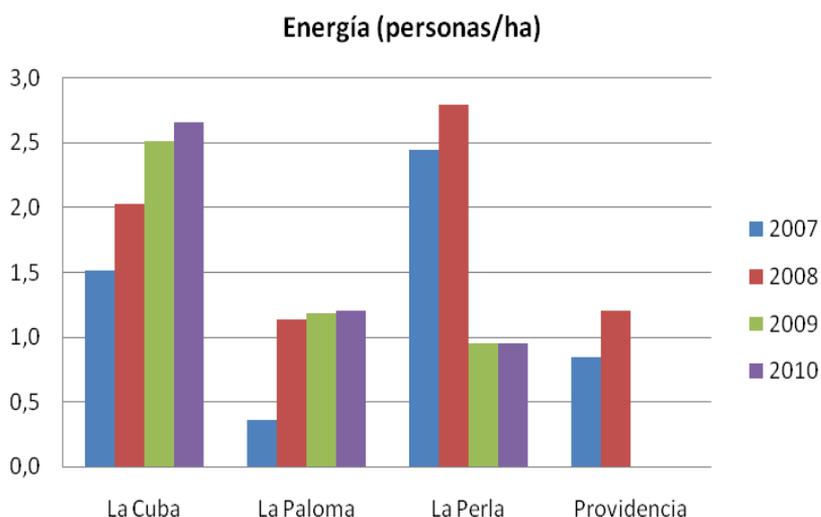


Figura 2. Personas que alimenta el sistema por hectárea por año (energía)

¹³ CEDECO, 2006. Ob. cit. en nota 8.

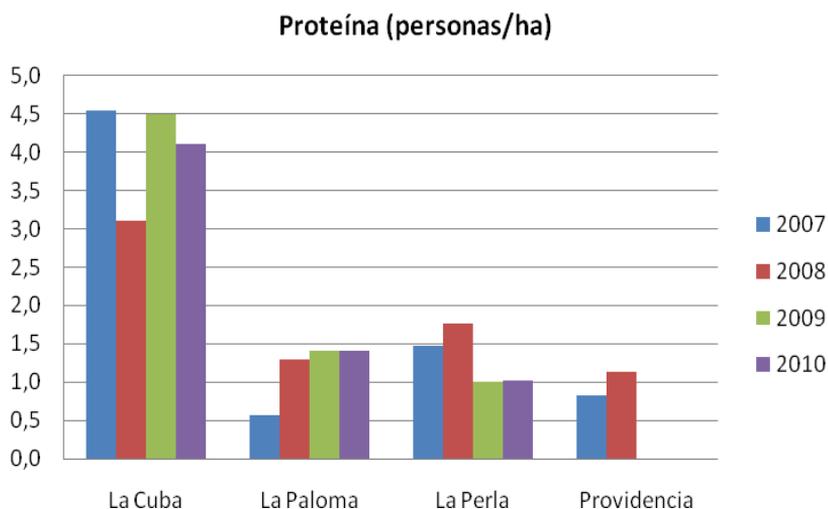


Figura 3. Personas que alimenta el sistema por hectárea por año (proteína)

Tras la incorporación de nuevos cultivos y variedades, todas las fincas produjeron mayor cantidad de proteína vegetal, motivadas también por el aumento de la demanda de vegetales en la zona y el incremento de los huertos domésticos, que han sido incentivados por un microproyecto liderado por la productora Odalis Aroche.

Otro microproyecto del PIAL se dedica a la diseminación de la gallina campera y está liderado por los productores Daniel Pérez y Odalis Aroche. Se ha observado una tendencia al incremento en la producción de proteína en todas las fincas, entre ellas se destaca La Cuba, que produce energía suficiente para alimentar a cuatro personas por hectárea por año. La diversidad de especies y razas animales en todas las fincas ha aumentado: conejos, cerdos, gallinas y ganado ovino-caprino. Sin embargo, en los valores de la proteína animal, las fincas que alimentan mayor cantidad personas no son precisamente las de mayor diversidad de especies animales, por contar con ganado vacuno que aporta gran cantidad de leche y carne bovina anual.

La energía transformada y convertida en alimento por estos sistemas productivos de montaña puede alimentar a un gran número de personas con alta eficiencia. Si se mantiene esta tendencia en todas las fincas del área, se contribuiría a la soberanía alimentaria de las zonas montañosas. Este resultado coincide con Amador y otros autores,¹⁴ que proponen establecer ciclos de

¹⁴ M. Amador, J. Castro y R. Gabriel, 2007. Estrategia de certificación de fincas. Memorias Seminario Internacional Calentamiento Global y Agricultura Ecológica. Bullas, Murcia, España. Disponible en <http://www.climaagroecologico.org>.

energía y nutrientes cerrados, aprovechando los procesos de reciclaje y control natural, con considerable ahorro de insumos.

El costo energético de los insumos productivos en las cuatro fincas es muy bajo. El uso racional de los recursos y los insumos productivos es la base para lograr la eficiencia energética, que de manera general manifiesta una tendencia a reducir el gasto en insumos productivos y el costo energético de la producción. Esto evidencia una mejor aplicación del manejo agroecológico de los recursos internos del sistema productivo y la disminución de los insumos externos.

Retención de carbono total y carbono por hectárea

La finca La Paloma muestra el valor más alto de retención de carbono (t/ha), seguida por La Cuba y Providencia (figura 4). La diferencia en el carbono total retenido se debe a la cantidad de área cubierta de vegetación arbórea, la altura y el diámetro promedio del fuste de los árboles, así como a las especies que predominan en cada sistema agroproductivo.

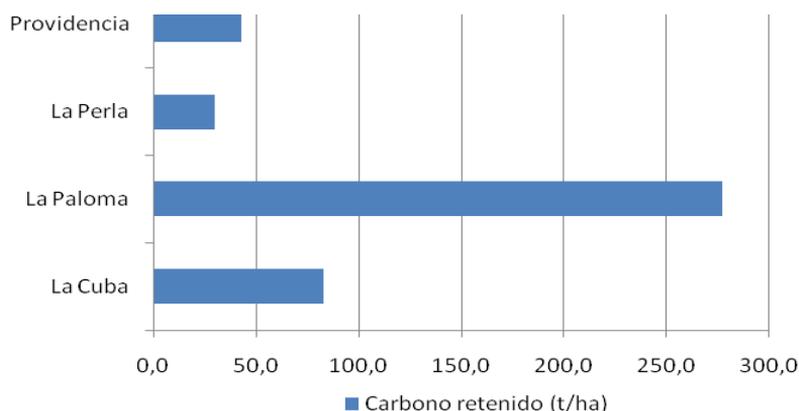


Figura 4. Retención de carbono

Carbono retenido en la biomasa, la necromasa y el suelo

La tabla 2 muestra el carbono retenido en la biomasa, la necromasa y el suelo. La finca La Perla, a pesar de tener mayor superficie cubierta de forestales, es la de menor carbono retenido en la biomasa, mientras que La Paloma y La Cuba son las de mayor cantidad de carbono retenido en la biomasa, con 152,7 t y 128,6 t, respectivamente. Esto se debe fundamentalmente a la estructura de especies en estas fincas y su estado vegetativo. En cuanto al carbono retenido en la necromasa y el suelo, la finca La Perla supera a las demás, lo que corrobora que la cantidad de área cubierta por vegetación arbórea es la causa fun-

damental de la diferencia de carbono total. Para el cálculo del carbono retenido en la necromasa y el suelo, se tuvo en cuenta el área cubierta por bosque compacto, según la metodología de Mercadet y Álvarez.¹⁵

Tabla 2. Carbono retenido e la biomasa, la necromasa y el suelo

Fincas	Área total (ha)	CRBM (t)	CRNM (t)	CRS (t)
La Cuba	13,4	128,6	129,2	851,8
La Paloma	13,4	152,7	12,3	141,5
La Perla	26,0	58,2	473,2	3185,1
Providencia	26,8	69,1	55,0	811,2

Nota: CRBM (carbono retenido en la biomasa), CRNM (carbono retenido en la necromasa), CRS (carbono retenido en el suelo)

Los resultados obtenidos demuestran la estrecha relación que existe entre el volumen, la biomasa total y el carbono retenido en la biomasa. Está claro que la edad de las plantas desempeña un importante papel en el incremento del diámetro y la altura. Es por ello que bajo condiciones edafoclimáticas similares, una misma especie muestra valores diferentes de retención de una finca a otra. Algunos autores refieren que las especies que capturan mejor el carbono son el pino (*Pinus caribea* Morelet), el cedro (*Cedrela odorata*) y la caoba (*Swietenia mahagoni*).¹⁶ El carbono retenido en la necromasa y el suelo es mayor en la finca La Perla debido a que posee mayor superficie plantada, esto explica por qué a pesar de ser la finca con menor diversidad de especies y biomasa total, es la de mayor carbono retenido. Estos resultados son similares a los obtenidos por Mojena¹⁷ en estudios de plantaciones forestales de la provincia Granma.

Relación entre carbono retenido en la biomasa y biodiversidad

La biomasa forestal tiene gran importancia en la captura y retención del CO₂ atmosférico a través de la actividad fotosintética. Estos resultados se asocian con las especies predominantes y se presentan en el figura 4, que incluye los índices de diversidad de Menhinick (DMn) (de riqueza específica) y el de

¹⁵ A. Mercadet y A. Álvarez, 2007. Ob. cit. en nota 9.

¹⁶ L. Mercado, 2004. Creando mercados para servicios ambientales [Versión electrónica], 29. Disponible en www.undp.org/cu; y A. Mercadet, A. Álvarez y O. Ortiz, 2007. Ob. cit. en nota 9.

¹⁷ O.E. Mojena, 2007. Estudio sobre la mitigación de cambio climático por los bosques de la empresa forestal integral Bayamo. Trabajo presentado en IV Congreso Forestal de Cuba. Palacio de las Convenciones, La Habana.

Berger-Parker (d) (abundancia proporcional). Este último indica que La Paloma tiene un 87% de abundancia proporcional que corresponde al pino sobre las demás especies. Le sigue La Cuba, que también presenta un índice alto de abundancia proporcional (55%) en la misma especie.

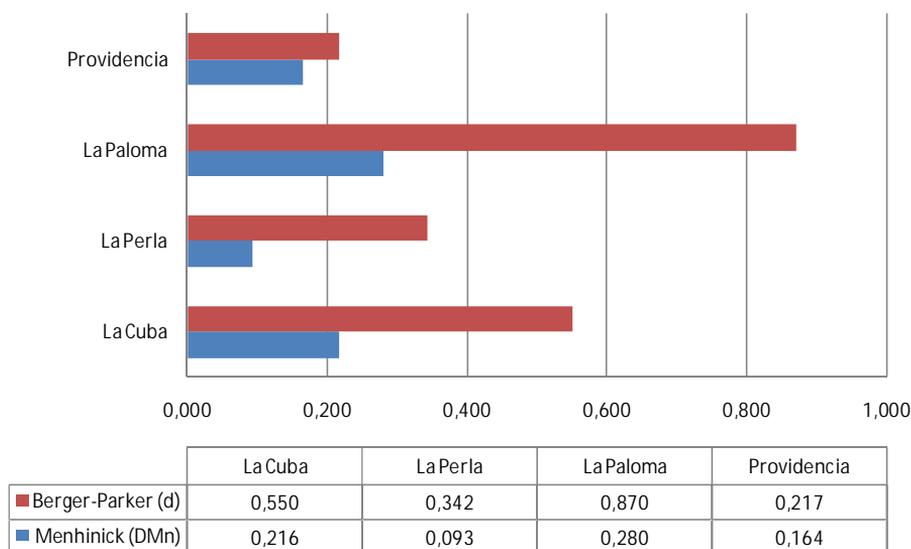


Figura 4. Índices de biodiversidad de especies forestales

Según Mercado, Álvarez y otros,¹⁸ el pino es una de las especies con mayores potencialidades para capturar y retener carbono, lo que se corrobora en este trabajo al ser esa especie la que determina la cantidad de CO₂ retenido en la biomasa en dos de las fincas estudiadas. Se trata además de una especie muy utilizada para los planes de reforestación, por su importancia económica. De acuerdo con el IPCC,¹⁹ la disminución de la deforestación y la ayuda a la regeneración, la repoblación forestal y la agrosilvicultura, constituyen las principales medidas de mitigación para conservar y secuestrar carbono.

La disminución de la deforestación y la ayuda a la regeneración en las regiones tropicales (unas 22-50 Gt C), la repoblación forestal y la agrosilvicultura (23 Gt C), son perfectamente alcanzables e incluso superadas por las fincas de montaña, si se tienen en cuenta las especies de árboles que, además de

¹⁸ L. Mercado, 2004. Ob. cit. en nota 16; A. Álvarez y A. Mercadet y O. Ortiz, 2007. Ob. cit. en nota 9.

¹⁹ IPCC, 2001. Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Metz, B., Davidson, O.R., Swart, R., Pan, J. (eds.). Cambridge University Press, Reino Unido, 752 p.

su importancia económica, contribuyen a la captura y el almacenamiento de CO₂. Pero para reducir considerablemente las emisiones de carbono, habrá que establecer medidas que proporcionen beneficios económicos y de otra índole a nivel local, a la vez que permitan conservar y secuestrar carbono.²⁰

Contribución al secuestro y almacenamiento de CO₂

En la tabla 3 se presentan las especies que más contribuyeron al secuestro y almacenamiento de CO₂ en las cuatro fincas estudiadas, así como el número de individuos por especie. En La Perla y en Providencia predomina la yamagua (*Guarea guidonea* Jacq.), por lo tanto, es la que más contribuyó al secuestro y almacenamiento de CO₂ en estas fincas.

Sin embargo, el pino prevalece en La Cuba y La Paloma. Esto reafirma que, además de ser la especie que más contribuyó a la captura y almacenamiento de CO₂ en todas las fincas, es la que determina la diferencia en el carbono retenido en la biomasa total. A pesar de que el guamo (*Inga vera* Willd.) es una de las especie más importantes como sombra del café (*Coffea arábica* L.) en Topes de Collantes, no es la que más abunda en las áreas forestales. Aunque abunda, en la mayoría de las fincas no supera al pino y la yamagua.

Tabla 3. Especies que más contribuyeron al secuestro y almacenamiento de CO₂

Espece	Yamagua (<i>Guarea guidonia</i> Jacq.)	Guamo (<i>Inga vera</i> Willd.)	Pino macho (<i>Pinus caribaea</i> Morel)
La Cuba	251	140	2075
La Paloma	20	60	1600
La Perla	5980	5720	22
Providencia	804	536	603

Las especies que más se destacan son la yamagua y el pino, con 43,13% y 42,34%, respectivamente. Las características del follaje de la yamagua y el guamo (14,53%) hacen posible una alta actividad fotosintética y, en consecuencia, se incrementa la captura y retención de carbono. Lo más importante de la medición y seguimiento al secuestro de carbono en las fincas de montañas es la gran cantidad de dióxido de carbono que pueden fijar, para así contribuir a reducir la emisión de GEI, sin dejar de producir alimentos.

²⁰ IPCC, 2001. Ob. cit. en nota 19.

Valoración económica

Varios autores plantean que, según la bolsa de Holanda (2006), una tonelada de carbono se cotiza a 10 USD.²¹ Sin embargo, aún no se ha llegado a un consenso acerca de la manera oficial en la que pueden pagarse los servicios ambientales y actualmente muy pocos países tienen una estrategia establecida en tal sentido. Existe una discusión a nivel mundial sobre la repercusión de establecer mercados en los que las naciones más ricas, por pagar una cuota, tendrían derecho a contaminar. Esto sería éticamente inaceptable.

Sin embargo, los mercados compensatorios por servicios ambientales, como una concepción de reconocimiento a las prácticas ambientalmente sanas, constituyen un mecanismo mediante el cual se puede contribuir de manera sustancial a reducir emisiones de GEI y mitigar el cambio climático. De implementarse este sistema de pagos en nuestro país, de acuerdo con ese precio por tonelada de carbono, se obtendría un impacto económico importante que de manera general ascendería a 67 664 USD en las fincas evaluadas. El desglose por fincas sería: La Cuba: 11 099 USD; La Perla: 37 165 USD; La Paloma 7 871 USD; Providencia: 11 529 USD.

Para establecer en Cuba un sistema de pagos por servicios ambientales, es necesario un análisis profundo de todos los mecanismos jurídicos y empresariales.²² No obstante, se han analizado algunos factores, como la comprensión de los servicios que prestan los ecosistemas, el uso de la tierra, las vinculaciones, ya que el servicio ambiental se afecta cuando el ecosistema o el uso de la tierra cambian. Otros aspectos que han sido analizados son: quién provee el servicio ambiental, en qué condiciones (racionalidad y objetivos) y quién se beneficia de este servicio.

Emisión de GEI promedio

En el caso del metano (CH₄), que es provocado fundamentalmente por la fermentación entérica de los rumiantes y el manejo del estiércol, la tendencia general del volumen de emisiones en todas las fincas es muy baja. Estas cifras se relacionan con la cantidad relativa de ganado vacuno y con el manejo del estiércol, que en estas fincas se emplea para compost y lombricultura. CEDECO presenta resultados semejantes de emisión de GEI al comparar fincas orgánicas y convencionales, teniendo en cuenta las emisiones desde el suelo, mientras que el IPCC presenta el inventario de GEI por regiones geográficas y

²¹ A. Álvarez, A. Mercadet y O. Ortiz, 2007. Ob. cit. en nota 9.

²² L. Mercado, 2004. Ob. cit. en nota 16.

hace énfasis en la diferencia entre países en desarrollo y desarrollados.²³ La tabla 4 muestra el estimado de las emisiones de GEI en las fincas monitoreadas en este estudio.

Tabla 4. Emisión de GEI (t/ha/año) en las fincas en estudio

Fincas	Área total, ha	CH ₄	N ₂ O	CO ₂
La Cuba	13,4	1,78	0,074	0,38
La Paloma	13,4	2,82	0,002	0,21
La Perla	26,0	0,16	0,001	0,20
Providencia	26,8	2,82	0,002	0,21

Las emisiones de óxido nitroso (N₂O) en ninguna finca supera el 0,1 t/ha/año. Esto se debe fundamentalmente al poco uso de fertilizantes nitrogenados y de pesticidas químicos, así como al empleo de prácticas agroecológicas como el compost, la lombricultura y el manejo integrado de plagas. Además influyen en el incremento de la diversidad de especies y variedades de sus producciones, y el manejo de los residuos de cosecha, sobre todo de aquellos cultivos fijadores de nitrógeno (N₂), que generalmente son incorporados al suelo transformados en compost.

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) también son muy bajas en general, pues prácticamente no hay quema de pastos ni de residuos de cosechas, en tanto se ha erradicado la dañina práctica de tumbas. En las fincas de montaña los combustibles fósiles solo se emplean en las actividades de traslado de las cosechas al mercado y es por eso que no tienen mucha influencia en las emisiones de CO₂. Si comparamos estos volúmenes con la captura y retención de carbono, se aprecia que las fincas agroecológicas prestan servicios ambientales de gran valor, al ser capaces de absorber el CO₂ que ellas emiten en la producción o por otras causas, tanto las de carácter natural como antrópico. Resultados similares a este no se reportan en la literatura consultada, solo CEDECO²⁴ hace determinaciones del carbono emitido desde el suelo en distintos sistemas de producción, pero sus valores son muy superiores a los aquí encontrados. Estos resultados evidencian la necesidad de continuar sistematizando el modelo de análisis en las próximas etapas de trabajo para mejorar la viabilidad metodológica del proceso, así como los mecanismos de recolección, procesamiento y presentación de datos.

²³ CEDECO, 2006. Ob. cit. en nota 8; e IPCC, 2001. Ob. cit. en nota 19.

²⁴ CEDECO, 2006. Ob. cit. en nota 8.

Comentario final

Para mitigar el cambio climático, el proyecto incentiva diversas tecnologías. He aquí una relación de algunas de ellas:

- Agricultura sin labranza
- Conservación y mejoramiento de suelos
- Reforestación
- Métodos y técnicas ahorradores de agua
- Manejo integrado en la nutrición del suelo
- Manejo integrado para el control de plagas y enfermedades
- Semillas de calidad
- Crianza de animales con piensos locales
- Tracción animal y adecuación de implementos
- Conservación de frutos
- Calidad alimentaria

Estas son opciones para reducir las emisiones, mejorar el aprovechamiento agrícola e incrementar la producción con efectos positivos para el medioambiente.

EVALUACIÓN DE INDICADORES AGROECOLÓGICOS Y MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Víctor M. Hernández e Ybrahim López

FACULTAD AGROPECUARIA DE MONTAÑA DEL ESCAMBRAY, UNIVERSIDAD DE SANCTI SPÍRITUS

Los significativos aumentos en la productividad de los cultivos en la agricultura moderna, generalmente han estado acompañados por una considerable degradación ambiental (erosión del suelo, contaminación por plaguicidas, salinización, etc.), problemas sociales y uso indiscriminado de los recursos naturales.¹

Una estrategia para lograr incrementos en la productividad agrícola sustentable tendrá que hacer mucho más que modificar únicamente las técnicas tradicionales. Será necesario aplicar enfoques novedosos para diseñar agroecosistemas que integren el manejo con la base de recursos regionales y que operen dentro del contexto ambiental y socioeconómico específico.

La agricultura cubana se encuentra en una etapa de sustitución de insumos o de conversión horizontal (producción con menos insumos agroquímicos, técnicas para la recuperación del suelo y manejo integrado de plagas y enfermedades basado en controles biológicos, entre otros). Estas prácticas también se emplean en la montaña a fin de mejorar la dieta de los pobladores, manejar y proteger el medio natural, conservar y recuperar los suelos, así como asegurar la alimentación de los animales con prácticas sostenibles.

La actividad humana está alterando el clima mundial. El principal cambio ha sido el aumento de las emisiones gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O). Las altas concentraciones de estos gases provocan el calentamiento global de la atmósfera y refuerzan el efecto invernadero natural, que produce un aumento incontrolable de las temperaturas. Entre las alternaciones del clima más

¹ M.A. Altieri, 1997. Agroecología, bases científicas para una agricultura sustentable. CLADES-ACAO, La Habana. 249 p.

comunes se encuentran la subida del nivel del mar, la incidencia cada vez más fuerte de fenómenos atmosféricos extremos y, por ende, el cambio en los patrones de las especies vivientes sobre el planeta.

A nivel mundial, la agricultura es responsable de un 20% de las emisiones de GEI de origen antropogénico, pero la importancia relativa de sus emisiones de CH₄ y NO_x es más alta que la de otras fuentes. Incluso, se estima que las emisiones de CO₂ provenientes de la agricultura no constituyen un problema, al compensarse con las captaciones cuando se realiza un balance anual.

Los sistemas agroecológicos han probado ser sustentables no solo desde el punto de vista técnico y ecológico-ambiental, sino también socioeconómico.² Hoy se cuenta con metodologías que permiten evaluar esos procesos de manera sistemática y científicamente apropiada.³ Sin embargo, aún es necesario seguir documentando el papel de la biodiversidad y el impacto de la conversión agroecológica en la reducción de las emisiones de GEI y la dependencia energética.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de la diversificación sobre la captura de carbono, la emisión de GEI, así como la eficiencia energética y económica en tres fincas en conversión agroecológica bajo condiciones de montaña.

Metodología

Durante el año 2008 se evaluaron tres fincas del consejo popular Algarrobo, municipio Trinidad. La finca Valdivia, ubicada en Seibavo, pertenece a la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) Enrique Villegas Martínez y cuenta con un área total de 10,1 ha. Su objeto social es la producción de café y otros productos agrícolas de autoconsumo para la UBPC.

La finca del productor Alberto Fonseca pertenece a la Cooperativa de Crédito y Servicio (CCS) Rafael Saroza y posee un área total de 26,8 ha, de ellas 17,5 ha cultivables. La finca del productor Genovevo Hernández pertenece a la misma CCS y tiene 20,4 ha, de ellas son cultivables 16,8 ha. En ambas fincas la producción fundamental es el café, con destino al mercado y al autoabastecimiento familiar. Sus producciones se han diversificado en los últimos años con el fin de contribuir a la autosuficiencia alimentaria e incrementar las fuentes de ingresos.

² S.R. Gliessman, 2006. *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*. CRC Lewis Publishers, Boca Raton, EE.UU.

³ O. Masera, M. Astier y S. López-Ridaura, 1999. *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales*. El marco de evaluación MESMIS. MundiPrensa-GIRA, México.

Entre los principios y prácticas agroecológicas aplicadas en las tres fincas tenemos:

- Diversificación de especies vegetales y razas animales
- Conservación y mejoramiento de suelos
- Fertilización orgánica, abonos verdes, incorporación de residuos
- Ausencia de la quema
- Cobertura viva y muerta
- Conservación y empleo de semillas de calidad
- Reforestación y agroforestería
- Cercas vivas
- Rotación de cultivos, asociaciones, intercalamiento y siembras de relevo
- Manejo integrado para el control de plagas y enfermedades
- Crianza de animales con alimentos y piensos locales
- Laboreo mínimo y empleo de la tracción animal con adecuación de implementos
- Conservación de alimentos

Indicadores de biodiversidad

Para la evaluación de la biodiversidad, se seleccionaron los siguientes indicadores:⁴

Número de especies: Dado por el total de especies presentes en los sistemas. Se excluyen la diversidad animal silvestre y las especies de menor importancia para el manejo productivo del agroecosistema.

Riqueza de especies: Para su cálculo se utilizó el índice de diversidad de Margalef. La diversidad se refiere a la riqueza de especies y la importancia relativa de cada una de ellas en el total de individuos.

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

donde: S = número de especies, N = número total de individuos

⁴ A.E. Magurran, 1988. *Ecological Diversity and its Measurement*. Princeton University Press, New Jersey, 179 p.

Dominancia: Es el grado de importancia del cultivo principal. Para hallar el índice de dominancia, se utilizó el Índice de Simpson.

$$\lambda = \sum p_i^2$$

donde: p_i = número de plantas por especie entre el número total de plantas.

Equitatividad: Es la uniformidad y la importancia relativa de los distintos cultivos. Para su cálculo se utilizó el índice de Pielou.

$$J = \frac{H'}{H \max}$$

donde: $H \max = \ln(S)$, $H' = -\sum p_i \cdot \ln p_i$

Estimación de la captura y fijación de carbono

El estimado de retención de carbono se realizó por la metodología propuesta por Mercadet y Álvarez.⁵ Todos los datos obtenidos de cada finca fueron procesados empleando el programa Microsoft Excel. El carbono total retenido en las fincas está dado por la suma del valor del carbono retenido en la biomasa, el retenido en la necromasa y el retenido en el suelo. Los indicadores utilizados para estimar la retención de carbono y sus fórmulas son:

- Carbono total (CT) = CBM + CNM + CS
- Carbono de la biomasa (CBM) = BMT * 0,48
- Biomasa total (BMT) = BMf + BMA + BMR
- Biomasa de los fustes (BMf) = volumen * 610/1000
- Biomasa aérea (BMA) = biomasa de fuste * 1,74
- Biomasa de las raíces (BMR) = biomasa aérea * 0,3
- Carbono de la necromasa (CNM) = NM * 0,45
- Necromasa (NM) = área * 18,2
- Carbono del suelo (CS) = área * 123
- Volumen = 0,7854 * (altura + 3) * potencia (diámetro;2) * 0,32
- Altura del árbol
- Diámetro del tallo a 1,3 m del suelo

⁵ A. Mercadet y A. Álvarez, 2009. Metodología para establecer la línea base de retención de carbono en las Empresas Forestales Integrales de Cuba. En: Efecto de los cambios globales sobre el ciclo del carbono. Publicado por: RED CYTED 406RT0285. pp. 107-118.

Estimación de la emisión de GEI

La estimación del volumen de emisión de GEI anual desde las distintas fuentes en las fincas en estudio, se realizó según la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC),⁶ el software Módulo 4. XIS de Agricultura. Los GEI estudiados a nivel de finca fueron:

- Metano (CH₄): Sistemas líquidos y digestión de rumiantes
- Óxido nitroso (N₂O): Cambios de uso del suelo, fertilizantes nitrogenados, manejo de residuos de cosecha y agroquímicos
- Dióxido de carbono (CO₂): Quema de pastizales y residuos de cosecha

Estimación del balance energético

Para calcular el balance de energía, se utilizó el software Energía propuesto por Funes-Monzote y otros autores.⁷ Los indicadores del balance energético que se midieron fueron: producción en kilogramos (kg), producción de energía en mega Joule (Mj), relación energética en calorías producidas por calorías invertidas (salidas/ entradas) y cantidad de personas que alimenta o sostiene cada finca según la energía y la proteína alimentaria que es capaz de producir. Para el análisis de eficiencia energética, se tuvieron en cuenta los siguientes insumos productivos: trabajo humano y animal (horas), alimento animal (t), diesel (litros), fertilizantes (kg de nutriente) y herbicidas (kg).

Resultados

Indicadores de biodiversidad

La finca de Fonseca resultó ser la de mayor cantidad de especies manejadas en el sistema, con 118 especies vegetales debido a la inserción de la producción agrícola en áreas de gran riqueza natural. Le siguió la finca de Hernández (101 especies), que responde a un predio diversificado, y en último lugar está la Valdivia, con 93 especies (tabla 1). Esta última finca, a pesar de ubicarse en un área de gran diversidad de plantas naturales, representa un agroecosistema más simplificado, heredado del modelo convencional de producción de café.

⁶ IPCC, 2006. Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. V. 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Instituto para las Estrategias Ambientales Globales. Japón, Hayama.

⁷ F.R. Funes-Monzote, J. Castro, D. Pérez, Y. Rodríguez, N. Valdés y A.L. Gonçalves, 2009. Energía 3.01. Sistema computarizado para el cálculo de los indicadores de eficiencia energética. Manual del usuario. CEDECO-INCA-EEPF Indio Hatuey. 61 pp.

Tabla 1. Índices de biodiversidad

Indicadores	Valdivia	Fonseca	Hernández
Número de especies	93	118	101
Riqueza de especies	7,59	9,67	8,39
Dominancia Simpson	0,12	0,13	0,06
Equitatividad	0,57	0,55	0,69

Se manifiesta una alta riqueza de especies en las tres fincas. El mayor índice corresponde a la de Fonseca, lo que guarda relación con el número de especies presentes; seguido por la de Hernández y por Valdivia. El índice de dominancia calculado muestra que en las tres fincas no hay cultivo principal debido al grado de diversificación y representatividad de las especies, aunque la finca de Hernández tiene una relación menor. Para las fincas, se aprecia cierta uniformidad en el sistema, pues muestran índices más próximos a 1 que a 0. La medición y el conteo de los árboles para el cálculo de la captura de carbono posibilitaron analizar estos índices en estas fincas en estudio, con resultados similares al de la diversidad general del agroecosistema (tabla 2). Lógicamente, las fincas tienen un elevado componente arbóreo y alta diversidad de especies de uso forestal, que son determinantes en los índices de diversidad alcanzados.

Tabla 2. Índices de diversidad de árboles

Indicadores	Valdivia	Fonseca	Hernández
Número de especies	35	48	35
Riqueza de especies	6,27	7,09	5,18
Dominancia Simpson	0,13	0,07	0,25
Equitatividad	0,78	0,80	0,61

Estimación del secuestro de carbono del área forestal

El valor superior (1 124,2 t) corresponde a la finca de Valdivia, con un área forestal mayor. Le sigue la de Hernández y la de Fonseca, con 697,6 y 631,1 toneladas de carbono total retenido, respectivamente (tabla 3). Sin embargo, cuando estos valores se analizan por hectárea, no hay grandes diferencias entre las fincas, e incluso la de Hernández y la de Fonseca retienen más carbono por hectárea que la Valdivia. La diferencia en el carbono total está dada fundamentalmente por la cantidad de área cubierta de vegetación arbórea.

Puede influir además la altura y diámetro promedio del fuste de los árboles, o las especies que predominan en cada sistema agroproductivo. Resultados similares han sido presentados por Mercadet.⁸

Tabla 3. Retención de carbono total y carbono retenido por hectárea por año

Fincas	Área (ha)	Retención de carbono total (t)				Carbono (t/ha)
		biomasa	necromasa	suelo	total	
Valdivia	8,1	64,1	66,2	993,8	1 124,2	139,1
Fonseca	3,4	188,9	27,6	414,5	631,1	187,3
Hernández	3,5	238,4	28,7	430,5	697,6	199,3

Emisión de GEI

El estimado de emisiones de GEI a nivel de finca puso de manifiesto que las de CH₄ son provocadas fundamentalmente por la fermentación entérica de los rumiantes y por el mal manejo del estiércol. En general, el volumen de emisiones en todas las fincas es muy bajo. La finca de Hernández emite 2,45 t/ha/año; la de Fonseca, 1,28; y la de Valdivia, solo 0,14. Esto se debe a la poca cantidad de animales y al correcto manejo del estiércol, empleado en la fertilización en forma de compost (tabla 4).

Resultados como estos sobre la emisión de GEI al comparar fincas orgánicas y convencionales, han sido reportados por la Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense (CEDECO),⁹ pero solo tiene en cuenta las emisiones desde el suelo. El IPCC presenta el inventario de GEI por regiones geográficas, y hace énfasis en la diferencia entre países en desarrollo y desarrollados.¹⁰

El óxido nitroso (N₂O) no alcanza el valor de emisiones de 1 t/ha/año gracias a las prácticas agroecológicas empleadas y al uso muy limitado de fertilizantes nitrogenados y pesticidas químicos. También puede influir el buen manejo de los residuos de cosecha y el uso de cultivos fijadores de nitrógeno (N₂), que generalmente son incorporados al suelo o procesados en compost.

⁸ A. Mercadet y A. Álvarez, 2009. Ob. cit. en nota 5.

⁹ CEDECO, 2006. Agricultura orgánica y gases con efecto invernadero. San José. Costa Rica. Disponible en <http://www.cedeco.or.cr>

¹⁰ IPCC, 2007. Climate Change 2007. The physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Panel Intergubernamental de Cambio Climático, Ginebra, Suiza.

Tabla 4. Emisión de GEI (t/ha/año)

Fincas	Emisiones CH ₄	Emisiones N ₂ O	Emisiones CO ₂
Valdivia	0,14	0,001	0,1
Fonseca	1,28	0,002	0,03
Hernández	2,45	0,004	0,00

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) tienen valores muy bajos, porque prácticamente no hay quema de pastizales ni de residuos de cosechas, además de que se ha erradicado la dañina práctica de tumba y quema. Los combustibles fósiles en las fincas de montaña solo se emplean en las actividades de traslado de las cosechas al mercado, por lo que tampoco tienen mucha influencia en las emisiones de CO₂. Si se comparan las emisiones de GEI con la captura y retención de carbono que hacen estas fincas, el balance es positivo. Las fincas evaluadas absorben más CO₂ del que emiten, lo cual significa un servicio ambiental de gran valor.

Balance energético

La finca Valdivia alcanzó el valor más alto de producción de energía alimentaria (14,1 GJ/ha/año) (figura 1). Esta se diferencia de las dos restantes porque su objeto social se basa fundamentalmente en la producción de café y alimentos para el autoconsumo de la UBPC, mientras que las otras dos pertenecen a campesinos que producen solo para su autoabastecimiento y comercializan pocos excedentes. La finca de Fonseca (8,7 GJ/ha/año) no difiere mucho de la de Hernández (7,8 GJ/ha/año), existiendo una relación directa con la producción de alimentos y los aportes energéticos equivalentes.

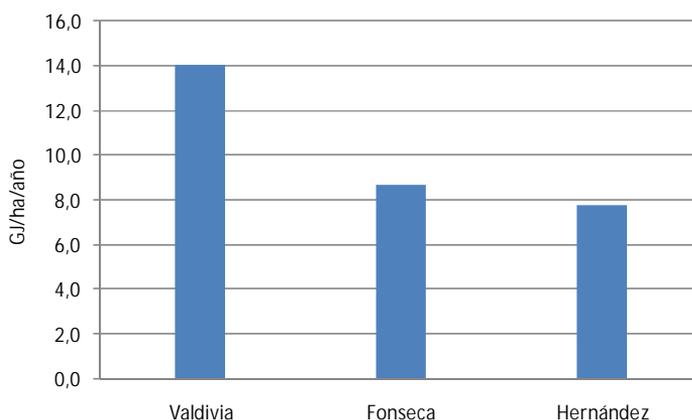


Figura 1. Energía producida (GJ/ha/año)

El comportamiento de la producción de proteína es similar al de la producción de energía (figura 2). Se destaca con resultados superiores la finca Valdivia (88,02 kg/ha/año), mientras que las restantes logran resultados similares: 54,86 kg/ha/año la de Hernández y 49,91 kg/ha/año la de Fonseca. La producción de energía y proteína tiene una relación directa con la producción de alimentos, y, aunque la producción física es similar, puede haber diferencias, debido fundamentalmente a las especies vegetales que produce cada finca y las especies animales que desarrolla.

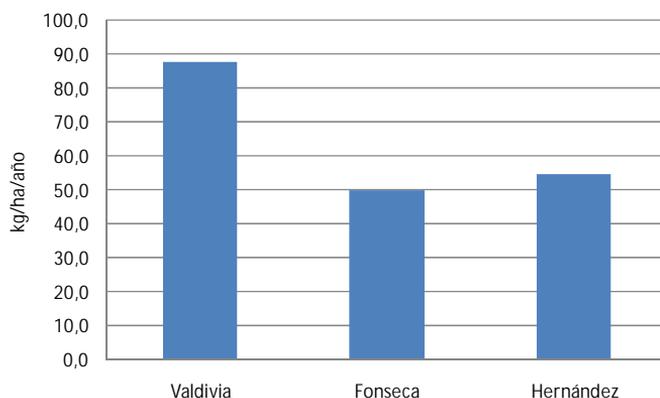


Figura 2. Producción proteica (kg/ha/año)

En la figura 3 se representa el costo energético de los insumos productivos en las tres fincas. La finca de Hernández tuvo el gasto energético más alto (1,57 GJ/ha/año), puesto que emplea mayor cantidad de insumos productivos industriales (fertilizantes y herbicidas). Las otras dos fincas tuvieron aproximadamente la mitad del costo energético.

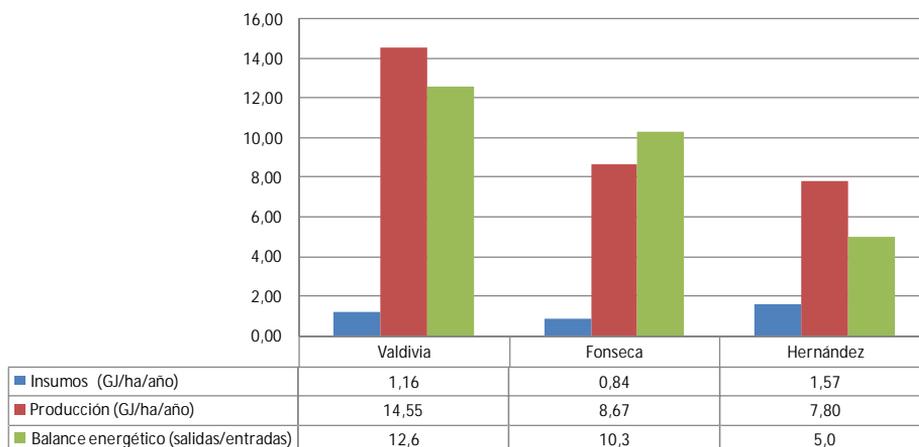


Figura 3. Insumos energéticos, producción de energía y balance energético

Aunque para todas las fincas el costo energético de la producción es bajo, esta marcada diferencia presupone una mejor aplicación del manejo agroecológico y del uso de los recursos internos del sistema productivo en las fincas de Valdivia y de Fonseca.

Los balances energéticos entre 5 y 12,6 denotan un uso eficiente de los recursos naturales disponibles, lo cual se corresponde también con una aceptable productividad para agroecosistemas de montaña como los evaluados. Un indicador que refleja claramente la productividad obtenida en términos de seguridad alimentaria es la cantidad de personas que alimenta cada finca por hectárea en un año, de acuerdo con la producción de energía y proteína animal y proteína vegetal (figura 4).

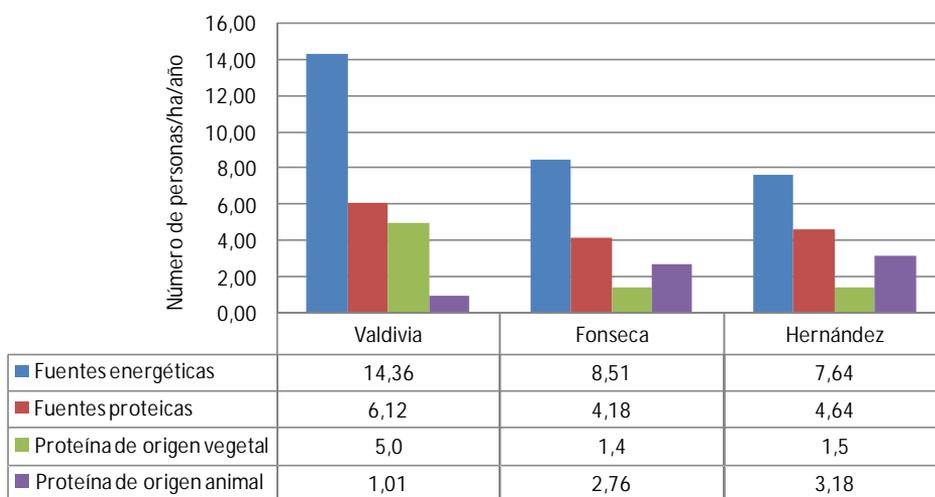


Figura 4. Personas que alimenta el sistema (personas/ha/año)

El resultado del análisis de la productividad de las fincas en función de las personas que soporta el sistema, muestra que la finca de Valdivia fue muy superior. La diferencia entre las fuentes proteicas de origen vegetal (5,0) y las de origen animal (1,01) en esa finca se deben a la mayor presencia de cultivos, mientras que la de Fonseca y la de Hernández tuvieron mayor producción animal. La energía y la proteína producidas por los sistemas de montaña evaluados son capaces de cubrir las demandas de las familias y, además, generar excedentes para la comercialización. De esta manera, contribuyen a la seguridad alimentaria local y del país en general.



DISEMINACIÓN AGROECOLÓGICA

EXPERIMENTACIÓN CAMPESINA Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS TUNAS

Laura Leyva, Aimé Baldoquin,
Raquel Ruz, José Ramón Ayala y Carlos Pupo

UNIVERSIDAD DE LAS TUNAS

Los seres humanos, con el fin de satisfacer sus necesidades alimentarias y de supervivencia, han convertido los ecosistemas naturales en agroecosistemas. Estas transformaciones generan impactos de diversa jerarquía y gravedad sobre los recursos naturales, que en ocasiones resultan irreversibles.¹ Entre tales impactos se encuentra el aumento de la concentración de algunos gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, lo que eleva las temperaturas cercanas a la superficie de la tierra. Las consecuencias de este fenómeno, conocido como cambio climático y atribuido a la actividad humana sobre el ecosistema terrestre, podrían ser definitivas y difíciles de predecir.

En Cuba aún es insuficiente el empleo de prácticas agrícolas y tecnologías ambientalmente más sanas, a pesar de los esfuerzos realizados para fomentarlas. Hoy se dispone de alternativas ecológicas, como bioplaguicidas, biofertilizantes y herramientas biotecnológicas para el manejo sustentable de los agroecosistemas, pero queda mucho por hacer en su adopción sistemática. Asimismo existe un amplio potencial genético vegetal y animal para la producción, sin embargo, no siempre es debidamente aprovechado por los agricultores.

A fin de revertir este proceso, desde el año 2006 se desarrolla en la provincia Las Tunas el Proyecto de Innovación Agropecuaria Local (PIAL), que concibe la innovación como un proceso interactivo y dinámico en el que las comunidades toman conciencia y elaboran estrategias de manera colectiva, con la interacción de diferentes actores sociales. La innovación no solo se refleja en la adopción de tecnologías específicas, como la introducción de nuevas variedades, las metodologías de manejo de suelos y la aplicación de productos

¹ M.P. Cantú, A.R. Becker, J.C. Bedano, H.F. Schiavo y B.J. Parra, 2009. Evaluación del impacto del cambio de uso y manejo de la tierra mediante indicadores de calidad de suelo. Córdoba, Argentina. Cuadernos Lab. Xeolóxico de Laxe Coruña. Vol. 34, pp. 203 - 214.

biológicos; sino también en el fortalecimiento de la capacidad de experimentación de los productores y la adaptación de los sistemas agroproductivos a fenómenos como el cambio climático.

Durante tres años y de conjunto con el PIAL, se desarrolló el proyecto «El cambio climático y la agricultura cubana», que entre sus objetivos fundamentales estuvo: 1) lograr transformaciones en los procesos de aprendizaje, como la capacidad de experimentación e intercambio de conocimientos entre agricultores; y 2) la apropiación de nuevas tecnologías adaptadas a las condiciones locales de cada comunidad.

Los ecosistemas degradados y los cambios en los patrones del clima en la mayoría de las localidades son una imagen de la acción agresiva al ambiente, promovida por modelos agrícolas depredadores de los recursos naturales. Por tal motivo, el propósito principal de este proyecto es la aplicación de tecnologías apropiadas y su sostenibilidad a corto y largo plazos en las comunidades agrícolas tuneras.

Para rehabilitar los sistemas de producción teniendo en cuenta los procesos y recursos naturales disponibles, es necesario poner en práctica criterios de manejo ecológico. No es posible emprender una transformación agroecológica si a la vez mantenemos métodos y tecnologías convencionales. Uno de los pilares básicos de las concepciones basadas en el respeto y la protección ambiental es el rescate de tradiciones y culturas propias de los agricultores. Mientras la Revolución Verde se basó en paquetes tecnológicos generados y difundidos desde estaciones experimentales, el enfoque agroecológico persigue combinar el conocimiento tradicional y los criterios de la ciencia actual. La transición hacia una agricultura ecológica requiere tiempo, porque implica un cambio de mentalidad hacia una reconexión con la naturaleza y la manera en que el conocimiento es transferido. Su aplicación debe comenzar a pequeña escala y requiere un sistemático intercambio entre todos los actores involucrados en el proceso.

El trabajo se inició en los municipios de Manatí, Majibacoa y Las Tunas, con la participación de productores de diferentes cooperativas, entre quienes se logró una efectiva transferencia de conocimientos básicos con técnicas de aprender haciendo. Para ello fueron creadas las denominadas «universidades de campo», que constituyen talleres locales donde participan todos los miembros de la comunidad: niños, jóvenes, estudiantes universitarios, personas de la tercera edad, productores, maestros, actores sociales que dirigen la esfera agropecuaria, representantes del gobierno, entre otros.

Estos talleres locales permitieron un rico debate y generaron el interés de toda la comunidad en la búsqueda de soluciones a los efectos nocivos de las prácticas agrícolas, además de promover el rescate de prácticas tradiciona-

les. La transmisión oral de experiencias hizo recordar a los participantes las enseñanzas de sus progenitores sobre el cuidado de la naturaleza: «mi papá nunca quemaba los residuos de los cultivos», «yo recuerdo que los mantenía sobre el terreno y no había quien entrara al platanal».

Las universidades de campo promovieron el empleo de indicadores locales de calidad de los suelos y abrieron un camino de cambios en las prácticas de manejo. En los talleres se identificaron los indicadores que los campesinos consideraban importantes en cuanto a la calidad del suelo, los que recibieron una escala de prioridad mediante encuestas a los agricultores (tabla 1).

La participación de los estudiantes de las sedes universitarias que cursan estudios agropecuarios es de suma importancia para realizar estas actividades, pues pocos productores conocen los términos técnicos. Además, los estudiantes pueden liderar el intercambio y contribuir a la adquisición de conocimientos. El estudio de las propiedades del suelo se realizó en calicatas hechas por los estudiantes en diferentes sistemas de uso y se diagnosticaron los indicadores de calidad para cada uno de los horizontes genéticos, a saber:

- Profundidad
- Color (tabla de colores Munsell)
- Textura (método del tabaquito y la botella)
- pH (potenciometría)
- Materia orgánica (método cualitativo de campo)
- Estructura (según la forma de los agregados y terrones)
- Densidad del suelo (método del cilindro)
- Presencia de carbonatos (reacción al HCl al 10%)
- Presencia de lombrices y raíces

La evaluación de algunos indicadores de calidad de los suelos mostró que las prácticas de manejo adoptadas por los productores durante varios años provocaron impactos negativos en el suelo y en el ecosistema, como:

- Erosión de la capa superficial y activa de los suelos
- Incrementos del pH
- Disminución severa de los contenidos de materia orgánica
- Degradación de las propiedades físicas (densidad del suelo)

Tabla 1. Equivalencia entre los indicadores técnicos y los seleccionados por los productores

Indicadores de los productores	Indicadores técnicos
Profundidad de las raíces	Profundidad efectiva
Color oscuro / claro	Contenido de materia orgánica (M.O.)
Buen / mal drenaje	Estructura, velocidad de infiltración
Buena / mala fertilidad	M.O., pH, nutrientes, estructura, actividad biológica
Profundo / poco profundo	Profundidad efectiva
Suelto / compacto	Densidad del suelo
Mucha / poca retención de agua	Contenido de arcilla y materia orgánica
No salino / salino	Conductividad eléctrica
Presencia o no de lombrices	Actividad biológica
No pedregoso / pedregoso	Presencia de piedras
Suelo sano / enfermo	Presencia de hongos, nemátodos
Mucha / poca pendiente	Erosión
Suelo arenoso / pesado	Textura

La alta densidad (tabla 2), la pobre aireación y el escaso desarrollo radical, a partir de los 10 cm de profundidad, se atribuyeron al uso intensivo de la maquinaria agrícola en la preparación de los suelos. Esto demostró que la calidad del suelo decrece con los incrementos de la densidad aparente y, a su vez, que está asociada a la disminución de la macroporosidad y el espacio poroso total, así como a los parámetros asociados al flujo de agua en el suelo.

Tabla 2. Evaluación de la densidad del suelo

Perfil natural		Perfil cultivado	
Profundidad (cm)	DS (Mg/m ³)	Profundidad (cm)	DS (Mg/m ³)
0-3	0,78	0-10	0,84
3-9	0,85	10-19	1,44
9-18	1,38	19-55	1,58
18-35	1,37		
35-60	1,38		

Los indicadores biológicos se estudiaron a través de la presencia de lombrices y otros organismos de la macrofauna, que fueron muy escasos en los suelos cultivados. Se seleccionaron las variables biológicas como una herramienta adecuada en la identificación de cambios en el manejo de cultivos, que sirvieron para indicar la calidad del suelo.

Se resumieron los problemas de los suelos evaluados y se expusieron los resultados de la encuesta (tabla 3). Los indicadores que los productores consideraron de mayor prioridad (fertilidad, drenaje y consistencia), coincidieron en ser los de mayores limitaciones en los suelos cultivados.

Tabla 3. Problemas identificados por los agricultores respecto a las características de los suelos

Indicador	Promedio	Prioridad
Profundidad de raíces	6,13	7
Color oscuro / claro	6,04	6
Buen / mal drenaje	3,72	2
Buena / mala fertilidad	1,81	1
Profundo / poco profundo	5,68	4
Suelto / compacto	5,40	3
Mucha retención / poca retención de agua	7,68	9
No salino / salino	5,72	5
Presencia / no presencia de lombrices	6,90	8
No pedregoso / pedregoso	13,10	13
Suelo sano / enfermo	12,50	12
Mucha / poca pendiente	11,86	11
Suelo arenoso / pesado	8,45	10

De forma conjunta con los productores, se propusieron acciones para transformar positivamente los indicadores críticos y, por ende, mejorar el agroecosistema. En tal sentido se han formado grupos de agricultores experimentadores que intercambian y difunden sus resultados. Por su parte, investigadores y extensionistas establecen diálogos abiertos con los agricultores, para que estos puedan expresar sus preferencias en cuanto a las tecnologías y proponer su adaptabilidad a las condiciones particulares de su finca. Otros actores que participan en la adaptación de tecnologías han logrado crear un lenguaje común que facilita el intercambio de saberes, aunque pertenecen a

diferentes instituciones (Asociación Nacional de Agricultores Pequeños, Ministerio de la Agricultura, Ministerio del Azúcar, Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales), cada una con sus objetivos y procedimientos.

En todos los casos estudiados, las decisiones de las familias productoras sobre cuándo adoptar las innovaciones se pusieron de manifiesto cuando los recursos obtenidos incrementaron su sistema de producción y su calidad de vida. En la asimilación de nuevas tecnologías resultan importantes los distintos papeles y conocimientos del hombre y la mujer. En la historia de las familias rurales cubanas, la mujer se ha dedicado al espacio en torno a la casa, así como al cuidado de animales menores, hierbas y frutales, ya que por su condición de madres muchas veces no pueden alejarse demasiado de su hogar. El papel en la dirección y manejo de la finca, en la mayoría de los casos, ha correspondido al hombre.

La capacitación a través de las universidades de campo ha contribuido a incorporar a las mujeres a otras labores de producción en la finca, motivadas por el intercambio con las productoras de otros municipios y provincias. Se distinguen por participar en la creación de pequeñas áreas para el fomento de la lombricultura, aplicar medios biológicos para disminuir el uso de productos químicos, incorporar nuevas especies de animales menores, además de motivar a la comunidad y a los miembros de su hogar. Han elevado la confianza en sí mismas y en su capacidad de expresión, a la vez que manejan y entienden terminologías técnicas, entre otros avances.

El resultado más importante de este trabajo ha sido incorporar a los productores al proceso de generación tecnológica con bases agroecológicas. Al disminuir el empleo de fertilizantes químicos y manejar adecuadamente los residuos de cosechas de los cultivos fijadores de nitrógeno, se han producido cambios en los agroecosistemas y se ha reducido la emisión de GEI. En algunas de las fincas persisten esas emisiones por residuos de cosecha de cultivos no fijadores de nitrógeno, a pesar de las experiencias en el manejo de estos residuos bajo la idea de que su mitigación no radica en la extracción del sistema, sino en alternativas que permitan una descomposición más lenta para aprovechar el óxido nitroso que se libera y los elementos nutricionales en la masa del suelo.

Además, se ha diversificado la producción, se han intercalado cultivos y se han implementado medidas antierosivas y de conservación de los suelos para aumentar los contenidos de materia orgánica, la productividad y sostenibilidad de los agroecosistemas.

CLAVES PARA TRANSFORMAR FINCAS CONVENCIONALES EN AGROECOLÓGICAS DIVERSIFICADAS

Norge Caballero

COOPERATIVA DE CRÉDITOS Y SERVICIOS (FORTALECIDA) FRANK PAÍS,
EL CERRO DE UÑAS, VELASCO, HOLGUÍN

Naudy Caballero, Evelio García, Orlando Chaveco,
Nénsida Permuy, Yunior Bruzón y Agustín Serrano

UNIDAD DE EXTENSIÓN, INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN AGROPECUARIA DE HOLGUÍN

En Cuba el interés por la agroecología tiene un trasfondo histórico que comenzó con una necesidad objetiva del país. El hecho de haber experimentado un cambio dramático en la intensidad de la producción agropecuaria, ha sido una oportunidad única, en tanto que ha servido como punto de partida para diseñar una agricultura sostenible a escala nacional.¹ El catastrófico decrecimiento de la producción agropecuaria generó un despertar de científicos y productores hacia formas sostenibles de explotación agropecuaria, en armonía con la naturaleza.

La Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP) y de extensionistas de la Unidad de Extensión, Investigación y Capacitación Agropecuaria de Holguín y su grupo de granos han dado a conocer el Programa de Innovación Agropecuaria Local (PIAL), que ha promovido concepciones como el fitomejoramiento participativo, tecnologías de conservación y poscosecha de granos, hasta llegar al proyecto «Desarrollo de sistemas descentralizados y participativos de garantías ambientales en Cuba». Estos proyectos han brindado una amplia capacitación mediante intercambios, ferias de biodiversidad, talleres, encuentros con productores líderes, conferencias, entre otras actividades que han servido para desarrollar una transición positiva en cuanto al cambio de pensamiento a la hora de hacer agricultura.

De acuerdo con los aspectos teóricos de la transformación de fincas tradicionales en agroecológicas diversificadas y tomando en cuenta las experiencias del productor Norge Caballero Escalona, en su finca de la CCSf Frank País, se considera que las claves de este proceso son:

¹ F.R. Funes-Monzote, 2009. Agricultura con futuro. La alternativa agroecológica para Cuba. Estación Experimental Indio Hatuey, Matanzas. 176 p.

1. Diagnóstico de la finca que se quiere transformar.
2. Manejo de los suelos y reciclaje de nutrientes.
3. Forestería análoga.
4. Manejo integrado de plagas y enfermedades.
5. Intercalamiento de cultivos.
6. Diversificación genética y tecnológica.
7. Reducción del uso de abonos químicos y pesticidas.

Diagnóstico de la finca que se quiere transformar

Aunque muchas veces se ha comenzado el tránsito porque favorecería sustancialmente la agilidad y eficiencia de las futuras acciones, es necesario contar con el previo diagnóstico técnico y preciso del objeto a transformar. Si no se conocen las condiciones actuales de la finca y a dónde se quiere llegar, no se pueden identificar los cambios más urgentes, ni conocer hacia dónde dirigirlos. Este diagnóstico debe realizarse de manera conjunta entre especialistas que hayan trabajado el tema y el productor, a fin de elaborar las recomendaciones precisas para la labor de transformación.

El diagnóstico debe incluir análisis de suelo y diseño espacial de la finca, de acuerdo con su localización geográfica. Varias investigaciones se han centrado en los procesos de diagnóstico rural participativo y no es difícil encontrar un procedimiento para realizarlo. Solo se debe adecuar el modelo a las condiciones de cada finca.

Manejo de los suelos y reciclaje de nutrientes

La materia prima fundamental de un agricultor es el suelo. Por tanto, tiene el deber de utilizarlo bien y cuidarlo. Además, este constituye el legado más importante para las generaciones venideras y de la buena fertilidad del suelo depende, en gran medida, una buena cosecha. Primero se debe evaluar el drenaje de cada campo en particular, para así evitar el lavado de nutrientes o la escorrentía ocasionada por las lluvias, cuyos efectos se pueden reducir mediante labores como el zanjeado oportuno de la finca, el empleo de barreras vivas y muertas, y el riego adecuado de los cultivos.

En la finca objeto de estudio se ha probado la eficacia de la aplicación de estas labores, al desviar corrientes que al llover cruzaban los campos de siembra, con la consecuente pérdida de fertilidad. Además, se han construido barreras muertas, como un muro de contención con restos de cosecha (cepas de plátano), piedras extraídas del campo, sacos de tierra, entre otros materiales. Se han utilizado forrajes y caña con doble propósito: como barreras vivas y como fuente de alimento para el ganado.

La disponibilidad de agua a través del riego cobra mayor importancia cada día, pues las sequías ya tienen carácter cíclico, fundamentalmente en Gibara, donde se ubica la finca. Entre los métodos más usados persiste el riego por gravedad o por surco, que origina un deterioro sistemático de los suelos. Si necesariamente se debe utilizar este método, se aconseja regar un tramo corto y hacerlo por varios surcos a la vez; evitar la siembra a favor de pendientes de gran magnitud; colocar sacos, pencas de guano u otro material en la salida del agua para evitar la erosión que se produce generalmente en estas áreas. El suelo no solo debe conservarse con las medidas propuestas anteriormente, sino que además hay que trabajar en su renovación, debido a la continua extracción de nutrientes que se realiza a través del producto cosechado. En tal sentido se recomienda:

- No sacar del campo ningún resto de cosecha y distribuirlo convenientemente en la finca. Extraer solamente el producto comestible comercializable, por ejemplo, del maíz sacar las mazorcas e incorporar el resto de la planta al suelo con el laboreo. Así también se debe proceder con los demás cultivos, como el frijol, cuyas hojas y restos de tallo se distribuyen y agregan nuevamente al suelo. De esta manera se garantiza parte de la nutrición de futuras siembras, a la vez que se puede reducir y en ocasiones hasta prescindir del uso de fertilizantes, al renovarse los nutrientes y la materia orgánica del suelo. Antes de la incorporación de prácticas agroecológicas en la finca de Norge, los restos de las cosechas se quemaban, generalmente dentro del campo. Esta práctica deterioraba el suelo, se perdía un recurso tan preciado y a la vez se contribuía inconscientemente a acelerar el cambio climático, con las emisiones de gases nocivos a la atmósfera.
- Incorporar materia orgánica al suelo. Otra manera eficiente de incorporar materia orgánica al suelo es recoger el estiércol del ganado de la finca en una corraleta para aplicarlo en los campos, ya sea directamente o en forma de compost o humus de lombriz. También se puede transportar esta materia orgánica de fincas ganaderas cercanas. Este método se empleó de forma satisfactoria en la finca evaluada, donde se logró que las partes menos productivas del campo mejoraran su fertilidad y se homogeneizaran las áreas de cultivos.
- Humus de lombriz. Considerado el mejor fertilizante, pues la materia orgánica es aplicada en la forma óptima de absorción por la planta. Este método puede ser sencillo si se cuenta con materia orgánica y agua para regar esporádicamente el cantero donde se crían las lombrices, responsables de la descomposición. En la finca citada se

ha aplicado el humus de lombriz sistemáticamente, con excelentes resultados, lo que se ha comprobado al dejar muestras testigo en el sembrado con diferente fertilización o sin ella. Sin embargo, todavía no existe conciencia de la necesidad de su uso y de las posibilidades objetivas que tiene el país para desarrollarlo a mayor escala, principalmente en áreas ganaderas, donde la materia prima no acarrea costos de transportación y constituye un problema ambiental.

- **Compost.** Los restos de cosechas se dejan descomponer en un depósito o se facilita su descomposición empleando catalizadores biológicos. Luego se incorpora al suelo.
- **Abonos verdes.** Consiste en incorporar al suelo plantas sembradas para este fin, que son capaces de reciclar grandes cantidades de nutrientes y fijarlos en formas asimilables por las demás especies. Entre las plantas más empleadas están la crotalaria, la canavalia y el sorgo. En la finca en estudio se han aplicado estos abonos en el cultivo de maíz con muy buenos resultados.
- **Cobertura natural (viva o muerta).** Se ha podido comprobar que el suelo no debe estar mucho tiempo desnudo, para evitar la influencia directa del sol y la lluvia, causa fundamental de su erosión, particularmente en países de clima tropical como Cuba. Si se va a dejar la tierra sin cultivar un tiempo prolongado, la cobertura del suelo puede combinarse con abonos verdes para la protección y restauración del suelo.

Forestería análoga

Es una técnica importante y, bien manejada por el productor agrícola, aporta beneficios propios y colectivos. Como es conocido, la deforestación es uno de los principales problemas que afectan el medioambiente y el equilibrio ecológico. La forestería análoga, que consiste en poblar el área con vegetación autóctona de la zona, permite dar un golpe certero para revertir el fenómeno del cambio climático, porque los árboles capturan grandes cantidades de dióxido de carbono, además de reportar otros beneficios como sombra, comida para el ganado, sitios más agradables, control del clima local, madera, medidas antierosivas, cercas vivas, cortinas rompevientos y preciados productos como madera, frutas, miel, etc. Debemos aprovechar cada pedazo de tierra que aparentemente sea improductivo (cárcavas, cañadas, etc.) para reforestarlo con frutales. En la finca estudiada se ha empleado el Piñón florido (*Gliricidia sepium*) y el almácigo (*Bursera simaruba*) como cercas vivas con muy bue-

nos resultados y se está incrementando la siembra de árboles frutales y maderables en áreas apropiadas para ellos.

Manejo integrado de plagas y enfermedades

Cuando este concepto se aplica de forma inteligente, reporta un conjunto de beneficios a la ecología y al manejo de los cultivos. Para la correcta implementación del manejo integrado de plagas y enfermedades, debe considerarse:

- **Época de siembra.** La siembra de cultivos en su época óptima constituye una garantía para obtener mejores cosechas. La planta crece con un régimen de temperaturas a las que mejor se adapta; la incidencia de plagas y enfermedades tiende a ser menor y el régimen de lluvia suele ser más apropiado. Debe tenerse en cuenta las cada vez más altas fluctuaciones del clima con el objetivo de ajustar la época a un intervalo óptimo en función de cada cultivo. Por ejemplo, en la zona de Velasco la siembra de frijol común debe hacerse entre el 15 de noviembre y el 31 de diciembre, y nunca en agosto o septiembre, pues de esta manera se potenciarían las plagas
- **Correcta selección de variedades.** En las ferias de granos se han podido comparar diferentes variedades en cuanto a su comportamiento, porte, rendimiento y otras características de importancia, según los criterios de los productores. La selección participativa permite escoger las variedades más atractivas para cada agricultor, que las prueba en sus fincas y selecciona la que mejor se comporte de acuerdo con criterios particulares. Este procedimiento puede aplicarse a cualquier cultivo, teniendo en cuenta que al grano que se usará como semilla debe dársele un tratamiento especial, desde la siembra hasta el almacenamiento.
- **Preparación óptima del suelo.** Se recomienda no invertir el prisma del suelo, desarrollar las labores con tracción animal y evitar el enyerbamiento del campo y sus guardarrayas, que son hospederos de plagas. En la finca objeto de estudio el cultivo se ha realizado con un solo animal (caballo o buey), con muy buenos resultados. Se logran menos daños mecánicos al cultivo y se necesita un animal menos que mantener, aunque en estas zonas es costumbre usar la yunta de bueyes para estas tareas.
- **Empleo de medios biológicos y repelentes naturales.** Los medios biológicos, aplicados con sistematicidad, han demostrado gran eficacia

en el manejo de plagas y enfermedades, a la vez que han permitido obtener frutos libres de químicos y más saludables. Sin embargo, para emplear estos productos aún existen dificultades relacionadas con la oferta estable y la calidad. Muchos partidarios de estos métodos habían aplicado el bacilo importado de las repúblicas de la antigua Unión Soviética y controlaron totalmente las plagas, aunque no obtuvieron los mismos resultados con los productos de nuestros Centros de Reproducción de Entomófagos y Entomopatógenos (CREE), que no siempre tienen la mejor calidad. Los repelentes naturales están al alcance de todos y se emplean según el ingenio campesino. Entre los más utilizados están la tabaquina, la cardona, el anamú, la lila, el cedro y el árbol de nim, que se aplican macerados y se fumigan directamente sobre los cultivos.

- Utilización de plaguicidas químicos. Estos deben reducirse al máximo y usarse en pequeñas dosis solo en casos de necesidad extrema. Además, debe tenerse en cuenta la fase biológica en que se encuentra el cultivo y evitar su empleo en períodos cercanos a la cosecha, sobre todo en alimentos que se ingieren crudos. Los insecticidas deben aplicarse después de las 10:00 a. m., para evitar el daño a las abejas, responsables en gran medida de la polinización.

Intercalamiento de cultivos

El intercalamiento de cultivos es una medida que también favorece el manejo de plagas y enfermedades. Por ejemplo, al sembrar barreras de maíz en el frijol, se logra desplazar hacia este último cultivo insectos beneficiosos que son habituales en el maíz. Asimismo se han obtenido resultados positivos al intercalar maíz con pepino, calabaza y tomate. En este último caso, durante la época de verano, se han eliminado los daños lógicos que provoca el sol en el fruto del tomate, ya que el maíz le proporciona sombra. Además, puede lograrse mayor rendimiento por área al incrementar el uso de la tierra y tener más de un cultivo en el mismo tiempo y espacio.

Diversificación genética y tecnológica

Está demostrado que una finca, por muy pequeña que sea, debe estar diversificada para lograr un equilibrio beneficioso en la lucha contra epidemias, plagas, enfermedades y catástrofes naturales, y a la vez proteger al agricultor desde el punto de vista económico. Por ejemplo, al paso del huracán Ike por el territorio, todas las viandas fueron afectadas, excepto el boniato. De no ser

así, se hubiera creado un problema más grave con la alimentación. Es decir, si se pierde una cosecha, pero se tienen otras alternativas, no se afecta tanto la autosuficiencia alimentaria.

En el caso de la cría de animales, el agricultor debe ser un constante renovador, buscando las razas de mejor adaptación a su medio y de mayor rendimiento en sus condiciones. En la finca de referencia se ha desarrollado la cría de pollos camperos y de gallinas semirrústicas, con muy buen rendimiento de huevos, así como también la cría de pavos, que se alimentan con granos, hierba, partes verdes de los restos de cosecha y frutos dañados. Se ha recibido capacitación útil en la elaboración de piensos locales. En la diversificación tecnológica el campesino debe ser un constante investigador, buscando la tecnología más apropiada, menos agresiva al medio y más económica. Por ejemplo, la tracción animal no se aprovecha apropiadamente, la mayoría de los campesinos no cuentan con los implementos de labranza óptimos y realizan casi todas las operaciones con el arado de vertedera, a veces por desconocimiento o por no contar con la ayuda técnica necesaria. Casi no se emplea la sembradora de tracción animal ni el tiro por el pecho, aspecto del manejo que aumenta el aprovechamiento de la fuerza del animal.

Reducción del uso de abonos químicos y pesticidas

Esta debe ser una premisa de todo productor agroecológico, ya que al reducir su aplicación contribuimos a la recuperación del equilibrio ecológico y evitamos el daño químico que estos productos provocan a los suelos y al medio. Además, los productos químicos afectan la salud humana, tanto al agricultor directamente al manipularlos y aplicarlos, como al consumidor a través de la ingestión de residuos de estos tóxicos. El productor agroecológico gana salud para él y para la sociedad.

Existen diversos criterios e ideas sobre los aspectos clave para transformar las fincas. Esta propuesta es un primer acercamiento, a partir de experiencias prácticas de los productores y del seguimiento de investigadores y profesionales del sector, que puede contribuir al cambio de actitud dentro del quehacer agrícola del país.

DISEMINACIÓN DE BIOPRODUCTOS BASADOS EN MICROORGANISMOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Saray Sánchez, Fernando Donis, Omar González, Yoansy García,
Taymer Miranda, Dairom Blanco y Giraldo Martín

ESTACIÓN EXPERIMENTAL INDIO HATUEY, UNIVERSIDAD DE MATANZAS

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO por sus siglas en inglés),¹ cerca de un tercio del calentamiento de la atmósfera y el cambio climático se debe a la agricultura. En general, se reconoce que gran parte del principal gas que produce el efecto invernadero, el dióxido de carbono (CO₂), procede de prácticas agrícolas que amenazan al medioambiente global, sobre todo la deforestación y el cambio de uso del suelo a prácticas altamente consumidoras de energía fósil. Por otro lado, la fermentación entérica de los rumiantes, los incendios forestales y los productos de desecho (estiércoles y residuos de cosecha que no son aprovechados) producen la mayor parte del metano (CH₄) que se lanza a la atmósfera, incrementando así la acumulación de este gas que contribuye al calentamiento global. Asimismo, la labranza convencional y la utilización de fertilizantes generan un alto porcentaje de óxido nitroso (N₂O).²

Los tres gases mencionados constituyen el principal foco de atención de la lucha contra el cambio climático. Pero ¿qué podemos hacer para revertir esta situación? Es necesario un cambio de actitud de los actores locales, nacionales y de la comunidad internacional para enfrentar el reto. En particular, la agricultura podría contribuir de diversas maneras a mitigar el cambio climático, preservar el ambiente y producir alimentos sanos para el consumo humano. Las prácticas agrícolas con menores emisiones, mayor captura de carbono y balances energéticos más favorables, constituyen uno de los grandes retos para mitigar el cambio climático en el contexto cubano. Esto presupone

¹ FAO, 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Roma. 61 p.

² J.C. Carmona, D. Bolívar y L.A. Giraldo, 2005. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 18 (1): 49.

necesariamente el desarrollo de nuevos modos de producir alimentos y la revalorización del conocimiento local, de forma tal que se beneficien estos actores clave de la sociedad cubana, quienes están encargados no solo de producir alimentos, sino también de cuidar el medioambiente.

El proyecto

Según el diagnóstico inicial realizado en la primera fase del proyecto «Desarrollo de sistemas descentralizados y participativos de garantías ambientales en Cuba», financiado por Hivos, de Holanda, y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), la aplicación de fertilizantes nitrogenados sintéticos constituyó la fuente más importante de emisiones de gases de efecto invernadero en las provincias de Pinar del Río, Matanzas, Cienfuegos, Villa Clara y Holguín. En la búsqueda de soluciones a esta compleja situación, se identificó el potencial del uso de bioproductos basados en microorganismos nativos. Estas experiencias han sido adoptadas por campesinos de las provincias de La Habana, Mayabeque, Matanzas, Holguín, Las Tunas y Sancti Spiritus, en el contexto de los sistemas agrícolas integrados y el uso de prácticas agroecológicas. La tecnología se reconoció como un posible punto de entrada para la generación de alternativas que permitan disminuir las emisiones derivadas del uso de fertilizantes sintéticos.

El uso de estos bioproductos mejora la germinación, la floración, el desarrollo de los frutos y la reproducción de las plantas. Además, mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos; contribuye al control de los patógenos que provocan enfermedades e incrementa la eficacia de la materia orgánica como fertilizante.³ Estos, entre otros múltiples beneficios de uso doméstico, industrial, agrícola y medioambiental, suscitaron el interés de los agricultores cubanos.

En la ganadería la aplicación de bioproductos se orienta principalmente a reducir olores, así como a mejorar el estado sanitario de los animales y la salubridad de las instalaciones. No menos importantes son sus efectos sobre los indicadores productivos debido a su actividad probiótica.⁴

¿Cómo llegó esta tecnología a Cuba?

Los bioproductos basados en microorganismos comienzan a estudiarse en la Estación Experimental Indio Hatuey desde el año 2004, a partir del intercam-

³ T. Higa, 2004. La tecnología de los microorganismos efectivos «EM». Conferencia dictada por Teruo Higa en el Real Colegio de Agricultura. Cirencester, Inglaterra.

⁴ D. Salgado, 2007. Manual para el uso del EM en la producción avícola. Ecotecnologías. Venezuela.

bio realizado con el movimiento de agricultura orgánica de Costa Rica. Cuatro años después, dos productores matanceros, motivados por las ventajas de la tecnología, comenzaron a aplicarla en sus fincas. No solo alcanzaron éxitos en la producción de alimentos y la producción animal, también la enriquecieron a partir de sus experiencias prácticas. Estos agricultores innovadores son:

- Omar González Santamaría, propietario de la finca Plácido, de 10,75 hectáreas, que pertenece a la Cooperativa de Créditos y Servicios (CCS) José Machado del municipio Cárdenas. Omar comenzó a utilizar este bioproducto en la producción animal y observó un efecto positivo en la ganancia diaria, así como en la salud de cerdos y conejos. En los segundos, el grupo control (con una base alimentaria de forraje) alcanzó incrementos de peso vivo de 12 g/día, mientras que el que consumía forraje más bioproducto, logró ganancias de 28 g/día. Asimismo, las enfermedades infecciosas en cerdas recién paridas disminuyeron, entre ellas la mastitis.

También se obtuvieron resultados positivos en el control de diarrea en cerdos pequeños y en la ganancia de peso diaria hasta alcanzar 22 kg a los 60 días de nacidos, lo que significó una diferencia de 6 kg en comparación con los animales sin consumo del bioproducto (16 kg). Además, se observó una reducción de olores desagradables y de vectores como las moscas. Por ello, Omar González afirma que los bioproductos a base de microorganismos nativos «forman parte de mi finca, cuando no los tengo me pongo nervioso, no me pueden faltar».

- Fernando Donis Infante, propietario de la finca Cayo Piedra, de 40,26 hectáreas, que pertenece a la CCS José Martí en el municipio Perico. Empezó a utilizar este bioproducto en el año 2008 y a partir de sus vivencias prácticas ha probado diferentes alternativas en sus cultivos. Ha empleado los microorganismos con el lixiviado del humus de lombriz y los efluentes del biodigestor, y así ha obtenido un biofertilizante de mayor calidad, que además protege a los cultivos contra diversas plagas.

El efecto de estas prácticas ha permitido reducir los gastos de la finca, no solo porque no se emplean productos químicos que generalmente tienen un alto costo, sino porque se han incrementado los rendimientos, que son en todos los casos superiores a los que obtienen los sistemas agrícolas convencionales en la zona. La finca Cayo Piedra ha sido un lugar de referencia para la capacitación nacional e

internacional. Varios medios de información han realizado reportajes sobre la experiencia, y han diseminado la tecnología entre un gran número de productores de todo el país. Según Fernando, «esta tecnología es “bendita”, muy práctica, está al alcance de todos y solo depende de la voluntad de los hombres; es una opción muy atractiva para la agricultura cuando se combina con las demás técnicas agroecológicas».

Estos productores, por sus experiencias e innovaciones, son líderes de la tecnología en Cuba. Sus fincas se han convertido en verdaderas estaciones experimentales que permiten llevar a una mayor escala la utilización de este bioproducto en la agricultura. Para ello han contado con el apoyo financiero de COSUDE a través del proyecto BIOMAS-Cuba y el Programa de Innovación Agropecuaria Local (PIAL). Estos proyectos han estimulado la multiplicación de las buenas prácticas y la búsqueda de soluciones locales.

Metodología de adopción y diseminación

El Centro Local de Innovación Agropecuaria (CLIA) de Matanzas organizó un programa de entrenamiento para productores en el uso de bioproductos con el propósito de desarrollar las habilidades necesarias para producirlos y utilizarlos. El programa se diseñó en tres fases.

En la primera fase las actividades se desarrollaron en las fincas de Fernando y Omar, quienes impartieron un curso-taller que promovió en los productores las habilidades para producirlos localmente (en finca) a pequeña y mediana escala. En los recorridos por las fincas, los participantes pudieron apreciar el efecto de emplear los microorganismos en los cultivos y en la producción animal. En el taller se encontraban presentes 34 miembros del PIAL (de ellos seis mujeres) de siete de las nueve regiones del país donde se ejecuta el PIAL, así como dirigentes y facilitadores de la ANAP.

En la segunda fase, un equipo integrado por estos dos agricultores líderes y por investigadores de la Estación Experimental Indio Hatuey, recorrió las fincas de los participantes en el curso-taller con el objetivo de monitorear la adopción de lo aprendido en la primera fase y documentar los resultados.

La tercera fase consistió en una feria de productos agropecuarios obtenidos con la aplicación de estos bioproductos. En ella se propició un intercambio fructífero entre los participantes y se trazaron nuevos compromisos para que la tecnología siga extendiéndose y se encuentre al alcance de una mayor cantidad de agricultores en todo el país.

Estudios de casos

Cambio de actitud en Gibara

La finca Santa Ana, de 4 hectáreas, pertenece a la CCS Níco López en San Mateo, Gibara, Holguín. La finca se caracterizó por utilizar grandes dosis de fertilizantes y plaguicidas químicos con un costo aproximado de 10 000 pesos anuales, lo que afectó la salud del suelo, las plantas y las personas, a la vez que incrementó los gastos. Yoel Pupo recuerda que en una ocasión, para poder garantizar sus cosechas, tuvieron que vender una cerda de 500 libras para comprar fertilizantes químicos y plaguicidas.

Cuando este agricultor recibió el curso de capacitación para elaborar los bioproductos a base de microorganismos en su finca y pudo apreciar los resultados productivos en la finca de Omar y Fernando, salió convencido. Sin embargo, estuvo preocupado por la aceptación familiar y en especial la de su padre, Juan Pupo Vega, propietario de la finca.

Con perseverancia y muchos deseos de poner en práctica los conocimientos adquiridos, Yoel, junto a su hermano y su sobrino, buscaron los ingredientes necesarios con los cuales montar su propia planta artesanal de microorganismos. Finalmente, logró el cambio de actitud deseado en su padre, quien labora en esta finca desde el año 1952 bajo la concepción de aplicar una gran cantidad de insumos químicos para obtener altos rendimientos. Hoy, después de haber probado la efectividad de esta tecnología en frijol, plátano, tomate, calabaza, ajo, cebolla y maíz, Juan Pupo considera que «no es una alternativa, sino la solución para la agricultura en Cuba».

Esta tecnología dio esperanzas a una madre y esposa preocupada, por el efecto que los químicos podrían ocasionar a la salud de sus hijos, sus nietos y su esposo, ya con serias afectaciones en la piel. Para ella, la llegada de su hijo mayor con estos conocimientos fue «un verdadero milagro y una salvación para la familia».

El testimonio de su sobrino de 11 años, Danilo Pupo, resume en breves palabras lo que significó para él el uso de este producto: «¿Qué va a tener de malo un poco de hojarasca de bosque, con leche o suero de leche y guarapo? Todo lo contrario, eso le va a hacer bien al suelo, a las plantas y a las personas, al tener un cultivo con más nutrientes, más vitaminas y más cosas que el cuerpo necesita para la vida».

En sentido general, con la utilización de la tecnología, en combinación con otras técnicas agroecológicas como el humus de lombriz, este agricultor y su familia, en apenas cuatro meses, ya perciben resultados alentadores en cuanto a la productividad y salud de las plantas. «Ahora nos podemos comer el cerdo sin tener que invertir el dinero en la compra de productos químicos

dañinos», afirma el campesino, y agrega: «No solo para nosotros, sino también para las personas que consumen nuestros productos».

Docencia, investigación y práctica en Holguín

Luego de recibir la capacitación en Matanzas, el extensionista Evelio García Sánchez, de la Unidad de Extensión, Investigación y Capacitación Agropecuaria de Holguín (UEICAH), comenzó a diseñar pequeñas áreas experimentales para mostrar al resto de los productores la ventaja de utilizar en plátano, habichuela, tomate, boniato y frutabomba bioproductos a base de microorganismos nativos en combinación con otros biofertilizantes reconocidos en el país. Estos experimentos han sido la base de cuatro tesis de diploma de Agronomía en la Universidad de Holguín y punto de partida para compartir la experiencia con otros actores de la comunidad.

El equipo de extensionistas dirigido por Evelio ha multiplicado el uso de esta tecnología en los catorce municipios de la provincia, y además se aplica en seis instituciones de la Empresa Agropecuaria del MININT en Holguín. Como parte del recorrido de productores líderes e investigadores de Indio Hatuey a la UEICAH, hubo un fructífero intercambio con los directores del sistema empresarial de la provincia y se generaron compromisos para generalizar el uso de la tecnología dentro del enfoque integrado de la agricultura.

Utilización de microorganismos nativos en Las Tunas

En Las Tunas la acogida de esta tecnología fue similar y así lo aseguró el agricultor Miler Moroña. Su finca Recreo, de cuatro hectáreas, pertenece a la CCS Paco Cabrera del municipio Puerto Padre, y se beneficia de esta tecnología en combinación con otros biofertilizantes y técnicas agroecológicas. Con resultados muy alentadores desde el punto de vista productivo, ambiental y económico, los bioproductos a base de microorganismos nativos permiten un uso eficiente de todos los insumos de la finca.

El despertar de Sancti Spíritus

En Sancti Spíritus también se han comenzado a dar los primeros pasos en el empleo de bioproductos. La finca El despertar, de Jorge Luis García Martín, pertenece a la CCS 10 de Octubre, y en apenas tres meses empezó a cosechar resultados en cebolla, frijol, tomate y guayaba, así como en la producción animal en cerdos y aves.

Jorge Luis ha multiplicado la experiencia en tres talleres y ha observado un gran empeño en los productores, quienes ya piden más capacitación sobre el tema y solicitan variantes. Según sus propias palabras,

el campesino ve por el bolsillo y oye por los ojos, entonces, al visitar su finca y ver cómo cosechamos frijoles con calidad, sin abonos ni pesticidas químicos, ellos también deciden probar esta tecnología. [...] Los productores cubanos tienen que sensibilizarse con la agroecología, saber que es algo que está al alcance de todos, que los hace independientes y que hace su finca más productiva y eficiente.

A partir de las evidencias documentadas en las provincias, se trabaja en una estrategia de visibilidad del trabajo a fin de que más personas tengan acceso a la información. También se pretende contribuir al proceso de socialización de los resultados que hoy se obtienen en la producción vegetal y animal al aplicar bioproductos a base de microorganismos.

Los logros

Con los estudios de caso se constata el entusiasmo de los productores que hoy aplican con creatividad esta tecnología. A partir de sus resultados, se observa mayor confianza en su aplicación, lo cual ha sido transmitido de productor a productor en los intercambios, talleres y visitas que ellos protagonizan y que no solo motivan a otros productores, sino también inducen el cambio a mayor escala.

El uso de los bioproductos a base de microorganismos no sustituye al resto de las tecnologías agroecológicas, sino que constituye un paso más en su optimización, para potenciar la diversificación de la producción agropecuaria y el empleo sostenible de las fuentes de insumos que se generan en las fincas. También ha servido de escuela para investigadores y decisores, quienes se enriquecen de los nuevos conocimientos aportados por los productores. Ello constituye un punto de partida en el diseño de nuevos experimentos que permitan dar respuesta a los resultados que se evidencian en la práctica.

Retos futuros

Nuevos retos quedan por delante, como por ejemplo, la búsqueda de alternativas locales para elaborar diferentes bioproductos basados en microorganismos. Será necesario lograr una mayor diseminación de los resultados positivos de introducir esta tecnología en la práctica productiva, a fin de contribuir al desarrollo sostenible y la seguridad alimentaria en Cuba. Habrá que generar

un cambio de actitud en los productores, decisores e investigadores que todavía consideran como paradigma la agricultura de la Revolución Verde. El cambio de actitud, el compromiso y la mayor disseminación de esta y otras prácticas enfocadas al uso más racional de los recursos naturales disponibles, se alcanzarán cuando los agricultores asocien su empleo con un mayor bienestar de sus familias y el estímulo de saber que están contribuyendo a proteger el medioambiente, así como a incrementar la producción de alimentos sanos.

INNOVACIÓN LOCAL PARTICIPATIVA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Taymer Miranda, Saray Sánchez, Tania Sánchez,
Luis Lamela y Danny Álvarez

ESTACIÓN EXPERIMENTAL INDIO HATUEY, UNIVERSIDAD DE MATANZAS

Las tecnologías empleadas por la agricultura intensiva han deteriorado la capacidad productiva de los suelos, destruido los bosques, desarborizado las áreas agrícolas y contaminado el manto freático y los alimentos con pesticidas, herbicidas y nitratos. La falsa creencia de que con técnicas agroecológicas no se puede incrementar la producción de alimentos, ha contribuido a subestimar su potencial combinado para favorecer la seguridad alimentaria, preservar el medioambiente y promover un desarrollo rural sostenible.

La falta de visión ecológica y humanista, donde la tecnología química y mecánica se erige sobre el hombre, ha afectado también a la ciencia, que se dirigió a la especialización y perdió la base ecológica en la producción agrícola.¹ Tal situación ubica a la agricultura entre los sectores que más contribuyen al calentamiento global de la atmósfera.

En Cuba se han promovido acciones para fomentar el desarrollo de tecnologías y prácticas que generen menos emisiones y estimulen un cambio de actitud en los productores hacia estilos de vida más amigables con la naturaleza. Su aplicación exige un cambio de paradigma en agricultores, dirigentes y académicos, lo que implica cambiar valores, conceptos y enfoques para moldear la forma de pensar y actuar en relación con el proceso de desarrollo de la agricultura y la economía del país.²

Varias instituciones cubanas se han esforzado por contribuir a solucionar la situación ambiental, productiva y económica de la nación. Este es el

¹ J.A. Lozano, 2007. El extensionismo agrícola como herramienta de trabajo en el sector agrícola rural cubano. Disponible en: <http://www.monografias.com>. Consultado en diciembre de 2010.

² J. De Souza Silva et al., 2001. La dimensión de estrategia en la construcción de la sostenibilidad institucional. Serie Innovación para la Sostenibilidad Institucional. San José, Costa Rica: Proyecto ISNAR «Nuevo Paradigma»; y H. Machado, A. Suset., G. Martín. y F.R. Funes-Monzote, 2009. Del enfoque reduccionista al enfoque de sistema en la agricultura cubana: un necesario cambio de visión. *Pastos y Forrajes* 32(3): 215-235.

caso del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), que en colaboración con otras entidades nacionales y con el apoyo de la cooperación internacional, implementó el Programa de Fitomejoramiento Participativo, el cual sentó las bases para la creación y fortalecimiento del Programa de Innovación Agropecuaria Local (PIAL). El PIAL escala metodologías participativas mediante el fomento de los Centros Locales de Innovación Agropecuaria (CLIA) como vía que facilite la participación multisectorial en el diseño, construcción, implementación y evaluación de tecnologías locales para su incorporación en el sector agropecuario.

El punto de entrada

El proyecto «Efectos de la innovación agrícola local en la emisión de gases con efecto invernadero y el balance energético de los sistemas productivos en Cuba», constituyó el punto de entrada de la provincia Matanzas a la red de instituciones que conforman PIAL. La responsabilidad de acompañar las acciones de este programa en Matanzas fue asumida por la Estación Experimental Indio Hatuey, institución que tiene como misión contribuir al desarrollo local sostenible a través de modelos productivos agroecológicos, dirigidos a garantizar el bienestar humano y mejorar los ecosistemas del sector agrario cubano.

En la actualidad, el CLIA de la provincia trabaja con 25 fincas campesinas de nueve cooperativas de créditos y servicios (CCS) de ocho municipios. En estas localidades se ha estimulado la transformación del medio rural hacia sistemas agrícolas integrados de producción con menos riesgos socioeconómicos y ambientales.

Los argumentos

El trabajo del CLIA se sustentó en transformar la visión tecnológica-económica por una más abarcadora, que permita integrar los diferentes elementos del sistema, y que defienda como principios fundamentales la participación en busca de la autogestión y el empoderamiento de los productores y las organizaciones a escala local. Las evidencias sugieren que hay algún componente distintivo y sistémico sobre la innovación como fenómeno localizado, donde la combinación entre proximidad física, transacciones repetidas, historia compartida y forma de ver el entorno, produce resultados que no son generalmente percibidos por otros tipos de sistemas de innovación.³

³ L. Prats y J. Guía, 2003. La destinación como sistema local de innovación: un modelo para la ventaja competitiva sostenible. Escuela Universitaria de Turismo, Universidad de Girona, España. 15 p.

La relación establecida de acompañamiento y facilitación ha posibilitado incursionar en los nuevos conceptos que describen el modo «contexto-céntrico» de generación de conocimiento en los que la fusión de saberes confiere mayor contextualidad, transdisciplinariedad, ética y participación al proceso de transformación. En una primera etapa, el trabajo estuvo encaminado a diagnosticar los sistemas productivos, facilitar el acceso a la diversidad biológica y realizar acciones de divulgación que permitieran la formación de redes. El propósito era contribuir a generar cambios de comportamiento en las organizaciones cubanas, de manera que se favoreciera no solo la adaptación al cambio climático, sino también su mitigación.

Las fincas

De las diez fincas involucradas en el proyecto, cinco son ganaderas, una es agrícola y tres son mixtas (conjugan ganadería y cultivos agrícolas). Sus suelos son de media y baja fertilidad (tabla 1), con superficies que oscilan entre 2,5 y 33,5 ha. El mal manejo de las aguas, la deforestación y el no aprovechamiento de los residuos de las producciones para elaborar abonos se identificaron como características comunes de las fincas estudiadas.

Tabla 1. Contenido y reservas del carbono en el perfil

Finca	Profundidad (cm)	MO (%)	Finca	Profundidad (cm)	MO (%)
1	0-24	5,26	6	0-22	3,72
	24-43	2,17		22-48	1,50
2	0-15	3,80	7	9-24	4,3
	15-40	3,15		24-53	3,2
3	0-32	2,07	8	0-12	5,2
	32-43	0,69		12-23	4,8
				23-41	2,9
4	4-16	0,69	9	0-22	3,40
	16-32	0,41		22-46	0,96
5	0-17	4,47	10	0-18	3,93
	17-38	2,32		18-40	2,00

En las fincas ganaderas, los agricultores no tenían incorporada la filosofía de integración del componente silvícola a los sistemas de producción animal. El ganado predominante era el vacuno, y los volúmenes de producción de

leche se encontraban en el rango de 3 a 5 litros/vaca/día. Los sistemas productivos carecían de diversidad y en ningún caso superaban las 23 especies.

Cambiar o perecer

Ante esta situación, era preciso buscar sistemas productivos que representaran el sustento de las generaciones presentes y futuras desde una posición de cooperación y cuidado de la naturaleza, mediante el diseño de ambientes productivos diversos, estables y resilientes, similares a los ecosistemas naturales.⁴ Las características que debían imitarse eran las típicas de los sistemas permaculturales:

- Bajos en consumo de energía y alta productividad.
- Las personas forman parte consciente del sistema y están comprometidas con las soluciones de los problemas locales y globales.
- Conciben la vivienda y otras estructuras como parte integrante del ciclo ecológico del área agrícola productiva.
- Emplean técnicas y tecnologías accesibles (desde el punto de vista económico) a cualquier persona.
- Alcanzan el mayor grado de suficiencia posible.
- Conciben los espacios con valor estético y utilitario, integrados de forma ecológica al paisaje.

Para enfrentar los cambios, se demandaba de los agricultores mejores conocimientos, habilidades, aptitudes y destrezas, que en el futuro les proporcionarían la autosuficiencia técnica y la autoconfianza necesarias para asumir el protagonismo en la solución de sus problemas.⁵

La transformación

Luego del diagnóstico, la primera tarea del CLIA fue identificar las demandas de capacitación. Además, se elaboraron las principales estrategias de transformación que dieran respuestas a los problemas particulares antes descritos. Se realizaron talleres de capacitación a nivel local, con la peculiaridad de que fueron protagonizados por los productores, revalorizando así los principios

⁴ M.C. Cruz, R. Sánchez y C. Cabrera, 2006. Permacultura criolla. Fundación Antonio Núñez Jiménez de la Naturaleza y el Hombre, La Habana. 239 p.

⁵ P. Lacki, 1995. Desarrollo agropecuario. De la dependencia al protagonismo del pequeño agricultor. Serie Desarrollo Rural 9. FAO, Santiago de Chile, 148 p.

de la metodología de campesino a campesino. En tal sentido, se promovieron intercambios, experimentación campesina y visitas a diferentes experiencias exitosas, que permitieron involucrar y motivar a nuevos interesados en estas prácticas. Los temas compartidos fueron:

- Mejoramiento y conservación de suelos.
- Establecimiento de la lombricultura como alternativa de fertilización.
- Manejo agroecológico.
- Injertos de posturas de frutales y forestales.
- Manejo animal.
- Elaboración de conservas.
- Tecnología de biodigestores para procesar excretas.
- Aplicación de técnicas de permacultura.
- Uso de microorganismos nativos en el manejo de la finca.

La capacitación se presentó como un proceso modificador de los conocimientos, habilidades y saber hacer de los productores, que permitió apreciar incrementos en la productividad, el uso correcto de los recursos, la implementación de cambios y el desarrollo de las personas. Las principales transformaciones estuvieron dirigidas al fomento de fincas agroecológicas como alternativa para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y lograr más integración productiva, económica y social. Fueron prioridades:

- Reforestar, como alternativa para incrementar la biodiversidad, el carbono secuestrado y la calidad de los suelos.
- Introducir alternativas de fertilización agroecológica (abonos orgánicos, biofertilizantes, compost, abonos verdes, humus de lombriz, microorganismos) que permitan disminuir o sustituir los fertilizantes nitrogenados sintéticos.
- Extender cultivos en las fincas para la elaboración local de concentrados alimenticios de mayor calidad.
- Diversificar los sistemas ganaderos con forrajes de elevado valor nutricional que mejoraran la digestibilidad en los animales y redujeran las emisiones de gases de este proceso.

- Mejorar el manejo de las excretas animales y su uso para compostaje, producir biogás, entre otros.

Principales logros

En este período se transformaron 104 ha dedicadas a la producción animal, de las cuales 36 ha están en explotación. Se incrementó la diversidad del estrato herbáceo con la introducción de seis variedades de gramíneas y dos de leguminosas volubles, que confieren mayor productividad a los sistemas al elevar el rendimiento y la calidad de la biomasa disponible por unidad de superficie. Esto ha permitido aumentar la producción de leche a valores entre 6 y 8 litros/vaca/día. Simultáneamente, y usando como herramienta las ferias de diversidad, se han diseminado especies forestales, frutales y de numerosas plantas aromáticas con el propósito de promover su uso en la salud animal y humana, así como en la elaboración de alimentos (tabla 2).

Tabla 2. Especies entregadas en ferias a productores

Uso	Especies
Forestal	Baría (<i>Cordia gerascanthus</i>), caoba (<i>Swietenia mahagoni</i>), majagua (<i>Hibiscus elatus</i>), roble (<i>Tabebuia hipoleuca</i>).
Frutal	Anón (<i>Annona squamosa</i>), cafeto (<i>Coffea arabica</i>), guanábana (<i>Annona muricata</i>), chirimoya (<i>Annona cherimola</i>), caimito (<i>Chrysophyllum cainito</i>), cereza del país (<i>Malpighia puniceifolia</i>), limón (<i>Citrus aurantiifolia</i>), mamey colorado (<i>Pouteria mammosa</i>), marañón (<i>Anacardium occidentale</i>), pomarrosa (<i>Jambosa vulgaris</i>), tamarindo (<i>Tamarindus indica</i>), tajarina (<i>Citrus nobilis</i>), melocotón (<i>Prunus persica</i> L.), mandarina (<i>Citrus reticulata</i>), guanábana (<i>Annona muricata</i>), jambolán (<i>Syzygium cuminii</i>), mamoncillo (<i>Melicocca bijuga</i>).

Por otra parte, la diversificación y el estímulo al reciclaje de nutrientes, a partir de la integración de animales y cultivos, han generado sinergias que potencian las capacidades productivas de los sistemas. Entre las ventajas de estas prácticas, se encuentran: reducción de la vulnerabilidad a plagas y enfermedades, menor dependencia de insumos externos, mayor eficacia en el uso de la tierra y menor demanda de capital por unidad de producto.

Esta multiplicidad de especies y variedades favorece el volumen de cobertura vegetal y de áreas forestadas en las fincas, así como los servicios ambientales generados por los ecosistemas, como el secuestro de carbono. Cálculos realizados de este indicador, siguiendo la metodología de Mercadet y

Álvarez,⁶ muestran cómo ascendió el aporte de carbono secuestrado en una de las fincas donde se incorporó el componente silvícola al sistema de producción animal (tabla 3).

Tabla 3. Valores de almacenamiento de carbono forestal en agroecosistema

Período	Número de árboles	Densidad (plantas/ha)	C forestal almacenado (t de C/ha)
Antes del CLIA	46	1,4	10
Después del CLIA	3 546	107,5	42

Los productores que participan actualmente en el proyecto son entes activos en la generación de nuevos saberes. Ellos han ganado protagonismo, pues organizan su acceso y el de otros productores a la información, las tecnologías y la diversidad (tabla 4). Esta evaluación comparativa, en la que se consideraron las dos dimensiones del desarrollo (ambiental y socioeconómica),⁷ permitió constatar que las fincas incrementaron sus niveles de sostenibilidad con las acciones de transformación promovidas desde el CLIA (figura 1).

Tabla 4. Variables evaluadas en las dimensiones ambiental y socioeconómica

Dimensión	Variable	Antes del CLIA	Después del CLIA
Socioeconómica	Empoderamiento	14	73
	Acceso a la ciencia y la técnica	20	68
	Uso de alternativas locales	15	41
	Resultados económicos	29	70
Ambiental	Emisiones	20	60
	Diversidad	6	52
	Manejo de suelo	15	65
	Carbono secuestrado	22	44
	Manejo para control de plagas	20	64

Nota: Escala: 100 expresa la máxima sostenibilidad de la variable y 0 la situación insostenible.

⁶ A. Mercadet y J. Álvarez, 2005. Informe final de proyecto. Instituto de Investigaciones Forestales. La Habana, Cuba. 50 p.

⁷ Para este análisis, se tomaron elementos metodológicos aportados por la propuesta de Mapeo Analítico, Reflexivo y Participativo de la Sostenibilidad elaborada por la Unión Internacional para el Cuidado de la Naturaleza (UICN, 1997). Esta metodología fue adaptada y aplicada por Machado et al. (cit. en nota 2) en contextos productivos cubanos.

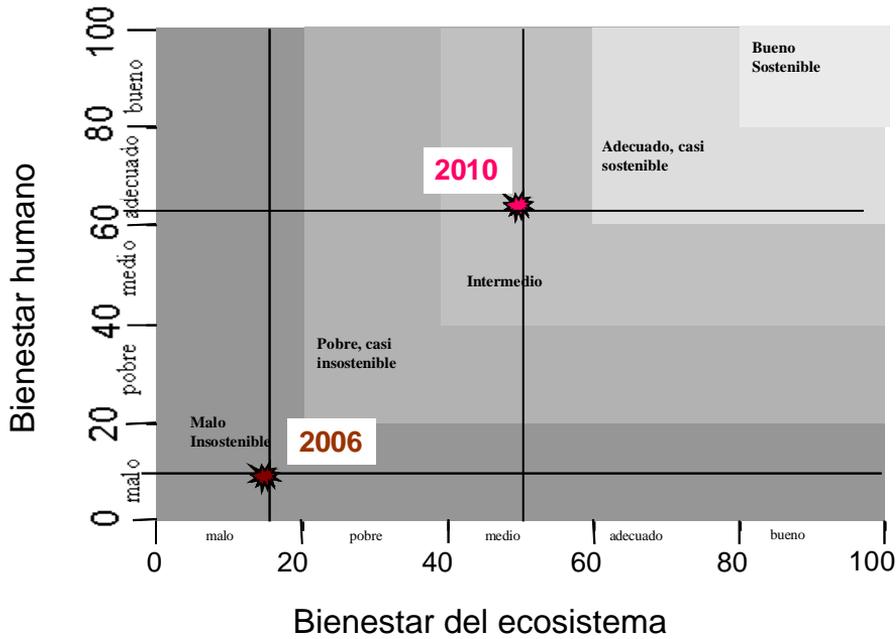


Figura 1. Barómetro de la sostenibilidad

Conclusiones

El estudio y la innovación en sistemas agrarios deben prestar más atención a los vínculos que existen entre sus componentes y su funcionamiento. Para ello, es preciso considerar la evolución social, económica, tecnológica y cultural de los sistemas de producción. Este tipo de enfoque global e integrador también debe ser participativo. La finca constituye un espacio viable y flexible donde se generan evidencias que demuestran que las transformaciones hacia modelos productivos sostenibles son posibles.

GASES DE EFECTO INVERNADERO Y AGRICULTURA ORGÁNICA: UNA PROPUESTA INSTITUCIONAL

Jonathan Castro y Manuel Amador

CORPORACIÓN EDUCATIVA PARA EL DESARROLLO COSTARRICENSE

La Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense (CEDECO) es una organización no gubernamental sin fines de lucro fundada en 1984. Se especializa en la formación de procesos de producción orgánica, agroindustrial y comercialización con pequeños y medianos agricultores o en procesos de organización, animada por una dimensión cristiano-ecuménica para un desarrollo justo y participativo entre las personas, el conjunto de la sociedad y con el ambiente.

CEDECO no se especializa en la investigación, pero busca dar protagonismo a los pequeños productores orgánicos y organizaciones campesinas en temas de pertinencia global. Mediante la investigación participativa y una fuerte coordinación con entidades públicas y privadas de investigación, logra involucrar a los actores rurales en la generación de argumentos que incidan en temas de política ambiental. Concretamente, el efecto de las fincas agroecológicas en la menor emisión de gases con efecto invernadero y la mayor fijación de carbono.

En el año 2004 la cooperación holandesa, a través del Instituto Humanista de Cooperación al Desarrollo (Hivos), encomendó a CEDECO realizar un proceso diferente para validar la participación de las prácticas agroecológicas de pequeños agricultores y su contribución a la fijación de carbono, emisión de gases y eficiencia energética. En ese trabajo investigativo participaron la Universidad de Costa Rica, la Universidad Nacional, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y el Instituto de Investigaciones para la Agricultura Orgánica (FiBL), de Suiza. También fue invitado el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), de Cuba, con el objetivo de realizar estudios similares en la isla.

La investigación

En los últimos años se han registrado desórdenes en los patrones del clima que han suscitado preocupación en la comunidad científica y la opinión pública. La agricultura, directa o indirectamente, ha contribuido al cambio climático a través del incremento de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) que provocan el efecto invernadero y el calentamiento de la atmósfera. Este fenómeno está asociado al uso indiscriminado de insumos químicos, como fertilizantes nitrogenados, herbicidas y plaguicidas; la quema de hidrocarburos; el manejo inadecuado del suelo; la tala de bosques; prácticas ineficientes de alimentación del ganado y mal manejo de residuos de cosecha y estiércoles.

En los últimos siete años, CEDECO ha realizado estudios que comprueban que la agricultura ecológica a pequeña escala posee el potencial de ser eficiente en el uso de la energía y mitigar el cambio climático mediante la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El propósito ha sido contar con evidencias científicas para incluir a los productores orgánicos a pequeña escala en las estrategias de mitigación y crear nuevos mecanismos que reconozcan los servicios al ambiente que presta este importante sector para la agricultura, la alimentación y la preservación del ambiente.

La investigación se realizó en tres etapas. Entre los años 2004 y 2005 se crearon y adaptaron los métodos para evaluar el aporte diferencial de fincas orgánicas a la emisión de GEI. La segunda etapa (2006-2007) sumó observaciones en variables físicas, químicas y biológicas de fincas e incorporó las valoraciones sociales y económicas propuestas por CEDECO como valor agregado a la investigación. Se creó un modelo de análisis que permite, a partir de correlaciones, orientar la articulación de las variables medidas en fincas y explicar el aporte a la reducción de emisiones de GEI, la eficiencia energética y los beneficios sociales para las familias campesinas.

Al contar con información técnica y metodológica validada durante las dos primeras etapas, se inició una nueva fase (desde 2008 hasta hoy) para reconocer las regiones o fincas que generan servicios al ambiente. A través de métodos estadísticos, se han logrado establecer las variables correlacionadas a la reducción de emisiones de GEI, fijación de carbono y eficiencia en el uso de la energía. Además, se derivaron variables representativas en sistemas simplificados, variables determinantes y su correlación estadística, que permitieron clasificar las fincas orgánicas de una región de acuerdo con su eficiencia energética. Los resultados de este proceso han servido de evidencia para proponer la norma y el sello Cam(Bio)2.

Metodología

En los centros de investigación costarricenses, como en otros países de la región, existen limitaciones en cuanto al acceso y disponibilidad de equipos y capacidades técnicas de análisis para estudiar el cambio climático. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) y otros organismos oficiales internacionales han generado metodologías indirectas de medición de GEI, en particular para realizar inventarios nacionales de estos gases.¹ De las metodologías indirectas a escala nacional, el proyecto de CEDECO derivó métodos detallados para aplicar a nivel de finca según protocolos reconocidos internacionalmente.

Las evaluaciones se desarrollaron en diferentes pisos altitudinales, regiones y cultivos. En el país fueron evaluadas 45 fincas dedicadas a cultivos como café, caña de azúcar, hortalizas, piña y cacao con banano en sistemas agroforestales. Se contrastaron fincas de manejo convencional y orgánico en las mismas regiones y cultivos. La investigación definió análisis prioritarios en cuanto a emisión de gases desde el suelo, eficiencia energética de fincas orgánicas, contenido de carbono orgánico en suelos, evaluación microbiológica de suelos, así como análisis de factores sociales y económicos. Para analizar el carbono depositado en los suelos de manera orgánica, se tomó como referencia la profundidad de la capa arable donde fuera determinable, o los primeros 30 cm del perfil, aceptado para suelos con cultivos agrícolas. En las muestras se evaluaron variables como contenido de carbono orgánico, profundidad real del horizonte y densidad del suelo.

Según la metodología del IPCC, se asumió que el 1,25% de las entradas de nitrógeno en sistemas agrícolas son emitidas en forma de N₂O. Por lo tanto, de cada 100 kg de N/ha, el sistema emitirá 1,25 kg de N.² A partir del análisis de itinerarios técnicos, se definió un espacio temporal asociado a los ciclos de los cultivos en estudio y se cuantificó la suma de entradas de nitrógeno. En base al área delimitada, se estimó una tasa de emisión de gases desde el suelo relacionada con la aplicación de fertilizantes, abonos y estiércoles.

Con el fin de evaluar el desempeño energético de cada finca, se consideró un cultivo en particular. Para el cultivo seleccionado se describieron todas las labores y se cuantificaron todos los insumos empleados, incluyendo la mano de obra. Además, se anotaron los datos de productividad del cultivo.

¹ IPCC, 1996. *Climate Change 1995. The Science of Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Reino Unido.

² G.P. Robertson y P.R. Grace, 2004. Greenhouse gas fluxes in tropical and temperate agriculture: The need for a full-cost accounting of global warming potentials. *Environment, Development and Sustainability* 6: 51-63.

Para realizar los cálculos se emplearon las equivalencias energéticas de los productos agrícolas y pecuarios, así como el gasto energético de cada insumo reportado en la literatura. La información de cada finca fue procesada por medio del programa Energía versión 3.0, desarrollado inicialmente por Sosa y Funes-Monzote³ y actualizado por Funes-Monzote et al.⁴ Finalmente, se determinaron las demandas energéticas de los ciclos de cultivo, el rendimiento energético de la producción y su eficiencia energética.

Tendencias generales

Las evaluaciones técnicas llevadas a cabo en Costa Rica han determinado las reservas de carbono del suelo para los diferentes sistemas de producción. No se encontraron grandes diferencias entre el manejo orgánico y el convencional, pero sí se observó el mantenimiento y el aumento de estas reservas, asociadas a la aplicación de abonos orgánicos, coberturas verdes, sistemas agroforestales y obras de conservación de suelos.

Se comprobó que existen diferencias estadísticas entre los sistemas orgánicos y los convencionales en cuanto a la reducción de emisiones de gases desde el suelo y al aumento de la eficiencia energética en todos los cultivos analizados. Como resultado de estos estudios, CEDECO cuenta en la actualidad con una argumentación de los aportes de la agricultura orgánica a la mitigación del cambio climático por secuestro de carbono, reducción de emisiones y mejora del desempeño energético.⁵

Con la base teórico-conceptual de la investigación y sus objetivos, se procedió a plantear un modelo matemático orientador que ha servido de base para estudiar cada una de las variables dependientes (Y): emisión de gases a la atmósfera (CH₄, N₂O), secuestro de carbono, uso eficiente de la energía y producción de alimentos limpios. El uso de este modelo matemático ideal depende de que se cuente con la información precisa (en cuanto a cantidad y calidad) de todos los niveles de los factores en estudio.

$$Y_{ijklmno} = \mu + P_i + E_j + S_k + F_l + Q_m + B_n + \epsilon_{ijklmno}$$

³ M. Sosa y F.R. Funes-Monzote, 1998. Sistema para el análisis de la eficiencia energética de fincas integrales. Instituto de Investigación de Pastos y Forrajes. La Habana. Software.

⁴ F.R. Funes-Monzote, J. Castro, D. Pérez, Y. Rodríguez, N. Valdés y A.L. Gonçalves, 2009. Energía 3.01. Sistema computarizado para el cálculo de los indicadores de eficiencia energética. CEDECO-INCA-EPPF Indio Hatuey. Manual del usuario, 61 pp., La Habana. Software.

⁵ Información adicional puede ser consultada en <http://www.cambio2.org>.

donde:

$Y_{ijklmno}$: Es el valor de cada variable dependiente debida a la r-ésima observación en los niveles ijklmno de cada factor fijo del estudio.

μ : Es la media poblacional.

P_i : Es el efecto debido al i-ésimo nivel de la fuente sistema de producción.

E_j : Es el efecto debido al j-ésimo nivel de la fuente económica en estudio.

S_k : Es el efecto debido al k-ésimo nivel de la fuente social en estudio.

F_l : Es el efecto debido al l-ésimo nivel de la fuente física en estudio.

Q_m : Es el efecto debido al m-ésimo nivel de la fuente química en estudio.

B_n : Es el efecto debido al n-ésimo nivel de la fuente biológica en estudio.

$\epsilon_{ijklmno}$: Es el error aleatorio se supone $NID \sim (0, \sigma)$.

Se empleó un modelo integral (holístico) para determinar la correspondencia entre las variables relacionadas con las emisiones de GEI y secuestro de carbono en las fincas y las demás variables. El análisis de correlación permitió seleccionar las variables relevantes a fin de simplificar su categorización y determinar su interrelación. Se realizó un análisis de tendencia media y frecuencias para definir variables que aportaran información relevante relacionada con los objetivos específicos en el contexto del modelo conceptual planteado.

Con los resultados de este análisis surgió la necesidad de aplicar un instrumento metodológico que permitiera reconocer los aportes de la agricultura ecológica. Se decidió elaborar una normativa y un sello que de manera simplificada generaran los argumentos para diferenciar la contribución del manejo orgánico en la mitigación del cambio climático.

Norma y sello para reconocer el aporte de la agroecología

Los resultados de la investigación sirvieron de base para elaborar una norma auditable por una tercera parte que verifique la calidad del proceso de determinación de los servicios al ambiente. La normativa busca la certificación por

una tercera parte y el sello identifica los productos de fincas que reducen la emisión de GEI. El respaldo científico a la metodología le ha valido participar como miembro de la Mesa Redonda sobre agricultura orgánica y cambio climático (Round Table on Organic Agriculture and Climate Change), fundada en diciembre de 2009 durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en Copenhague.⁶

Esta etapa ha sido importante para poner en práctica la normativa y el sello, y a la vez incorporarlos en las actuales vías de reconocimiento de los servicios al ambiente derivados de la agricultura orgánica. Los estudios de campo permitieron validar estadísticamente el modelo de análisis de fincas y crear una norma que certificara, a través de un sello, el respaldo a ese nuevo servicio al ambiente. Para ello se contó con el apoyo de la agencia certificadora BCS Öko Garantie, con sede en Alemania (figura 1).



Figura 1. Sellos de la agencia de certificación alemana y de Cam(Bio)2

Hoy día se busca el apoyo de diferentes sectores, incluidos la sociedad civil, las iniciativas empresariales responsables de las emisiones e inclusive nichos específicos del mercado voluntario de carbono. Estos recursos pueden ser movilizadados hacia organizaciones de productores donde se generan los servicios al ambiente.

¿Pueden los pequeños agricultores ecológicos negociar sus servicios ambientales?

Un sector que apoya el desarrollo de la agricultura ecológica sugiere que si los agricultores ecológicos negocian sus servicios al ambiente, se exponen a los tradicionales esquemas del mercado de emisiones, pero no ofrece una alternativa. Algunos consideran poco ético que las prácticas de los productores ecológicos sean reconocidas económicamente, aunque este tipo de agricultura también requiere inversiones para desarrollarse. Este ha sido un tema compli-

⁶ Ver <http://www.organicandclimate.org>.

cado, que ha limitado el tránsito de la agricultura convencional a las prácticas agroecológicas. Actualmente se necesitan mayores inversiones para sostener grupos de agricultores que busquen insertarse en el mercado con productos de buena calidad.

CEDECO, a través del proyecto Cam(Bio)₂, valora el servicio al ambiente que prestan los agricultores en las comunidades mediante la disminución de emisiones, el uso eficiente de la energía y la fijación de carbono, para crear alianzas con inversores solidarios interesados en una relación directa con las organizaciones de agricultores. Por medio de Cam(Bio)₂ se construye un vínculo de inversión que permite a las organizaciones llegar a nichos específicos del mercado voluntario de carbono. La relación ética entre los inversores y aquellos que brindan el servicio al ambiente se regula con la cuantificación de las emisiones en origen, el compromiso de las reducciones y la posterior compensación a las organizaciones de productores orgánicos y vinculados al comercio justo. Se trata de una relación en la cual la inversión establece una alianza con organizaciones que elaboran productos con valor agregado y procura mejores ingresos para la sostenibilidad de las organizaciones.

Servicios al ambiente y sostenibilidad agroecológica

CEDECO puede complementar inversiones a procesos sostenibles en las regiones de Centroamérica y el Caribe a través de la negociación con el mercado voluntario de carbono. Con la iniciativa Cam(Bio)₂ se crearon herramientas para demostrar que las regiones con alta proporción de fincas orgánicas contribuyen considerablemente a mitigar el efecto invernadero. La iniciativa se orienta a cuantificar la cantidad de carbono que fijan las fincas de una organización y que se oferta a empresas o sectores de la sociedad civil, como pueden ser municipios de países desarrollados interesados en mitigar el cambio climático. Los recursos generados por la alianza no son distribuidos entre las fincas, sino que se invierten en forma de proyectos que solucionen problemas productivos, por ejemplo, una empresa abonera para incrementar rendimientos, o bien para agregar valor a lo que ya producen, como empaclar o mejorar el procesamiento de su producción.

El mecanismo sería el siguiente: la etapa de valoración de indicadores y de aplicación del modelo de investigación genera los valores para la acreditación de servicios al ambiente mediante la norma. La certificadora, como tercera parte, verifica la veracidad de la aplicación metodológica y valida los créditos ambientales. Simultáneamente, las regiones y sus proyectos agroecológicos se presentan a empresas y a la sociedad civil en Europa. Finalmente, las organizaciones, a través de la acreditación de la norma, sustentan la inversión

en procesos de desarrollo, lo que hace sostenible el esquema. Las empresas privadas y la sociedad civil recibirían por esta inversión un bono que acredita su colaboración al desarrollo de un determinado volumen de servicios al ambiente y se establece un canal directo de colaboración con la organización y la región. De tal manera, los recursos generados regresan a las organizaciones bajo la forma de proyectos que resuelven problemas en la cadena, o bien agregan valor a la organización, contribuyendo así a la sostenibilidad de la región (figura 2).



Figura 2. Metodología cíclica de Cam(Bio)₂

Los servicios al ambiente, basados en una fórmula científica y normados por una certificadora internacional, sustentan el vínculo seguro entre empresas privadas y la sociedad civil europea con las organizaciones y productores latinoamericanos, para apoyar procesos agroecológicos. Simultáneamente se invita a organizaciones, empresas privadas y sociedad civil a iniciar la mitigación en sus espacios de trabajo, tal como CEDECO lo ha hecho con la iniciativa CeroCO₂ de la fundación española Ecología y Desarrollo (ECODES).⁷

⁷ Ver <http://www.ceroco2.org>.

El proyecto también considera importante la negociación directa en Suecia y luego en el resto de Europa, junto con la aplicación del modelo en fincas y regiones. Esto implica visitas periódicas y acercamientos a las empresas privadas y representaciones de la sociedad civil sueca para sensibilizarlas, explicar los mecanismos de reconocimiento de servicio al ambiente y la forma de entrega de bonos para el pago de estos servicios.

Las alianzas en la relación ética entre inversores y organizaciones de agricultores cuentan con la supervisión de certificaciones por terceras partes para verificar la capacidad de desarrollar ese servicio al ambiente. Además, con CeroCO₂ se ha construido una relación de representación capaz de brindar un método de contabilidad de emisión, criterios de reducción del inversor y compensación a las organizaciones. A partir de un método regulado se puede lograr la inversión en procesos que promuevan la permanencia de los agricultores en sus territorios, así como mantener y desarrollar acciones agroecológicas que impulsen los servicios al ambiente.

En función de la innovación y la propuesta del proyecto, actualmente se incorpora el criterio de adaptación al cambio climático. Se reconoce que, a pesar de que se hacen grandes esfuerzos para mitigar los cambios, sus efectos afectarán a corto y mediano plazo las regiones rurales y la producción de alimentos. Se ha demostrado que la agricultura orgánica por sí misma podría responder de manera más adecuada a las fluctuaciones del clima, pues sus sistemas productivos poseen una mayor capacidad de adaptación. Asimismo las alianzas para el desarrollo y la ejecución de proyectos por parte de las organizaciones de productores, se deben orientar a actividades que contribuyan a promover estos sistemas agrícolas.

CEDECO ha asumido el compromiso ético y estratégico de conformar redes regionales en las que se invita a productores, organizaciones de apoyo y Estados a consolidar una propuesta alternativa para reconocer los servicios al ambiente de los agricultores orgánicos desde una perspectiva latinoamericana. La intención final es replantear los mecanismos que permitan combatir la pobreza, apoyar el desarrollo rural, mitigar el cambio climático y alcanzar el desarrollo sustentable.



EPÍLOGO

TRES GENERACIONES EN LA OFELIA

Manuel Serrano

COOPERATIVA DE CRÉDITOS Y SERVICIO FORTALECIDA MIGUEL EXPÓSITO,
TRES PALMAS, VELASCO, HOLGUÍN

Contexto de la historia agrícola local

La Ofelia es una finca que antes de 1959 se extendía desde el barrio de Tres Palmas hasta Calderón, en las inmediaciones de Velasco, al norte de Holguín. Cubría un área aproximada de 12 caballerías, con un relieve predominantemente irregular donde se combinan pequeños valles y cañadas que intervienen en el drenaje de las aguas de lluvia. Por las características descritas, su suelo, predominantemente pardo con carbonatos, es de fertilidad variable.

Estas tierras, ocupadas originalmente por bosques que fueron talados en la primera mitad del siglo XX, se sembraron de caña de azúcar para abastecer al central Chaparra, uno de los más grandes del país. Debido a la caída de los precios del azúcar durante el gobierno de Gerardo Machado (1925-1931), esta actividad fue abandonada y se inició la explotación en forma de aparcería. En este nuevo manejo de los sistemas productivos, como regla se realizaba la principal cosecha de frijoles en septiembre y el resto del año los suelos se cubrían de pastos naturales para la ganadería extensiva. Excepcionalmente, los dueños de las tierras autorizaban que los campesinos aparceros sembraran pequeñas áreas de yuca, maíz, boniato u otros cultivos, así como criaran animales menores para la subsistencia familiar.

Manejados de esa forma, los suelos mantenían una regeneración natural, al beneficiarse con la descomposición de restos de cosecha, la incorporación de biomasa del pasto y estiércol animal. Esto permitía la acumulación de materia orgánica en el horizonte productivo, favorecido por la preparación del suelo con implementos de tracción animal y condiciones climáticas estables en los regímenes de lluvias y temperaturas.

El triunfo revolucionario del primero de enero de 1959, de carácter agrario y antimperialista, cumplió el sueño más anhelado de los campesinos y fue la expresión liberadora de la explotación a que eran sometidos. Las ideas expresadas por Fidel en *La Historia me absolverá* se hacían realidad, pues los campesinos se hicieron dueños verdaderos de las tierras que hasta entonces trabajaban para un terrateniente.

Etapas en el manejo de la finca

Es así como el campesino Manuel de Jesús Serrano Pérez, mi abuelo, adquirió el título de propiedad de 7 hectáreas de tierra pertenecientes a la finca La Ofelia, y con él su hijo, Alfredo Serrano Morales, con quien siempre compartió las labores agrícolas. Eran hombres sin ninguna formación escolar, que solo conocían los rigores del trabajo en el campo y poseían los conocimientos derivados de la experiencia. La Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP) los tuvo entre sus fundadores y asumieron con entusiasmo las orientaciones de esta organización y las de la dirección de la agricultura en aquellos tiempos: el Instituto Nacional de la Reforma Agraria (INRA).

Desde entonces la finca se dedicó al desarrollo de los cultivos varios. Además, mi abuelo y mi padre criaban cerdos y aves en pequeña escala, tenían bueyes para las labores agrícolas y alguna vaca para el autoconsumo de leche. En el período comprendido entre 1959 y 1975, las labores a los cultivos se basaron en una rigurosa disciplina en las épocas de siembra, por lo que se efectuaba la preparación del suelo con suficiente tiempo para que, según ellos, adquiriera una «buena condición». La preparación se realizaba roturando con arado de vertedera de tracción animal y luego se continuaba con cruces usando ese mismo implemento. Más tarde se empleaban gradas de pinchos para recoger las hierbas y restos de cosecha, que se agrupaban y quemaban.

La siembra se efectuaba en surcos conformados con arado de vertedera, en los que las semillas se distribuían manualmente y se ejecutaba el tapado al pie o con el arado. Germinada la semilla, se daba una esmerada atención al control de las malas hierbas mediante aporques con bueyes o manualmente con azadas. Los restos de cosecha de maíz se usaban como alimento animal fuera del campo o eran quemados dentro de este, lo mismo ocurría con el cultivo de la yuca. En esta etapa no se prestaba una especial atención a la fertilidad del suelo por ninguna vía, ni al control de plagas y enfermedades. Los productores desconocían el daño que la quema de los residuos de cosecha causaba al suelo y no consideraban necesario mantener su fertilidad aprovechando los propios residuos de cosechas. Las inclemencias del tiempo, la in-

cesante faena agrícola y la falta de medidas para evitar la erosión, provocaron el desgaste nutricional del suelo y su gradual deterioro.

Con la introducción de la llamada Revolución Verde se produjo un cambio en el sistema productivo de la finca, pasando de una agricultura con carácter natural a una basada fundamentalmente en los avances científico-técnicos, con la introducción del riego y la aplicación de productos químicos. En el año 1976 se trajo a la finca una motobomba con capacidad de extracción de 8 l/s para efectuar el riego. Se utilizó como fuente de abasto un pozo y el riego por surcos durante casi veinte años.

El cultivo de interés económico principal que se desarrolló durante la década de 1980 fue el pimiento, destinado fundamentalmente a la exportación. El Estado dispuso de abundantes insumos químicos, que fueron aprovechados en la fertilización del suelo y el control de malezas, plagas y enfermedades. El rendimiento de los cultivos aumentó considerablemente y también lo hicieron los ingresos. A las tendencias que formaron parte de la idiosincrasia del campesino laborioso, que empleaba mayormente métodos y prácticas provenientes de Europa y sin nociones de conservación del agroecosistema, se sumaron aquellas propias de un sistema convencional. Este nuevo escenario agravó la erosión y contribuyó a la pérdida de la fertilidad del suelo y su regeneración natural. Durante esa época, con el uso de los fertilizantes nitrogenados, se contaminaron los mantos freáticos y se emitieron considerables cantidades de óxido de nitrógeno.

En las áreas de cultivos crecieron varias palmas reales y solo se permitió que crecieran algunos árboles que intencionalmente se conservaban como sombra para los animales en horas de intenso sol y calor. En cañadas y sus alrededores solo crecían pequeñas arbustos y malas hierbas de forma espontánea. Tradicionalmente, los animales se criaban en libertad, moviéndose libremente en áreas aledañas a la vivienda. Los principales alimentos que se empleaban para las aves era maíz seco, y para los cerdos, también maíz, más yuca, boniato, follaje de plátano, restos de cosecha y desperdicios de los alimentos humanos.

La desaparición del campo socialista marcó un escenario de crisis en la vida económica, política y social del país. La agricultura sufrió tanto o más que otros sectores sus graves consecuencias, al no poder contar con los mercados de materias primas, recursos e insumos que permitían mantener los niveles productivos logrados. En correspondencia con la magnitud de esta crisis, en la finca mermaron los volúmenes de producción por no disponer de insumos de los que se dependía en alto grado. La capacidad productiva de los suelos se redujo considerablemente, y los niveles de plagas y enfermedades se elevaron debido a los efectos del cambio climático y la pérdida del equilibrio

natural en la diversidad biológica. Transcurrió casi una década durante la cual la producción estuvo basada en el cultivo de yuca, maíz y pequeñas áreas de frijoles.

Cambio en la manera de pensar y actuar

A partir del año 2005 comenzó a cambiar la manera de pensar y actuar de los productores de esta finca. Tras el fallecimiento de mi abuelo, mi padre pasó a ser el tenedor legal de la tierra y yo me incorporé con él a las labores agrícolas, después de dejar mi profesión de magisterio. Ambos hemos decidido aceptar el reto de la producción agroecológica, y por ello participamos con gran entusiasmo e interés en las capacitaciones que desarrolla la ANAP y el centro de capacitación e investigación liderado por el ingeniero Evelio García Sánchez.

Incorporados al Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA) y luego al proyecto «El cambio climático y la agricultura cubana», transitamos por una transformación paulatina a partir de los conocimientos que se van acumulando y las experiencias puestas en práctica. En los últimos años hemos participado en decenas de actividades de capacitación —ofrecidas por los investigadores de la Estación de Granos de Velasco— sobre fertilizantes orgánicos, manejo de plagas y enfermedades, riego, alternativas para la producción en condiciones de sequía, producción y conservación de semillas, producción animal, elaboración de piensos criollos, actividades de cosecha y poscosecha, alternativas de mecanización para el empleo de la tracción animal, entre otros temas.

Como parte de los proyectos mencionados, se han efectuado intercambios de experiencias con productores líderes y visitas a fincas. Hemos estado presentes en ferias de biodiversidad desarrolladas en el territorio y también en un taller internacional sobre forestería análoga. Con todos los conocimientos adquiridos, hemos diversificado la producción de la finca. Actualmente sembramos yuca, boniato, plátano, calabaza, maíz, frijoles, tomate, melón, soya, pimiento, pepino, cebollino, sorgo, caña, kingrass, frutales y árboles maderables.

El riego por surcos se eliminó totalmente, y lo sustituimos con riego por aspersión. Con esta medida hemos reducido la erosión y la compactación del suelo. También se ha logrado un mejor aprovechamiento del agua, con el consiguiente ahorro en su consumo al aplicar regímenes adecuados en dependencia de cada cultivo y el momento de su ciclo vegetativo. Mi esposa, Mabel Caridad Betancourt Torres, se ha incorporado a esta actividad, que realiza simultáneamente con otras labores. El desarrollo de una conciencia de productores bajo principios agroecológicos se evidencia en el cambio de actitud

que hemos asumido al identificar y actuar sobre las causas y no sobre la corrección de los efectos derivados de prácticas agrícolas agresivas. Ello nos ha permitido introducir paulatinamente nuevas tecnologías y prácticas más amigables con el medioambiente.

En un inicio nos propusimos eliminar las corrientes de agua que cruzaban los campos debido a las fuertes lluvias y que provocaban el lavado de nutrientes y desniveles en los suelos. Construimos zanjas y barreras de piedras que desviarán las aguas hacia guardarrayas; además, sembramos pastos y forrajes para contener los deslizamientos de suelo. A las áreas más erosionadas les aplicamos fertilizantes orgánicos obtenidos con el compostaje de residuos de cosecha. Ya se aprecia un cambio en la nivelación del terreno y el rendimiento de las cosechas es superior.

Actualmente la preparación del suelo tiene en cuenta el alcance de las propiedades físicas, químicas y biológicas con el menor número de labores y, sobre todo, con el empleo de tracción animal para evitar la compactación. Además de tener en cuenta la fecha óptima, antes de sembrar se decide la mejor orientación a partir del análisis de la pendiente del suelo y los movimientos del sol y el aire. Constituye una práctica sistemática intercalar sorgo o maíz con otros cultivos, como barreras protectoras contra plagas. Las semillas son desinfectadas con la aplicación de *Trichoderma*, producto biológico que también se ha empleado con muy buenos resultados en la desinfección del suelo. En siembras de frijol y de soya se han empleado *Rhizobium*, *Ecomic* y *Azotofos* cuando han estado disponibles, para garantizar que las plantas dispongan de una determinada cantidad de nutrientes por esa vía. La experiencia de aplicar *Rhizobium* combinado con compost o humus de lombriz en el frijol, ha demostrado que pueden obtenerse rendimientos de 2 toneladas por hectárea sin recurrir a productos químicos.

Para eliminar de forma progresiva la aplicación de productos tóxicos en el control de plagas y enfermedades, se trabaja en su manejo integrado, de conjunto con el Centro de Reproducción de Entomófagos y Entomopatógenos (CREE). En el cultivo del boniato se ha logrado reducir considerablemente el índice de afectación por tetuán (*Cylas formicarius*), combinando la *beauveria* (*Beauveria bassiana*) y las feromonas con trampas de miel o guarapo. Existen también experiencias de control en el frijol con el empleo de *Bacillus thuringiensis*, *verticillium* (*Verticillium lecanii*), *beauveria* (*Beauveria bassiana*), cal y tabaquina. De igual forma, hemos experimentado, con resultados positivos, la aplicación de esos productos biológicos en otros cultivos.

La reforestación ha sido una dirección de trabajo importante para la captura de carbono y por otros efectos asociados a ella. De forma espontánea crecieron numerosas especies, entre ellas algunas no tradicionales en el lugar,

como yarua, cedro, baría, bijagua, árbol del nim, almendro y júcaro. Hoy la finca cuenta con 188 ejemplares de 15 especies de árboles, además de frutales de mango, guayaba, chirimoya, anón, frutabomba, limón, naranja, aguacate y coco. El incremento de árboles permitió incorporar el café para el autoconsumo familiar, pues este es un cultivo que necesita sombra.

Hoy tenemos otra concepción sobre el manejo y la alimentación de los animales a partir de los conocimientos adquiridos sobre producción de piensos locales. La finca genera yuca, maíz, boniato, soya, caña, leucaena, semillas de guásima, kingrass y otros productos que componen la dieta de los animales. Con ellos se ha logrado elevar la talla y el peso, así como reducir la duración del ciclo de producción y, por ende, aumentar el ingreso económico.

En estos momentos se crean condiciones para establecer la producción de humus mediante la cría de lombrices, se obtienen conocimientos y se observan experiencias en el trabajo con microorganismos eficientes. La experiencia ha demostrado que es económicamente viable, pues los gastos se reducen con el empleo de productos generados por la propia finca, y debido al precio asequible de los productos biológicos en el mercado. El costo por peso producido en 2009 fue de 0,15 centavos. A ello ha contribuido la incorporación de los miembros de la familia, ya que lo más costoso ha resultado ser la fuerza de trabajo, tras elevarse su demanda en esta práctica agrícola.

Contratamos y vendemos nuestras producciones al Estado y permanecemos a la vanguardia en este sentido, lo cual es reconocido por el colectivo de nuestra Cooperativa de Créditos y Servicios Fortalecida (CCSf). En mi caso, fui responsabilizado para el activismo de capacitación y desde hace dos años la CCSf me ha asegurado un espacio en las asambleas generales para el desarrollo de temas de capacitación. Se califica a la finca como agroecológica y asesoramos los círculos de interés de agroecología y producción de granos básicos de la escuela primaria de Tres Palmas. Nuestra experiencia también fue presentada en la celebración por el Día Mundial del Medioambiente en la provincia.

La incorporación de productores a proyectos como el Programa de Innovación Agropecuaria Local (PIAL) y «El cambio climático y la agricultura cubana», ha transformado su pensamiento y actitud para enfrentar la realidad agropecuaria actual. Hoy los productores cuentan con herramientas prácticas, habilidades y capacidades para llevar a cabo un manejo agroecológico, a favor del medioambiente y con producciones más limpias.

SOLUCIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA FINCA SANTA ANA

Yoel Pupo

COOPERATIVA DE CRÉDITO Y SERVICIO FORTALECIDA NICO LÓPEZ,
SAN MATEO, GIBARA, HOLGUÍN

La finca Santa Ana, con un total de 5 hectáreas y ubicada en la localidad de San Mateo, municipio Gibara, provincia de Holguín, la obtuve como herencia de mi abuelo paterno, Juan Fermín Pupo. En sus áreas cultivaba maíz, yuca y hortalizas, y destinaba 4 hectáreas a la siembra por método tradicional de frijol, principal fuente de alimentación en esta zona.

La explotación continuada del suelo durante más de sesenta años, sin un adecuado manejo, provocó la paulatina degradación de la capacidad productiva de la finca. Cuando mi padre comenzó a trabajar la tierra, se dedicó a cultivos que exigían altas dosis de productos químicos: pimienta, ajo, pepino y melón, en tanto mantenía el frijol como siembra obligatoria. Entonces ya contaba con un sistema de riego por surcos que, por un lado, beneficiaba a la planta con la humedad, pero por el otro contribuía a la degradación del suelo. En aquellos tiempos se empleaba la leña como combustible para cocer los alimentos, lo que derivaba en la tala de árboles en la finca sin emplear medida alguna de reforestación. Esta práctica también degradaba los suelos y reducía los servicios ambientales y a la biodiversidad que prestan los árboles.

En el año 2005, teniendo en cuenta nuestra tradición en el cultivo de granos, fuimos invitados a tomar parte en el proyecto Fitomejoramiento Participativo, una excelente posibilidad de obtener asesoramiento y nuevas visiones de hacer agricultura. Primero se nos entregó un nuevo sistema de riego por aspersión, que minimizó la erosión provocada por el sistema por surcos. El proyecto también nos dio la posibilidad de participar en diferentes encuentros de capacitación y talleres que contribuyeron a elevar nuestros conocimientos sobre agricultura, lo que nos permitió descubrir un mundo nuevo. Fue así como comenzó una nueva etapa en la finca, que ha derivado en mayores producciones, incrementos en las ganancias y disminución de los costos.

Uno de los aspectos que más me llamó la atención desde el inicio del proyecto como agricultor-experimentador, fue el uso de abonos orgánicos y, en particular, del humus de lombriz. Aprovechando las condiciones objetivas de nuestra finca, con abundante materia prima (estiércol) almacenada en una corraleta donde se mantienen los animales por la noche, preparamos un cantero para desarrollar la lombricultura y probar sus propiedades beneficiosas.

Construimos el cantero en áreas de un platanal con diez años de explotación, el cual estaba muy deteriorado y pudimos comprobar que, al cabo de cuatro meses, existía una diferencia notable entre las plantas cercanas al cantero y las que distaban de él. Esta simple observación despertó nuestra curiosidad y principalmente la de mi padre, quien hasta ese momento se había mantenido escéptico y reacio al experimento.

Al observar los cambios positivos provocados por el cantero en el platanal, mi padre tuvo un cambio radical de actitud, puesto que los productores necesitan ver los resultados de las nuevas tecnologías en el propio campo, y ser quienes las desarrollen. Finalmente fue él mismo quien insistió en hacer nuevos canteros, al estar consciente de que estos permitirían obtener mayor producción de humus, la que se podría aplicar a otros cultivos en la finca. Así comenzamos a sustituir en buena medida los abonos químicos y apreciamos un resultado palpable en nuestros cultivos y en nuestra economía.

La aplicación de la tecnología de producción de humus de lombriz permitió a todos los agricultores participantes en el proyecto establecer comparaciones que demostraron cuán beneficioso resulta el empleo de este fertilizante orgánico de bajo costo y excelentes propiedades. En nuestra finca pudimos comprobar que al sembrar 1 hectárea de calabaza abonada con humus de lombriz, podíamos obtener un rendimiento de 300 quintales, mientras que a nuestro alrededor otros campesinos sembraron la misma cantidad con fertilizante químico y apenas lograron alguna producción, mientras que otros no obtuvieron nada.

La experiencia con el proyecto no se limitó al empleo del humus. También hemos incorporado conocimientos sobre la elaboración y uso del compost y los abonos verdes, como otras opciones para enriquecer los suelos. En 2008, el huracán Ike azotó duramente la Isla y sus vientos destrozaron el pequeño frutal de la finca; solo sobrevivieron unas plantas de limón, muy deterioradas. Empezamos a tratar de revivirlas con abonos y fumigantes químicos, ya que sus hojas quedaron encaracoladas y florecían pero no llegaban a fructificar, pues abortaban todos sus frutos. Entonces se nos ocurrió abonarlas y fumigarlas con humus de lombriz y al cabo de algunos días empezaron a salir brotes nuevos, las plantas rejuvenecieron y fructificaron. Esto fue muy

revelador, pues patentizó las grandes bondades de una tecnología que hemos tomado como nuestra y a la que hacemos continuas adaptaciones.

Por otra parte, las producciones de la finca Santa Ana se han ido diversificando tras incluir variedades resistentes a la sequía, como sorgo, además de frijol, maíz, pepino y calabaza, fertilizadas con humus de lombriz. Hemos participado en numerosas actividades de intercambio con otros agricultores, técnicos agrícolas e investigadores, en constante búsqueda de las mejores maneras de hacer una agricultura comprometida con el medioambiente y la salud humana, adaptada al cambio climático y que aporte en su conjunto un valor social mayor que el primordial objetivo de producir alimentos para la población.

La integración ha sido la clave para recuperar la fertilidad del suelo en la finca, para que germinen las semillas y crezcan las plantas fuertes que garantizan una producción sostenible de alimentos. Pero más allá de cualquier tecnología, el proyecto encontró una enseñanza mayor: El cambio de actitud de los hombres y mujeres dedicados a producir alimentos, sobre la base del saber tradicional y en constante diálogo con el llamado conocimiento científico, puede fijar toneladas de carbono y contribuir de manera sustancial a mitigar los efectos del cambio climático local y global.

A modo de conclusión, propongo los versos improvisados que hiciera mi padre, donde se demuestra claramente su convencimiento y cambio de actitud hacia la forma de hacer agricultura y, en particular, a favor del humus de lombriz.

Yo quiero expresar aquí
con esta noble escritura,
lo que la lombricultura
significa para mí.

Este abono que ignoraba,
por mi arrastre caprichoso,
es netamente valioso
y de vida prolongada.

He visto en las plantaciones,
en las cuales lo he aplicado,
aumento en las producciones
que otro abono no me ha dado.

Ya mi finca viejecita,
degradada y pobrecita,
según es fertilizada
se va haciendo nuevecita.

Y si siguen mis vaquitas
cooperando con firmeza,
las lombrices y el compost
me devuelven mis riquezas.

Y espero en el 2010,
con mi humilde fabriquita,
hacer nueva mi finquita
para admiración de usted.

Ya salí de mi ignorancia,
las pruebas me han convencido,
que el fertilizante orgánico
es el mejor que he tenido.

Yo les puedo asegurar
con toda sinceridad,
que con humus de lombriz
la tierra nueva será.

Si no me dices chiflado
te diré lo que yo quiero:
voy adaptar a mis vacas
bajo el rabo un maletero,

para no perder ni un gramo
del precioso estimulante,
y poder llenar mis sacos
del nuevo fertilizante.

Sé que se reirán de mí
los valiosos ignorantes,
yo sigo con mi proyecto,
¡ahora no hay quien me aguante!

MEMORIA FOTOGRÁFICA



Agricultores seleccionan variedades de frijol en feria de diversidad en Sancti Spíritus. Foto: EDUARDO CALVES



Felo, agricultor que obtuvo la primera variedad de maíz por métodos de Fitomejoramiento Participativo en Cuba. Foto: EDUARDO CALVES



Cuarto de semillas de Jorge Medina. Foto: JORGE MEDINA



Genaro (a la izquierda), agricultor agroecológico de Jibacoa, Manicaragua, Villa Clara, explica cómo obtiene café orgánico a decisores de la ANAP durante curso de motivación para la Innovación Agropecuaria Local. Foto: EDUARDO CALVES



Expoventa durante festival de la IAL, en San José, Mayabeque. Foto: EDUARDO CALVES



Intercambio de experiencias entre productores y técnicos. Feria de acuicultura en Banao, Sancti Spiritus. Foto: EDUARDO CALVES



Mercedes Bernal, de Pretiles, Manicaragua, Villa Clara, explica cómo prepara conservas caseras. Foto: EDUARDO CALVES



María Valido, campesina líder en La Palma, Pinar del Río, muestra productos de su huerto familiar-comunitario. Foto: EDUARDO CALVES



Selección participativa de variedades de frijol en feria de diversidad en finca de Humberto, Sancti Spíritus. Foto: EDUARDO CALVES



Omar González, productor de la finca Plácido, Cárdenas, Matanzas, explica cómo producir humus de lombriz a los participantes en el taller de biopreparados a base de microorganismos nativos. Foto: TAYMER MIRANDA



Productores participantes en la primera etapa del taller sobre el uso de biopreparados a base de microorganismos nativos. Foto: TAYMER MIRANDA



Preparación del biopreparado “madre” a base de microorganismos nativos. Foto: SARAY SANCHEZ



El productor Jorge Luis García Martín, de la finca El despertar, Sancti Spiritus, muestra sus resultados en el cultivo de cebolla tratada con biopreparados a base de microorganismos. Foto: SARAY SÁNCHEZ



El productor Yoel Pupo y el niño Danilo Pupo verifican la calidad de la “madre” de microorganismos obtenidos en la finca Santa Ana, Holguín. Foto: SARAY SÁNCHEZ



La investigadora Annia Yong y la agricultora Odalys Aroche evalúan y planifican acciones para una mayor adaptación al cambio climático. Comunidad Topes de Collantes, Sancti Spiritus. Foto: MICHEL POU



Mario García, agricultor de Puesto Escondido, municipio La Palma, Pinar del Río, es un promotor activo de prácticas conservacionistas de suelos. Foto: MICHEL POU



Los agricultores Andrés Aldáz, Plácida Aldáz y Basilia Aldáz muestran uno de los bancos locales de semillas del municipio La Palma, Pinar del Río. Foto: MICHEL POU



Las agricultoras Mayté Sarmiento y Xiomara Ferández de la comunidad “Las Caobas” muestran los resultados productivos de la experimentación campesina. Municipio Gibara, Holguín. Foto: MICHEL POU