

## RECUPERACIÓN DE UN SUELO PERDIDO: INVESTIGACIONES EN ZONAS DEGRADADAS DE LA AMAZONIA COLOMBIANA

Clara Patricia Peña Venegas. Microbióloga<sup>1</sup>, Gladys Inés Cardona Vanegas<sup>2</sup>,  
Guillermo Vargas Avila<sup>3</sup> y Mario Wilman Coy<sup>4</sup>

### Introducción

El estudio de los suelos de la región amazónica colombiana es reciente. Data de la década del 70, cuando por primera vez se realizó un proyecto multidisciplinario, denominado Proradam, que buscó conocer en forma integral los suelos de la Amazonia colombiana (IGAC, 1979). Las conclusiones del mismo muestran unos suelos de muy baja fertilidad en su fase mineral, por cuanto impulsa la investigación hacia la fase orgánica como único aporte significativo de nutrientes para las coberturas. Surgen, entonces, investigaciones, como las de León et al. (1985) y Rojas (1988) sobre el uso y manejo de fuentes naturales de materia orgánica; la de Rodríguez (1990) en torno a la caracterización de la materia orgánica y su aporte en nutrientes; la de Lips y Duivenvoorden (1990) sobre velocidad de descomposición, y la de Páez (1990) sobre la potencialidad de uso. El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) vuelve a hacer un nuevo esfuerzo por conocer mejor los suelos amazónicos

con el Programa de Investigaciones para la Amazonia (INPA), desarrollado en varias fases, desde 1987. Su primera fase, denominada INPA I (IGAC, 1993), correspondió al estudio de los suelos del occidente del departamento de Caquetá, y es el trabajo más completo desarrollado por el programa. INPA II (IGAC, 1996) abordó el municipio de Mitú, departamento de Vaupés, en donde, a diferencia de INPA I, la actividad de microorganismos se estudia en forma muy general. El INPA III (IGAC, 2003) se desarrolló en el Trapecio Amazónico, departamento de Amazonas, donde no se desarrolla el componente de distribución y actividad de microorganismos.

En el mismo período, la Corporación Araracuara desarrolló un programa amplio de suelos en el departamento de Guaviare, en donde se perfilaron las primeras investigaciones en torno a la degradación y recuperación del suelo, la búsqueda de nuevos sis-

<sup>1</sup>Investigadora Instituto Sinchi

<sup>2</sup>Bacterióloga M Sc

<sup>3</sup>Ing. Agrónomo. M. Sc.

<sup>4</sup>Tecnólogo en Investigación

Investigadores Instituto Sinchi



temas de producción y la planificación del uso de la tierra. Para el año 1993, ya se proponía crear un programa de investigación para la Amazonia colombiana (Martínez, 1993) que sobrepasara la descripción de suelos. Se planteaba separar las zonas no intervenidas de las intervenidas y trabajar en estas últimas en aspectos como la generación de tecnologías de manejo de la fertilidad, la investigación en micorrizas y microorganismos fijadores de nitrógeno, el uso de coberturas vegetales y abonos verdes, la agricultura orgánica y la obtención de germoplásma tolerante a las condiciones amazónicas.

Recién creado el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi), se comienzan a definir las líneas y proyectos en que enfocaría su investigación. Es así como, para el año 1996, nace el proyecto BPIN “Mantenimiento de la Fertilidad del Suelo y Generación de Tecnologías para la Recuperación de Áreas Degradadas en la Amazonia Colombiana” con acciones en los departamentos de Guaviare, Caquetá y Amazonas. Desde su formulación, el proyecto viene generando cada año información relevante sobre el tema. El presente texto

busca documentar los avances que se han dado en el tema en estos diez años de investigaciones y que han sido una realidad para las poblaciones de la región en cuanto a la recuperación de los suelos degradados.

### **Estado de la degradación de suelos**

La vocación de los suelos de la Amazonia colombiana es forestal, por lo que podemos deducir que la deforestación es el primer paso para su degradación. Esta puede definirse como la pérdida de las características físicas, químicas y/o biológicas que afectan su capacidad de autorregulación y productividad. De acuerdo con el estudio de las fotografías aéreas del departamento de Guaviare, correspondiente al período 1987-1997, se pudo estimar la tasa de deforestación para sitios con diferente grado de colonización, y así obtener una tasa de deforestación anual que oscila entre 4,6% y 1,3% (Sinchi, 2002). Es importante resaltar que el departamento de Caquetá puede llegar a tener una tasa de deforestación mayor que esta, mientras que en los departamentos de Putumayo, Amazonas, Guainía y Vaupés la tasa de deforestación es menor. Las dife-

rencias están dadas por la ubicación de los frentes de colonización y expansión de la frontera agrícola que tiene Colombia hacia la región amazónica.

Según Martínez (1993), uno de los principales síntomas de degradación ocurre en la morfología del perfil, al perderse el horizonte orgánico. En suelos con pasturas, este horizonte es reemplazado por uno del tipo Ap. Otro cambio físico ocurre en la estructura del suelo, que pasa de consistir en bloques subangulares y adquiere una estructura laminar. En pasturas de tres años, la laminación es incipiente; en pasturas mayores de 10 años, la laminación es bien definida. Estos cambios en la estructura del suelo están íntimamente relacionados con la relación agua-aire del suelo e inciden en un mal drenaje y una progresiva compactación del suelo. Algunos cambios químicos corresponden a la pérdida de la materia orgánica y el fósforo (Ordóñez, 1989).

La degradación de los suelos ocurre de manera desigual y depende de las actividades y forma de manejo que se les ha dado, luego del cambio de su vocación forestal. Generalmente, se asocia la degradación de los suelos en la región con los departamentos de Caquetá, Guaviare y Putumayo. De acuerdo con los resultados obtenidos, también existen procesos de degradación de suelos en los departamentos menos intervenidos. En estos últimos, ocurre no solo por la deforestación y praderización que realizan los colonos, sino por la sobreexplotación que algunas comunidades indígenas tienen que hacer de sus zonas de resguardo.

Un caso evidente ocurre en el municipio de Leticia, Amazonas. Este es el sector más poblado del departamento de Amazonas y alberga el 43,3% de toda su población (DANE, 1993), mayoritariamente indígena en la zona rural y mestiza en el centro urbano de Leticia. La mayor parte del territorio es reserva forestal, definida por la Ley 2 de 1959. Fuera de ella, el territorio está ocupado por el Parque Nacional Natural Amacayacu y predios de particulares. Para las comunidades indígenas sin resguardo posterior a la sanción de Ley 2, la asignación de un área de resguardo se ve limitada por la poca disponibilidad de terrenos con posibilidad de ser adjudicados, por lo que muchas comunidades tienen resguardos muy pequeños para la población

que albergan o no tienen territorio propio, teniendo que alquilar predios para sus cultivos. En 2002, se pudieron identificar 10 comunidades indígenas con problemas de degradación de suelos.

El proceso de degradación comienza cuando las comunidades realizan sus chagras, sin tener la posibilidad de dar suficiente descanso al suelo, luego de su uso. Generalmente, el período de descanso que se da en forma tradicional es de tres a cinco años. En las comunidades con suelos degradados, el descanso es menor de un año.

Para entender cómo ocurre el proceso de degradación/recuperación, se han realizado tres tipos de evaluaciones: la primera consistió en comparar los cambios fisicoquímicos que ocurren con el proceso de tumba, quema e instalación de la chagra. Para ello se tomaron muestras de suelo de chagras recientes y de bosque circundante. Este último representaría las condiciones anteriores a la intervención del suelo. La segunda evaluación consistió en comparar los suelos de chagras de comunidades sin procesos de degradación con suelos de comunidades con procesos de degradación.

El tercer ensayo consistió en establecer una parcela piloto de recuperación en una zona praderizada, con más de 15 años de uso en ganadería, y monitorear anualmente los cambios. El proceso de recuperación consistió en no limpiar el lugar, sembrar especies de pan coger, frutales, maderables y palmas de rápido crecimiento, y aplicar abono orgánico. La parcela fue montada en 1998 y ha sido monitoreada anualmente desde entonces.

Para todos los ensayos, se evaluó el perfil del suelo (drenaje, número de perfiles, color, raíces), el espesor de la hojarasca (Ho), la profundidad de los horizontes (cm), la penetrabilidad (g/cc), la infiltración, el porcentaje de humedad y densidad aparente. Así mismo, se tomaron muestras de suelo que fueron enviadas a los laboratorios de suelo del IGAC para determinar la textura y las variables químicas correspondientes. También se evaluó la simbiosis micorriza arbuscular y la presencia de nódulos para fijación de nitrógeno en leguminosas.

De acuerdo con los análisis de suelos, todas las muestras correspondieron a suelos de textura franco, la predominante en el sur del Trapecio Amazónico. Para realizar el análisis de los resultados, se separaron los datos de las muestras de suelos según su unidad fisiográfica. De tal forma, se analizaron los datos de muestras correspondientes a suelos aluviales del

Cuaternario con una menor acidez, mayor fósforo y menor saturación de aluminio; y muestras de suelos correspondientes a suelos no inundables provenientes de terrazas antiguas con más acidez y saturación de aluminio y con menos fósforo, que en general se traduce en una menor fertilidad (Figura 1).

FIGURA 1.

(A) PRADERA DEGRADADA DE 15 AÑOS DE EDAD, LETICIA AMAZONAS



(B) LA MISMA PRADERA LUEGO DE AÑO Y MEDIO DE RECUPERACIÓN INDUCIDA.



De acuerdo con los resultados obtenidos, las tres variables químicas que evidencian un proceso de degradación o recuperación de un suelo en un período corto de tiempo (un año aproximadamente) son la

saturación de aluminio, el porcentaje de saturación de bases y las concentraciones de fósforo disponibles en el suelo. Es así como las chagras presentan una mayor saturación de aluminio que los bosques que las ante-

cedieron, mientras que los bosques presentan mayores saturaciones de bases y concentraciones de fósforo que las chagras. Esta tendencia se evidenció en todas las muestras de suelo, independientemente del tipo de unidad fisiográfica muestreada.

En los procesos de recuperación implementados, fue evidente que los primeros síntomas de recuperación ocurren igualmente en la saturación de aluminio, la saturación de bases y las concentraciones de fósforo. La saturación de aluminio tiende a disminuir en las parcelas en recuperación, mientras que el porcentaje de saturación de bases y las concentraciones de fósforo incrementan.

Usualmente, se ha relacionado la saturación de aluminio con el pH del suelo, con mayor saturación en pH ácidos. Sin embargo, según los resultados obtenidos, es posible reducir la saturación de aluminio al ser reemplazado este por otras bases, como calcio, magnesio, potasio y sodio. Este recambio no ocurre fácilmente ni en forma natural en el suelo, mucho menos sin un cambio en el pH, por lo que se presume mediado por microorganismos.

En el suelo, el aluminio tiende a formar complejos muy estables con el fósforo en niveles de pH ácidos. En los suelos amazónicos, tipo oxisol y ultisol, los fosfatos de hierro son formados con más frecuencia que los fosfatos de aluminio y calcio; sin embargo, existen microorganismos nativos capaces de solubilizar (disolver?) estos compuestos liberando y liberar el fósforo del aluminio. Una forma de hacerlo es a través del uso de abonos con pH más alcalino, el cual actúa temporalmente sobre la composición química del suelo y facilita la liberación de los complejos fosfato de aluminio (enlaces más débiles) y la acción enzimática de los microorganismos. Pero, en últimas, son los microorganismos los que dinamizan el proceso de recuperación. De allí la importancia de determinar la diversidad de los grupos funcionales de estos organismos y su papel en la recuperación de los suelos.

## **Microorganismos, fundamentales en la recuperación de los suelos**

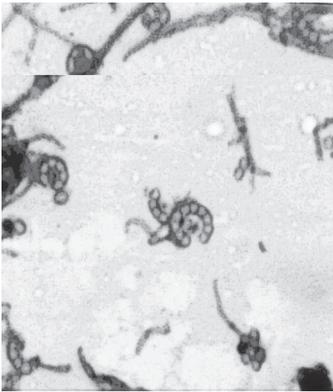
En los últimos años se ha venido trabajando en dos grupos de microorganismos del suelo: 1) los que es-

tablecen relaciones directas con las plantas y que, por esta vía, mejoran la fertilidad del suelo y afectan positivamente el desarrollo y permanencia de las plantas en el medio, como son los hongos formadores de micorrizas y las bacterias fijadoras simbióticas de nitrógeno; 2) los que no se asocian directamente con las plantas, pero juegan un papel importante en los ciclos biogeoquímicos del suelo e inciden directamente en la fertilidad, como son las bacterias y hongos solubilizadores de fosfatos y los actinomicetos.

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares son simbiontes obligados (solo sobreviven asociados a las raíces de las plantas huésped), por lo que no se pueden cultivar en laboratorio. Su presencia mejora las condiciones de agregación del suelo, ayuda en la movilización de agua y minerales hacia la planta, en especial el fósforo, estimula la producción de hormonas de crecimiento en las plantas y les confiere una mayor resistencia a los patógenos. Las bacterias de los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium* y *Azorhizobium* se asocian íntimamente con plantas leguminosas para fijar nitrógeno atmosférico y transferirlo al suelo, con lo que aumentan allí las concentraciones naturales de este elemento.

Los microorganismos solubilizadores de fosfatos son aquellos que tienen la capacidad de liberar el fósforo oculto en arcillas, no disponible para las plantas. La mayoría de los estudios demuestran un efecto positivo en las plantas, al inocular conjuntamente hongos micorriza arbuscular y microorganismos solubilizadores de fosfatos (Ramirez et al., 2001), lo que demuestra relaciones mucho más estrechas y complejas entre microorganismos. Los actinomicetos, un grupo importante con alta capacidad de degradación de compuestos recalcitrantes y de difícil degradación, son los principales grupos involucrados en procesos de compostaje y biorremediación para la recuperación de áreas contaminadas. Su presencia en el suelo está relacionada con la regulación de bacterias y hongos patógenos para las plantas.

Los microorganismos por sí solos no pueden mejorar las condiciones de fertilidad del suelo. Para ello es necesario que dispongan de abundante materia orgánica de buena calidad. En condiciones naturales, el bosque



provee suficiente (hojas, ramas y raíces en descomposición) para que los microorganismos elaboren los nutrientes necesarios y mantengan la fertilidad del suelo. Al cambiar la vocación forestal de los suelos, se eliminan las fuentes de materia orgánica y rápidamente comienza la degradación. La elaboración de abonos orgánicos, como fuente de materia orgánica de buena calidad y nicho con condiciones favorables para la reproducción de microorganismos benéficos, es una alternativa que se ha venido evaluando e implemen-

tando con gran éxito en la región.

## Abonos orgánicos como prácticas de recuperación de suelos transferidas a las comunidades

Existen muchas recetas para elaborar abonos orgánicos. En la región amazónica colombiana su uso está ligado a un factor social y económico. No es lo mismo enseñar a un colono que a un indígena a hacer abonos orgánicos, cada uno tiene un acervo diferente de conocimientos e interioriza los procesos de acuerdo con su tradición de cultivo y lamanera como se relaciona con los insumos y sus creencias. Por ejemplo, un colono conoce el término, tiene acceso a diversos recursos (levadura, leche ácida, boñiga de vaca, melaza, roca fosfórica) y puede acceder y comprar algunos de ellos. Por su parte, un indígena no maneja el concepto de abono y su material para hacerlo es limitado, sin la posibilidad de invertir dinero en comprar insumos, por baratos que estos sean; además, existen creencias que limitan la acogida fácil de estos procesos. Un caso claro de ello es el de la lombricultura. En muchas de las culturas indígenas, no es permitido el manejo de lombrices o gusanos en labores agrícolas, dado que estos animales se asocian con descomposición, suciedad y enfermedad.

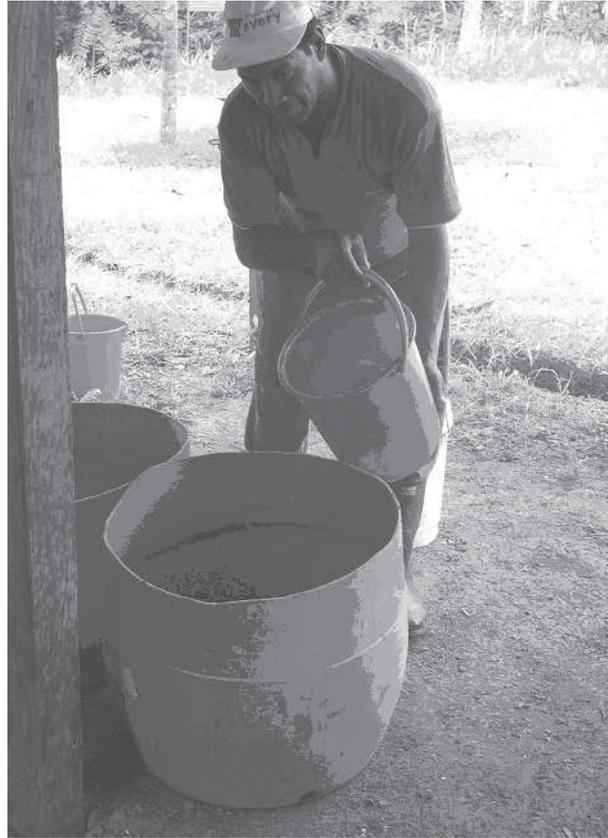
Sin embargo, el Instituto Sinchi ha venido trabajando con los dos tipos de pobladores en la elaboración de abonos orgánicos, con resultados exitosos, como los que se mencionan a continuación.

## Experiencias exitosas de elaboración de abonos con colonos

Implementar un modelo de producción y agricultura sostenible, en una región donde los modelos agrícola y pecuario provienen de experiencias foráneas a la región amazónica, con un alto uso de agroquímicos y sistemas extensivos de monocultivo, ha sido un reto que el Instituto Sinchi viene asumiendo. Desde hace aproximadamente 10 años, se viene promocionado el cultivo en sistemas agroforestales y las prácticas limpias de abonamiento a partir de los recursos locales con que cuentan sus pobladores.

En el departamento de Guaviare, se ha venido desa-

FIGURA 2. COLONO PREPARANDO ABONO LÍQUIDO EN CANECAS



rollando un proceso de implementación de agricultura orgánica con 100 familias campesinas y colonas de la región. Se han elaborado diferentes tipos de abonos, como los sólidos tipo compost en pila, bocachi y lombricompuesto. Como abonos líquidos, se han usado los caldos trofobióticos y microbacteriales tipo agroplus. Igualmente, las familias se han capacitado en la elaboración de preparados minerales, como los caldos bordeles, de ceniza, sulfocálcico y preparados combinados de especies vegetales y minerales (Vargas y Peña-Venegas, 2003). Los resultados muestran que las familias encuentran en estas prácticas una verdadera alternativa para reemplazar el uso de agroquímicos y mantener una producción con calidad.

### **Experiencias exitosas de elaboración de abonos con indígenas**

Luego de la evaluación de varias capacitaciones dadas en la región sobre abonos orgánicos y su acepta-

ción por las comunidades indígenas, se concluyó que los más aceptados eran los abonos tipo compost. Se encontró que el compost que las comunidades han aprendido a elaborar con residuos del hogar y de la chagra para mejorar sus cultivos, en general, tiene bajas concentraciones de fósforo. En los ensayos realizados, se pudo evidenciar que, aun cuando mejoraba la productividad, en algunos cultivos aún se observaban deficiencias y poco vigor en las plantas. De allí la necesidad de encontrar fuentes adicionales de fósforo locales de bajo costo que pudieran adicionarse a los compost. Una de las fuentes encontradas fueron los residuos de pescado. Según el proyecto “Cuantificación y aprovechamiento de los subproductos pesqueros en el Trapecio Amazónico colombiano. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi-Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (Pronatta)” (Agudelo et al., 2004), en la ciudad de Leticia se acopian aproximadamente 10 toneladas de pescado. Los pescados son eviscerados y

decapitados para ser enviados a Bogotá y otras ciudades del país para su comercialización. En este proceso se generan dos toneladas de desperdicios de pescado, a los cuales no se les da ningún uso.

El éxito en la preparación de un abono orgánico está en el balance de nutrientes que este debe presentar. Un buen abono obtenido a partir del compostaje debe tener una relación carbono-nitrógeno entre 20-30 para que esté bien formulado (OPS, 1999). A partir de esta premisa, se realizó la estimación del porcentaje de carbono y nitrógeno de cada uno de los materiales. Para el caso del compost, este es elaborado a partir de residuos de la chagra, podas, hojas y residuos del hogar. Este tipo de material posee un porcentaje de carbono de alrededor del 40% y de nitrógeno de 1% de. Por otra parte, las vísceras de pescado pueden ser comparables en su composición a la harina de sangre, la cual posee 35% de carbono y 15% de nitrógeno.

Con esta información, se desarrollaron tres tipos de abonos: 1) abono fosfatado con fermento, a partir del ensilaje del pescado con la adición de masato como fuente de bacterias lácticas; 2) abono fosfatado sin fermento, a partir del ensilaje del pescado sin la adición

de masato, y 3) abono fosfatado crudo, a partir del uso del pescado sin ensilar.

Después, se realizó un diseño experimental con cuatro abonos (los anteriormente descritos, más el compost sin fuente de pescado), cuatro cultivos (ají, cocona, pepino y habichuela) y cuatro repeticiones. Cada repetición correspondió a una réplica del experimento en sedas comunidades indígenas con problemas de suelos degradados (San Antonio de los Lagos, San Sebastián, San Juan de los Parentes y San José km 6). Los resultados fueron analizados estadísticamente de acuerdo con una prueba de análisis de varianza (ANOVA) ( $\mu = 0,05$ ).

Los abonos preparados presentaron, en general, mejores condiciones de acidez, capacidad de intercambio catiónico y fósforo que los suelos de la región, lo que disminuye el estrés en los cultivos por factores edáficos y promueve un mejor desarrollo. Los resultados mostraron grandes diferencias en el crecimiento de las plantas en compost y en los abonos fosfatados (Figura 4). En estos últimos, las plantas tienen un mejor crecimiento, más vigor y un color verde intenso en su follaje. Tal vez el resultado más importante obtenido es el re-

FIGURA 3. COMUNIDAD PREPARANDO ABONO EN UNA DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES



FIGURA 4.

(A) DIFERENCIA DE CRECIMIENTO DE PLANTAS EXPERIMENTALES (COCONA) EN COMPOST Y



(B) ABONO FOSFATADO CON RESIDUOS DE PESCADO



lacionado con la presencia de asociaciones planta-microorganismo, como la simbiosis leguminosa-rizobio y la presencia de micorrizas arbusculares. La simbiosis leguminosa-rizobio evaluada en habichuela no se desarrolló adecuadamente en compost o en abono fosfatado con fermento. Por otra parte, los valores de colonización radicular por micorrizas arbusculares, en general, fueron altos en todos los abonos.

Para el caso particular de la simbiosis micorriza arbuscular, solo en el abono fosfatado crudo y en el abono fosfatado sin fermento se observó la presencia de arbusculos, estructura responsable del intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta. La presencia de estas estructuras confirma la efectividad de la simbiosis, lo que no quiere decir que en los otros abonos la simbiosis micorriza arbuscular no sea eficaz, pero será menos eficiente.

Con los anteriores resultados y teniendo en cuenta las características socioeconómicas y culturales de las comunidades indígenas del municipio de Leticia, se

están generando procesos de recuperación efectivos que involucran a más de 1.500 familias de los municipios de Leticia, Puerto Nariño y Chorrera, que reconocen en estas prácticas una forma de mejorar su producción familiar.

## Agradecimientos

En especial, queremos agradecer a todas las familias colonas e indígenas que han depositado su confianza en nosotros para emprender juntos un proceso de experimentación que nos ha llevado a generar alternativas viables de recuperación y manejo de suelos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudelo, E.; J. M. Alzate; O. L. Chaparro; J. H. Argüelles y C. P. Peña (2004), "Cuantificación y aprovechamiento de los subproductos pesqueros en el Trapecio Amazónico colombiano", en Webmaster del Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, informe final, Instituto Sinchi, Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria Pronatta. <http://200.13.202.26:90/pronatta/proyectos/pdf/201915008inf.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) (1993), "Primer reporte de datos censales para el departamento de Amazonas", en proceso de revisión.
- Instituto Sinchi (2002), "Primera generación de indicadores de línea base de la información ambiental de Colombia", Capítulos Regionales, Amazonia, pp. 764-769.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (1979), "La Amazonia colombiana y sus recursos", Proyecto Radargramétrico del Amazonas (Proradam), Bogotá, IGAC-CIAF.
- \_\_\_\_\_ (1993), "Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente del departamento del Caquetá", en Estudios en la Amazonia colombiana, IGAC, TROPENBOS.
- \_\_\_\_\_ (1996), Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del municipio de Mitú (departamento de Vaupés), Bogotá, IGAC.
- \_\_\_\_\_ (2003), Investigaciones para la Amazonia INPA III, Bogotá, IGAC.
- León, T.; A. Cortés; C. Pulido (1985), "Efectos del sombrío y el mantillo sobre la producción de frijol (*Vigna unguiculata*) en condiciones amazónicas", Boletín Ecotrópica (12):51-63.
- Lips J. M. y J. F. Duivenvoorden (1990), Estudios de suelos en la Amazonia colombiana, Bogotá, Tropenbos, Colombia.
- Martínez, L. J. (1993), "La investigación en suelos del Guaviare: un criterio para definir líneas de acción en suelos de la Amazonia", Colombia Amazónica, 6(2):9-46.
- Ordóñez, N. (1989), "Evaluación de degradación de suelos en el área de colonización de San José del Guaviare", Colombia Amazónica, 4(1):41-52.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS) (1999), Manual para la elaboración de compost: bases conceptuales y procedimientos, CIUDAD, OPS, 69 pp.
- Páez, R. (1990), "Efecto del litter y fangos aluviales en el nivel de fertilidad de un suelo disturbado de la Amazonia colombiana", tesis de grado, Fundación Universitaria Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.
- Ramírez, A.; D. Otálvaro; C. Álvarez; J. C. Pérez y N. W. Osorio (2001), "Efectos de organismos rizosféricos sobre la absorción de fosfato y el crecimiento de *Leucaena* en un Andisol", Suelos Ecuatoriales, 31(2):239-243.
- Rodríguez, J. L. (1990), Estudios de biomasa, composición química y dinámica del bosque amazónico, Bogotá, Tropenbos, Colombia.
- Rojas, G. S. (1988), Estudios de fertilización en el cultivo de plátano, Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Vargas, G. y C. P. Peña-Venegas (2003), La agricultura orgánica para mantener y recuperar la fertilidad de los suelos, conservar la biodiversidad y desarrollar la soberanía en la Amazonia, DATOS, 71 pp.