



↑  
**INCREMENTO**  
*de la sostenibilidad*  
**DE LA PRODUCCIÓN**  
**AGRÍCOLA**

LA PERSPECTIVA DE LOS  
*procesos biológicos*





↑  
**INCREMENTO**  
*de la sostenibilidad*  
**DE LA PRODUCCIÓN**  
**AGRÍCOLA**

LA PERSPECTIVA DE LOS  
*procesos biológicos*

**INTRODUCCIÓN**

*Página 1*

1

**REGULACIÓN Y CONTROL DE PLAGAS**

*Página 4*

2

**POLINIZACIÓN**

*Página 10*

3


**PROCESOS BIOLÓGICOS DEL SUELO**

*Página 16*

4

**POLÍTICAS FAVORABLES Y AMBIENTES INSTITUCIONALES**

*Página 32*



Las denominaciones y la presentación de material en este producto informativo no implican la expresión, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o estado de desarrollo de ningún país, territorio, ciudad o área o de sus autoridades, ni respecto a la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de compañías específicas o de los productos manufacturados, hayan sido patentados o no, no implica que esos productos hayan sido endosados o recomendados por la FAO en preferencia a otros de naturaleza similar que no hayan sido mencionados.

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión del material contenido en este producto informativo para fines educativos u otros fines no comerciales, sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor siempre que se especifique claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción del material contenido en este producto informativo para reventa u otros fines comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor.

Las peticiones para obtener tal autorización deberán dirigirse al Jefe de la Subdirección de Información de la

**FAO**  
**Viale delle Terme di Caracalla**  
**00153 Roma, Italia**

o por correo electrónico a  
**[copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org)**

© FAO, 2011 (Edición Española)  
FAO, 2009 (Edición Inglés)

# INTRODUCCIÓN



**SI SE CONSIDERA QUE LA POBLACIÓN MUNDIAL PODRÍA EXCEDER 9 000 MILLONES DE HABITANTES EN EL 2050, LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DEBERÍA CRECER EN UN 70 POR CIENTO, A NIVEL GLOBAL Y DURANTE EL MISMO PERÍODO, PARA ALIMENTAR A DICHA POBLACIÓN.**

Esta necesidad de alimentar a más personas pone una mayor presión en la producción agrícola y sobre la base de recursos de la cual ésta depende. Esto, a su vez, es exacerbado por la presión adicional de enfrentar a un ambiente cada vez más degradado, con las incertezas del cambio climático y otros elementos estresantes como el aumento de la urbanización y los precios volátiles de los alimentos.

Para complicar más aún esta situación, la comunidad mundial debe satisfacer este incremento de la demanda de alimentos en un mundo en el cual la resiliencia del ecosistema está comprometida y los recursos de tierras para una expansión agrícola son limitados.

Con la escasez de tierras, la intensificación de la producción agrícola, en lugar de ser un área de expansión se convierte en la primera opción disponible. Los ecosistemas bien manejados son esenciales para asegurar una sólida base de recursos en la cual sea posible intensificar la sostenibilidad y asegurar que se produzcan suficientes alimentos en el 2050, y aún más allá.

Las prácticas agrícolas se están alejando de una fuerte dependencia de la intensificación del uso de insumos no renovables y de compuestos químicos tales como el uso de plaguicidas. En su lugar, se están dirigiendo a otras formas de intensificación, confiando en procesos biológicos naturales y en la biodiversidad para incrementar la productividad de los agroecosistemas.

Los principios científicos y biológicos que justifican el mejoramiento de la salud del suelo, el manejo de la polinización o el control de las poblaciones de plagas incorporados en las prácticas agrícolas, demuestra que los rendimientos de los cultivos pueden ser incrementados por medio del manejo sostenible de los ecosistemas.

**EN ESTE CASO, LA FUNCIÓN DE LOS AGRICULTORES COMO CUSTODIOS DE LA BIODIVERSIDAD Y COMO GESTORES DEL ECOSISTEMA ES ESENCIAL.** A niveles locales, las prácticas agrícolas, los enfoques en tecnologías basados en el manejo de los procesos biológicos que proporcionan bienes y servicios esenciales para el ecosistema, pueden ser aplicados para producir mayores rendimientos de los cultivos y optimizar el uso de los insumos y al mismo tiempo mantener o fortalecer la salud del ecosistema. Existen varias opciones para aplicar buenas prácticas de manejo agrícola, enfoques y tecnologías basados en procesos biológicos. **Los ejemplos incluyen: agricultura de conservación, manejo integrado de nutrición de las plantas, manejo integrado de plagas y manejo de la polinización.**

Estas prácticas de manejo están siendo cada vez más usadas para llegar a la intensificación de la producción agrícola sostenible que tiene una función fundamental para alimentar al mundo, hoy día y en el futuro (lámina 1).

Para incrementar la futura producción de alimentos, **LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DEBERÁ ADAPTARSE AL CAMBIO CLIMÁTICO Y MITIGARLO.** Los efectos negativos del cambio climático sobre la productividad que se están sintiendo en estos momentos en el sector agrícola, pueden ser enfrentados solamente por una mejor comprensión de los procesos biológicos involucrados en las prácticas de manejo agrícola. Para ello, el manejo del ecosistema debe incorporar medidas de resiliencia y mitigación del riesgo en la agricultura, elementos que son cada vez más importantes frente al cambio climático.

---

ALIMENTAR AL MUNDO: UN PROCESO INFINITO

---



Los procesos biológicos que remarcan las buenas prácticas agrícolas para la producción agrícola sostenible se ilustran en esta publicación.

# 1

## REGULACIÓN Y CONTROL DE PLAGAS



**LOS PRODUCTORES DE ARROZ ALIMENTAN MÁS PERSONAS QUE LOS PRODUCTORES DE CUALQUIER OTRO CULTIVO. EL ARROZ ES EL CULTIVO ALIMENTICIO PREDOMINANTE EN LOS PAÍSES EN QUE VIVE LA MAYORÍA DE LA POBLACIÓN MUNDIAL.** Durante la

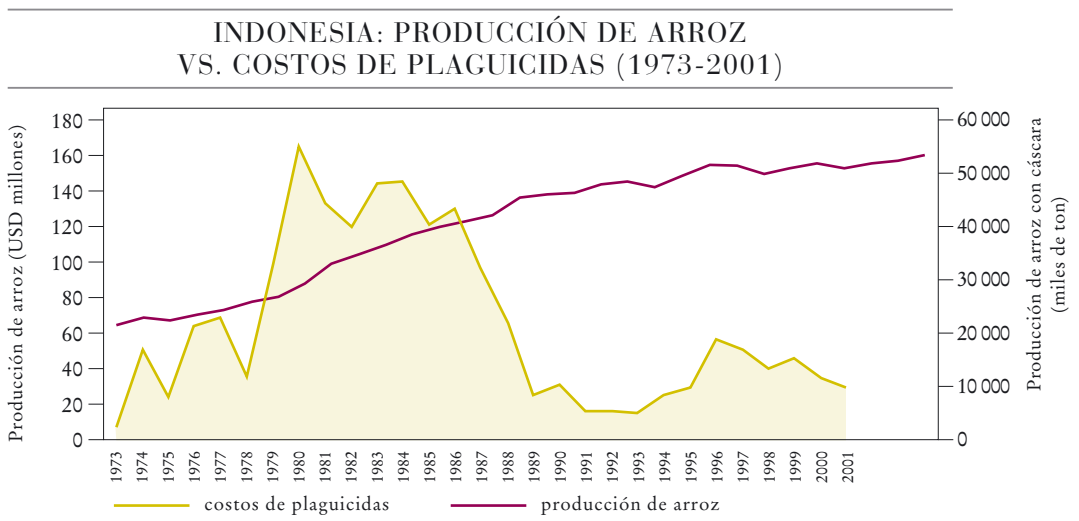
década de 1970 la producción de arroz se fortaleció por medio del riego, la difusión de semillas de nuevas variedades y los fertilizantes (la llamada “revolución verde”). Sin embargo, en la década de 1980 la producción fue puesta en peligro por brotes de plagas en gran escala, especialmente del saltamontes marrón del arroz. Los investigadores obtuvieron variedades resistentes y fueron distribuidas por los sistemas nacionales de semillas, pero a medida que las poblaciones de las plagas evolucionaban perdieron su efectividad y continuaron los brotes de difusión de los insectos, dañando severamente al arroz o eventualmente matando las plantas.



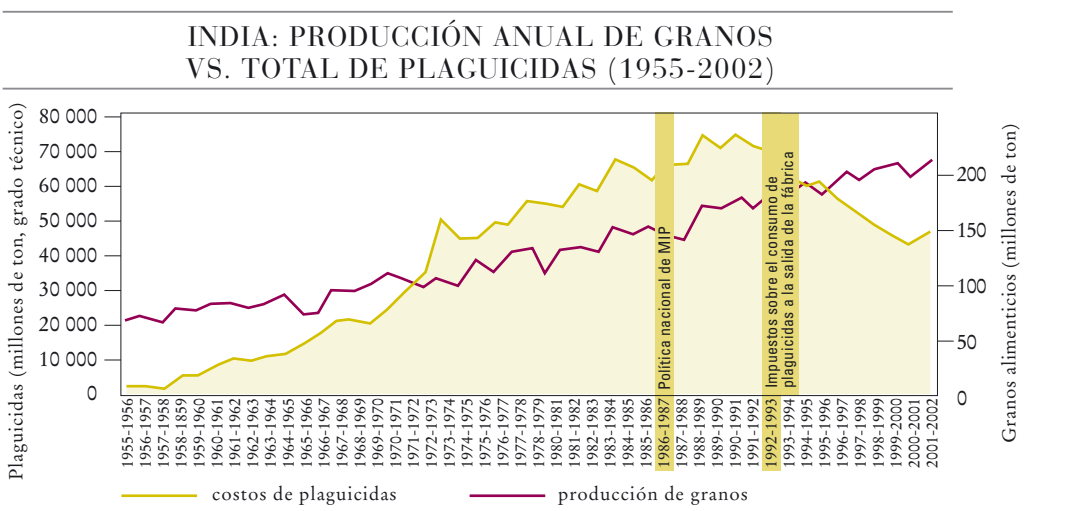
**Audaces reformas políticas hechas en la década de 1990 para remover los subsidios a los insecticidas y generalizar la educación de los agricultores por medio de las escuelas de campo para agricultores se combinaron para reducir el uso de insecticidas y detener los brotes de difusión de los insectos. En las Filipinas, entre los años 1996 y 2007, la producción nacional de arroz se incrementó en un 60 por ciento y el rendimiento por hectárea del arroz aumentó 12 por ciento. Durante este período el número total de aplicaciones de insecticidas y el total de ingredientes activos utilizados se redujeron en más del 70 por ciento.**

En otros lugares estas tendencias se han mantenido por varias décadas. Por ejemplo, en Indonesia el costo de los insecticidas usados en el cultivo del arroz cayó en más del 75 por ciento mientras que la producción nacional de arroz aumentó más de 25 por ciento entre 1986, cuando se aplicó por primera vez el manejo integrado de plagas (MIP), y el año 2001. En la India, entre 1994 y 2002 la producción total de granos aumentó más de 20 por ciento mientras que las toneladas de plaguicidas usados disminuyeron más de 35 por ciento.

*lámina 2*



*lámina 3*





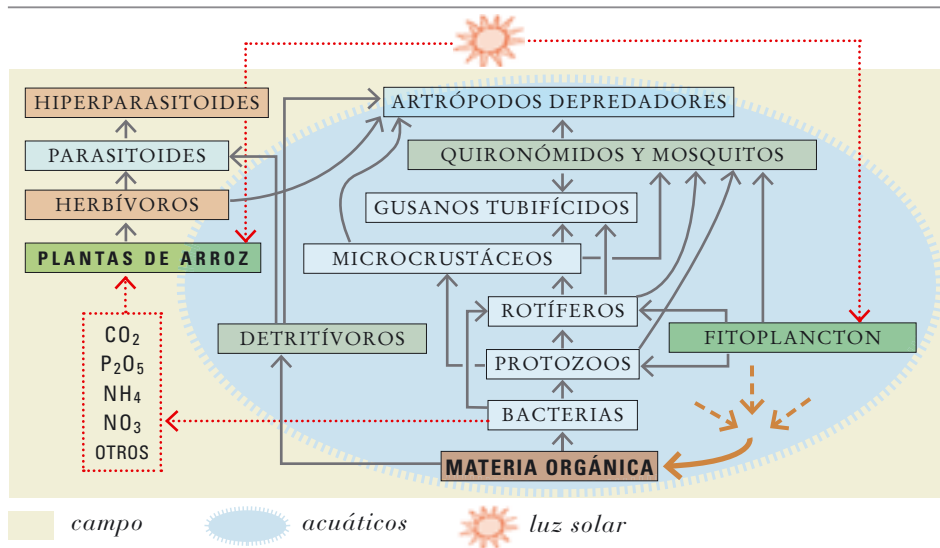
Con la certeza de que hoy día la producción de arroz debe ser nuevamente intensificada para satisfacer la futura demanda y con la difusa comercialización de insecticidas de bajo costo (ya que no están protegidos por patentes), los agricultores y quienes diseñan las políticas agrícolas deben encarar y tomar decisiones importantes sobre la forma de intensificar la producción de arroz.

## PROCESOS BIOLÓGICOS

Los sistemas de producción de arroz inundado han evolucionado bajo el manejo del hombre por más de 5 000 años – o por más de 50 000 generaciones de insectos fitófagos como el saltamontes marrón del arroz. Cuando los ecosistemas no son alterados, estos insectos forman parte de una compleja red que convierte la luz del sol y la materia orgánica del suelo en energía básica para cientos de especies y millones de insectos y arañas en los arrozales: en el suelo, encima y debajo del agua y alrededor de las plantas, incluyendo el arroz.

lámina 4

EN CADA ETAPA DE SU CICLO BIOLÓGICO LOS HERBÍVOROS SON ATACADOS POR DEPREDADORES ESPECIALIZADOS QUE VIVEN EN EL ECOSISTEMA DEL ARROZAL





Algunos depredadores atacan los huevos del saltamontes marrón del arroz siguiendo las huellas dejadas por las hembras fecundadas cuando ponen los huevos en el tallo de la planta del arroz y chupan todos los huevos de la fila.



Algunos depredadores viven solamente sobre la superficie de agua fresca como represas, corrientes o arrozales. Atacan las crías del saltamontes marrón del arroz que caen al agua cada día.



Las arañas depredadoras pueden matar y comer 20 saltamontes marrones del arroz para alimentar a sus propios huevos y producir nuevos depredadores.

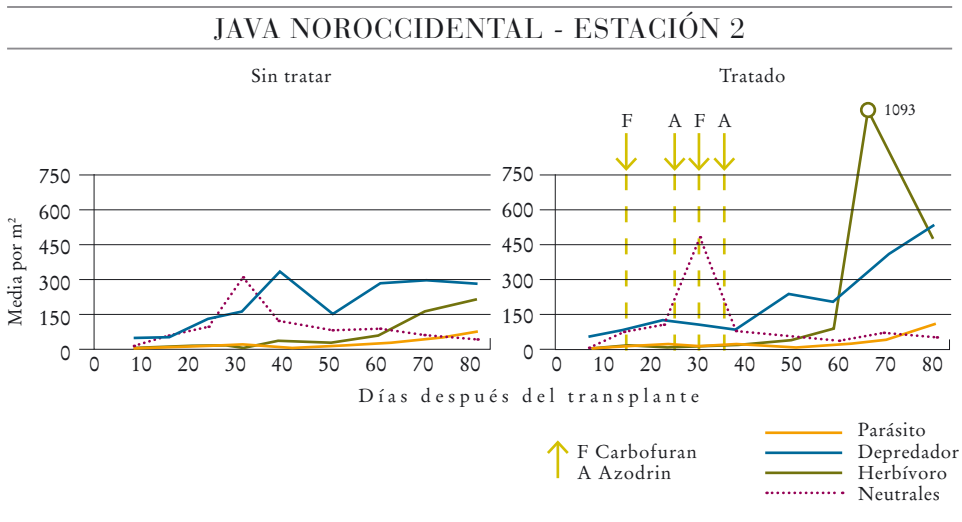
Estos depredadores y muchos otros depredadores satisfacen la función del ecosistema del control natural de plagas en los cultivos anuales como el arroz. Su función en el ecosistema aumenta o disminuye a medida que los depredadores se multiplican o migran hacia otros campos en busca de poblaciones más grandes de plagas. Su función en el ecosistema se renueva por sí sola por medio de la llegada y la reproducción de los depredadores en los arrozales, lo cual depende de su fuente de alimentación: las plagas.

Al fortalecer esta función del ecosistema y hacer que el ecosistema sea más fuerte, se proporcionan más servicios del ecosistema: en este caso, el control de plagas.

## PROTECCIÓN Y FORTALECIMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS E INTENSIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Cuando se aplican insecticidas a los arrozales *todos* los tipos de insectos y arácnidos mueren, junto con las especies fitófagas y los depredadores. Esto permite que los huevos de las plagas se desarrollen y sobrevivan por más tiempo que en los campos sin tratar. La lámina 5 muestra como el número de plagas se incrementó en más del 600 por ciento en un arrozal en Indonesia cuando se aplicaron insecticidas.

lámina 5



Este efecto se puede observar en campos pequeños donde la parte sin pulverizar del campo esta en la parte de atrás de la lámina y las partes en primer plano están casi todas muertas.



Por supuesto, hay situaciones en las que las poblaciones de los depredadores no son capaces de responder adecuadamente como por ejemplo, después de grandes inundaciones o sequías pero la **DECISIÓN DE APLICAR INSECTICIDAS DEBERÍA SER HECHA EN CADA ARROZ AL EN BASE AL NÚMERO DE DEPREDADORES, LAS CONDICIONES DEL CULTIVO Y LA INTENSIDAD DE LAS PLAGAS.**

Tomando estas decisiones en base a las informaciones disponibles, la optimización y el manejo de los campos en forma individual, significa que los agricultores deben construir sus propios sistemas de conocimiento usando conceptos ecológicos actualizados tales como el comportamiento de los depredadores.

La FAO ha trabajado en el campo con numerosos sistemas agrícolas, de investigación, de extensión, académicos y con organizaciones no gubernamentales y organizaciones comunitarias de agricultores para hacer llegar estos conceptos a millones de productores de arroz en cientos de miles de **ESCUELAS DE CAMPO PARA AGRICULTORES.**



Ejemplos de escuelas de campo para agricultores en Indonesia, Malí e Irán

# 2

## POLINIZACIÓN



### INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA RENDIMIENTOS Y CALIDAD

La polinización de los insectos y otros pequeños animales es fundamental pero, a pesar de ello, su contribución a la agricultura por lo general es subestimada. En los agroecosistemas los polinizadores salvajes y los domesticados son fundamentales para los huertos frutales, la producción hortícola y la producción de forrajes así como para la producción de semillas de diversos cultivos de raíces y fibras. **LOS POLINIZADORES COMO LAS ABEJAS, LOS PÁJAROS Y LOS MURCIÉLAGOS INCIDEN SOBRE EL 35 POR CIENTO DE LA AGRICULTURA MUNDIAL INCREMENTANDO LOS RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN DE 87 CULTIVOS MÁS IMPORTANTES DEL MUNDO, ADEMÁS DE GENERAR MEDICINALES DERIVADOS DE LAS PLANTAS.**



La ausencia de polinizadores puede causar una **declinación importante en la *cantidad* de la producción agrícola, pero la evidencia demuestra que la ausencia de polinización también tiene un efecto negativo en la *calidad* de los frutos y la formación de semillas.** El cuadro siguiente muestra los cultivos que pueden sufrir pérdidas de producción - hasta 90 por ciento - en la ausencia de polinizadores.



---

LA AUSENCIA DE POLINIZADORES  
PUEDE REDUCIR LA PRODUCCIÓN DE VARIOS CULTIVOS

---

**REDUCCIÓN  
MÁS DE 90%**

Kiwi  
Chirimoya  
Sandía  
Calabaza  
Cacao  
Vainilla

**REDUCCIÓN  
ENTRE 40 Y 90%**

Café (robusta)  
Castañas de cajú  
Cardamomo  
Canola  
Trigo sarraceno  
Arándanos  
Manzana  
Mango  
Aguacate  
Frambuesas  
Higo

**REDUCCIÓN  
ENTRE 10 Y 40%**

Fresas  
Sésamo  
Berenjena  
Haba  
Cocotero

---

*Fuente:* Klein, A. -M. *et al.*, 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. 274, 303-313

La completa apreciación de la función de la polinización en la producción de alimentos conlleva una mayor comprensión de la importante contribución que hacen los polinizadores salvajes. Estos incluyen fundamentalmente abejas pero también trips, avispa, moscas, coleópteros, polillas y otros insectos así como también pájaros y murciélagos.


El mantenimiento de esta biodiversidad de polinizadores en el ambiente agrícola puede asegurar la provisión de una polinización básica y al mismo tiempo servir como una forma importante de seguro contra los riesgos de plagas y enfermedades entre las poblaciones de los polinizadores.



## PRÁCTICAS DE MANEJO DE LA POLINIZACIÓN

En múltiples agroecosistemas y ecologías, se han identificado prácticas amigables con los polinizadores que favorecen el aumento de rendimiento, la calidad, la diversidad y la resiliencia de los cultivos y de los sistemas de producción. Los ejemplos incluyen:

- Preservar el hábitat salvaje.
- Manejar los sistemas de producción, los márgenes de los campos ricos en flores, las zonas intermedias y los setos vivos permanentes para asegurar ambiente y forraje a los polinizadores.
- Manejar los sitios de nidificación de las abejas, por ejemplo, dejando en pie los árboles secos y no recoger las ramas caídas.
- Reducir la aplicación de plaguicidas y los riesgos asociados.
- Establecer configuraciones del terreno que favorezcan los servicios de polinización; un ejemplo de esto se describe en el estudio de caso de Costa Rica (lámina 6).

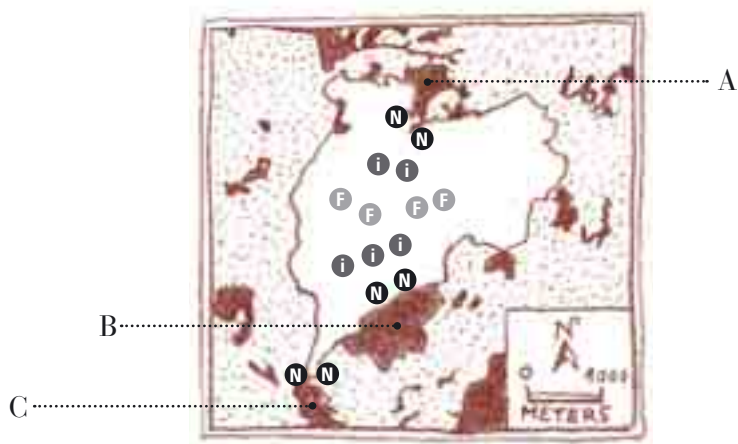


Este estudio sobre el valor de los servicios de polinización - en lo que se refiere a la diversidad de la polinización, rendimientos, calidad y valor económico - en las fincas cafetaleras de Costa Rica encontró que la cercanía del cafetal a las áreas forestales favorecía la diversidad y el número de polinizadores que visitaban las plantas de café. Por ejemplo, las plantas más cercanas al área forestada eran visitadas por una mayor diversidad de comunidades de abejas dando como resultado un incremento de los rendimientos y una mejor calidad del café.

CONFIGURACIÓN DEL PANORAMA QUE FAVORECE  
LOS SERVICIOS DE POLINIZACIÓN  
-proximidad al bosque-

**Polinización del café por insectos salvajes**

incremento de la diversidad de polinizadores = incremento de los rendimientos de café = incremento de los ingresos del agricultor



Este dibujo resume los principales hallazgos del estudio en Costa Rica.

La finca estudiada se muestra en color blanco; el área punteada es una mezcla de café, pasturas y caña de azúcar y las áreas oscuras (A, B y C) son bosques.

Los sitios de estudios están indicados con **N** (cerca), **i** (intermedios) y **F** (alejados).

Fuente: Ricketts *et al.* Economic value of tropical forest to coffee production. PNAS, August 24, 2004 Vol.101, No. 34 12579-12582





Tal como sugiere el estudio, el mantenimiento de áreas que albergan los nidos de polinizadores - como pequeñas manchas de bosques - cerca de la finca es una práctica favorable de manejo para asegurar la polinización. Un beneficio adicional de esta práctica, además de los altos rendimientos y la calidad del café (y, como consecuencia, mayores ingresos del agricultor), es que el agricultor contribuye al mantenimiento del bosque y de otros servicios del ecosistema que este proporciona tales como leña, recursos genéticos y regulación del clima.

Las prácticas de manejo de la polinización también pueden ser hechas con miras a responder al cambio climático. Los ejemplos de la mejor forma de adaptación de las comunidades de agricultores al impacto de los cambios climáticos sobre los polinizadores incluyen dar una debida consideración a la disponibilidad estacional de recursos que estos requieren y asegurar la conexión de los hábitats naturales en las áreas agrícolas, permitiendo así una fácil dispersión de los polinizadores en el ambiente en respuesta a los cambios climáticos.



El manejo de las prácticas de polinización también puede ser aplicado para mitigar el cambio climático. Muchas buenas prácticas agrícolas pueden sostener la capacidad de los agroecosistemas para proporcionar servicios del agroecosistema que involucren medidas para incrementar la cobertura del suelo y la biodiversidad asociada a los cultivos. Por lo tanto, las medidas para promover los polinizadores incluyen la provisión de más especies floríferas de especies no cultivadas, tales como cultivos de cobertura, cultivos en fajas o setos vivos.

## ¿QUÉ PUEDEN HACER QUIENES TOMAN DECISIONES POLÍTICAS?

- Promover políticas que apoyen acciones favorables a la polinización tales como planificación del uso de la tierra y, cuando sea posible, un uso responsable de los plaguicidas.
- Capacitar para el manejo sostenible de los polinizadores.
- Crear conciencia de la contribución de la polinización al desarrollo sostenible de la agricultura y los medios de vida.



# 3

## PROCESOS BIOLÓGICOS DEL SUELO



### PROCESOS PARA LA NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS (FERTILIZACIÓN BIOLÓGICA)

**UN SUELO SANO ES FUNDAMENTAL PARA QUE LA AGRICULTURA PROSPERE.** La parte viva del suelo, llamada en su conjunto **BIOTA DEL SUELO**, incluye todas las diversas formas de vida en el sistema del suelo – la flora y la fauna, los sistemas bajo tierra de las raíces de las plantas y sus funciones en el ecosistema.

La biota del suelo está a su vez íntimamente ligada a la nutrición de las plantas por medio de procesos biológicos tales como la fijación de nitrógeno, la movilización de nutrientes, el almacenamiento y liberación de nutrientes, el ciclo de los nutrientes y el mantenimiento del pH del suelo, la capacidad de intercambio de cationes, la estructura y la porosidad. Esto está además estrechamente ligado a la transformación de la materia orgánica de las plantas por medio de las redes alimentarias y los microorganismos del suelo.

**En un concepto amplio, la capacidad de fortalecer estos procesos biológicos del suelo puede incrementar la disponibilidad de nutrientes y su eficiencia. El incremento de los nutrientes disponibles en el suelo sirve además para disminuir la necesidad de fertilizantes minerales reduciendo el costo de los insumos y el impacto en el ambiente de la producción agrícola.**

## **Fósforo (P): un nutriente fundamental de las plantas**

El fósforo usado como fertilizante es un recurso no renovable obtenido generalmente por minería (por ejemplo, fosfato de roca), siendo uno de los tres elementos fundamentales para la nutrición de las plantas y un componente esencial para el funcionamiento y el desarrollo vegetal. En la mayoría de los suelos tropicales puede ser fácilmente inmovilizado en el suelo, siendo así inaccesible a las raíces de las plantas y convirtiéndose en un factor limitante de la producción. Es importante encontrar formas de movilizar el P en el suelo y ponerlo a disposición de las plantas. Esto puede ser obtenido por medio de las *micorrizas* y el incremento de la actividad biológica asociada en el sistema raíces-suelo.

- Los hongos conocidos como *micorrizas* forman una asociación simbiótica con las raíces de las plantas. Pueden penetrar las células de las raíces (endomycorrizas) o no (ectomycorrizas); promueven el crecimiento de las raíces y extienden el sistema radical abasteciendo a las plantas con P.
- *Las micorrizas producen ácidos orgánicos, estabilizan el pH y movilizan el P inmovilizado, incluso en los suelos con alto pH.*

## **Bombeo de nutrientes: las raíces profundas contribuyen a obtener un equilibrio nutricional**

Los suelos ricos en materia orgánica son un depósito de nutrientes bien balanceados que contribuye al crecimiento de los cultivos y al desarrollo de las plantas. Esos suelos evitan los problemas que resultan de un desequilibrio nutritivo tales como una baja eficiencia en el uso de los fertilizantes y una reducción de la calidad de los cultivos.

- Es importante tener un abastecimiento equilibrado de nutrientes a partir del depósito de materia orgánica para llegar a un crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas.
- Los cultivos de raíces profundas actúan como bombas de nutrientes con los restos de cultivos en descomposición.

La materia orgánica del suelo también contribuye a almacenar nutrientes que de otra forma serían lixiviados.

Los cultivos de raíces profundas utilizados como cultivos de cobertura en los cultivos comerciales, en filas o asociados a los mismos, pueden recuperar los nutrientes de las plantas de las capas más profundas del suelo y volverlos a la superficie poniéndolos a disposición para el cultivo siguiente por medio de la descomposición de los residuos.

### Nitrógeno (N): la base de la estructura de las proteínas

Algunas bacterias convierten el nitrógeno atmosférico en compuestos orgánicos del nitrógeno que proporcionan nutrición para el crecimiento de las plantas y para los microorganismos del suelo.



Nódulos fijadores de nitrógeno en leguminosas (arvejas, frijoles, tréboles)

- Hay bacterias simbióticas fijadoras de N tales como los *rizobios* que se encuentran en los nódulos de especies de leguminosas alimenticias, oleaginosas, árboles y arbustos y pasturas.
- Hay otras bacterias fijadoras de N que crecen libres tales como las género *Azotobacter* y *Beijerinckia* que viven en el suelo y en la rizósfera, o sea la zona que rodea las raíces de las plantas.

Estas bacterias convierten el nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) en compuestos orgánicos nitrogenados que nutren las plantas y los microorganismos del suelo.

En todo el mundo, las leguminosas y otros organismos, fijan anualmente en las tierras agrícolas entre 44 y 66 toneladas de  $N_2$  proporcionando así cerca de la mitad del nitrógeno usado en la agricultura<sup>1</sup>. La fijación de  $N_2$  por las leguminosas contribuye en forma importante a una agricultura económicamente viable y ambientalmente amistosa.



Maíz cultivado en asociación con una leguminosa sembrada intercalada para adicionar N al suelo

---

1 Giller, K.E. 2001. *Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems*. CABI Publishing, Wallingford, RU

## FIJACIÓN BIOLÓGICA DEL NITRÓGENO: LA FUNCIÓN DE LOS SISTEMAS BASADOS EN LAS LEGUMINOSAS

### Importancia de las leguminosas alimenticias y oleaginosas

Cerca de 56 millones de toneladas de leguminosas alimenticias, 257 millones de toneladas de leguminosas oleaginosas y 2 351 millones de toneladas de cereales se cosecharon en el mundo en el año 2007. El rendimiento de los granos de leguminosas es más bajo comparado con los cereales pero el contenido de proteínas de leguminosas es más del doble.

### Fijación biológica del nitrógeno



En los sistemas agrícolas algunos tipos de microorganismos pueden realizar la fijación biológica del nitrógeno. Son bacterias heterótrofas y autotrófas y cianobacterias. Otros microorganismos pueden fijar nitrógeno solamente por medio de la simbiosis con las plantas, especialmente con las leguminosas. En las áreas agrícolas, cerca del 80 por ciento de la fijación biológica del nitrógeno es realizada por medio de la asociación simbiótica entre las leguminosas y los nódulos de las bacterias o *rizobios*.

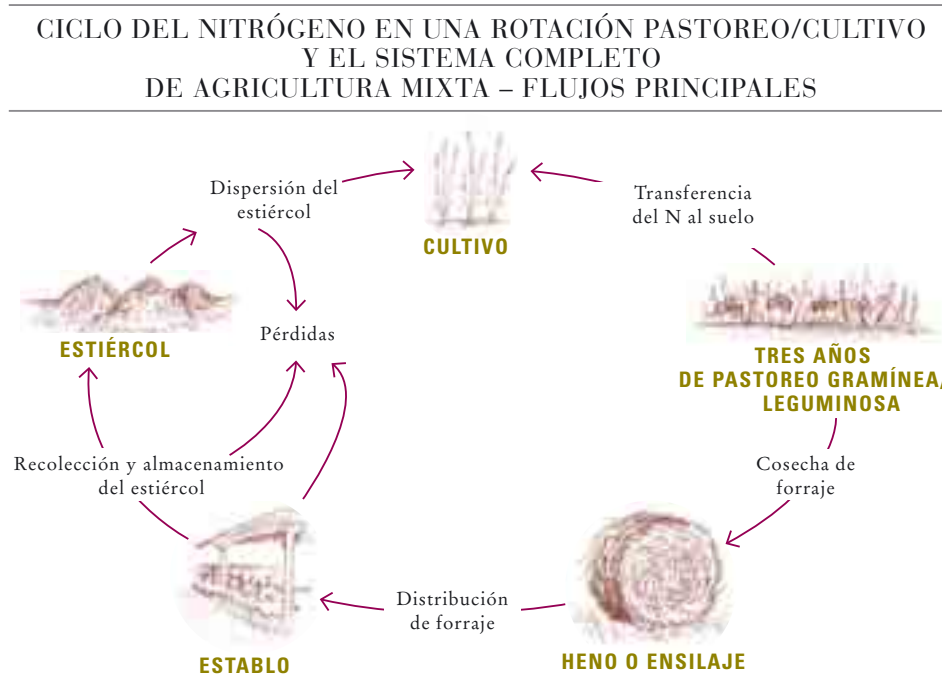
Los agricultores tienen razones para influenciar la fijación biológica del nitrógeno por medio de la selección de las leguminosas, la proporción de leguminosas/gramíneas en las mezclas forrajeras, la inoculación con bacterias tales como los *rizobios*, la nutrición de los cultivos (especialmente N y P), y los controles de plagas, enfermedades y malezas, época de siembra, secuencia e intensidad de los cultivos y frecuencia de la defoliación de los campos de pastoreo.

Sin embargo, algunos factores que afectan la fijación biológica del nitrógeno, no pueden ser controlados, por ejemplo, temperaturas y sequías desfavorables. Algunas especies de leguminosas tienen una mayor capacidad para fijar nitrógeno. En las leguminosas forrajeras de zona templada, el trébol rojo y la alfalfa pueden fijar de 200 a 400 kg N/ha (fijación de toda la planta, parte aérea y subterránea).

### Transferencia del nitrógeno a otros cultivos o forrajes

El nitrógeno fijado por las leguminosas se cosecha por medio del cultivo y es parcialmente transferido a los cultivos siguientes incrementando sus rendimientos. Por ejemplo, en las mezclas leguminosas/gramíneas, el nitrógeno es transferido de las leguminosas a las gramíneas (por ejemplo, de 13 a 34 por ciento del nitrógeno fijado). Cuando se corta el forraje el nitrógeno es exportado con el silo o el heno e ingerido por los animales. Entre el 70 y el 95 por ciento de este nitrógeno es excretado por los animales y el estiércol puede ser reciclado distribuyéndolo sobre las tierras arables (lámina 7).

*lámina 7*



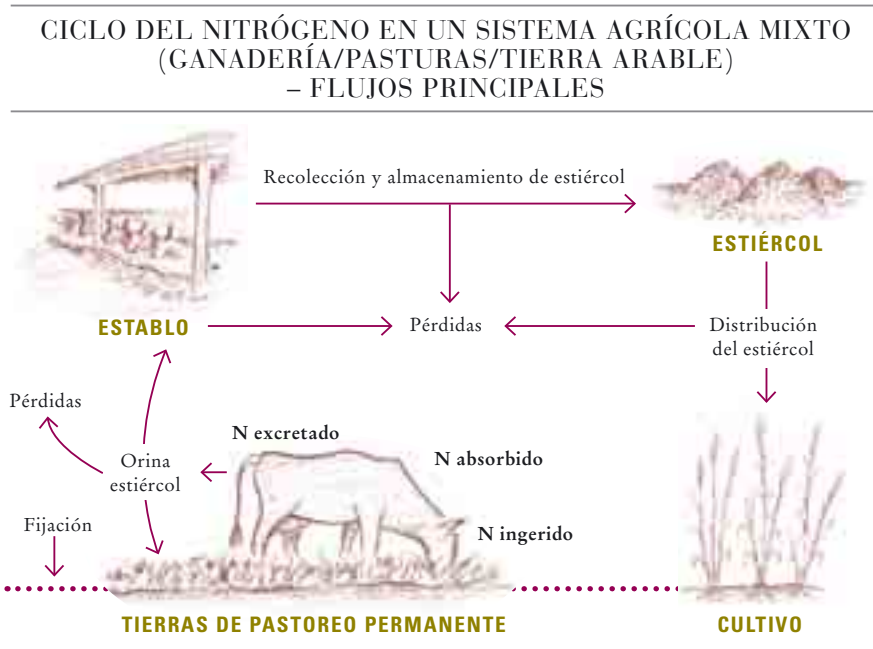


### Las leguminosas forrajeras en los sistemas ganaderos templados

*En los sistemas ganaderos de zona templada, el trébol blanco es especialmente eficiente en los campos de pastoreo. Puede fijar de 100 a 300 kg N/ha y tiene una mayor digestibilidad, proteínas crudas, lignina, cenizas, calcio y magnesio que las gramíneas.*

*Las mezclas de trébol blanco/gramíneas tienen una mayor producción estival y pueden incrementar la ingestión de los animales, en comparación con las pasturas puras de gramíneas. La alfalfa y el trébol blanco están bien adaptados a los sistemas de corte para producir heno o ensilaje. Todas estas leguminosas pueden llevar a una reducción de costos para los agricultores, incrementar la biodiversidad y conformar sistemas de producción cultivos/ganadería sostenibles (lámina 8).*

*lámina 8*



## El maní en los sistemas agrícolas tropicales

*El nitrógeno a menudo es el elemento mineral más limitante para la producción de cereales. Los fertilizantes químicos difícilmente son accesibles a los pequeños productores con el resultado de que en muchos sistemas de producción de subsistencia el nitrógeno es efectivamente “minado” de la materia orgánica del suelo dando lugar al agotamiento de los suelos. Las leguminosas pueden corregir parcialmente ese problema ya sea como abonos verdes, sembradas en forma intercalada con los cultivos, como parte de un esquema de rotación de cultivos o en sistemas agroforestales.*

*Después de la cosecha del maní los tallos secos pueden ser consumidos por el ganado o incorporados al suelo. En este último caso el rendimiento del cultivo siguiente (por ejemplo, maíz o arroz) puede ser mucho más alto (a veces el doble), incluso si el rendimiento del maní es bajo.*



### *Rhizobium* en la producción de soja

*La soja (Glycine max L.) fue introducida en Brasil a finales de la década de 1880. En la década de 1950 la producción superó las 100 000 toneladas, en 1970 había pasado un millón de toneladas y actualmente ocupa 22 millones de hectáreas con un rendimiento medio de 2 737 kg/ha y una producción de 60 millones de toneladas anuales. Los suelos de Brasil originalmente no tenían los rizobios necesarios para nodular (fijar N<sub>2</sub>) la soja en forma eficiente. Sin embargo, el gobierno de Brasil reconoció la importancia de los rizobios y de su contribución potencial por lo que prestó apoyo político y a la investigación agrícola. La inoculación masiva con unas pocas líneas de rizobios usados en los inoculantes comerciales durante las últimas décadas ha estabilizado las poblaciones en los principales tipos de suelos cultivados con soja. Brasil es ahora el segundo productor mundial de soja y no aplica fertilizantes nitrogenados al cultivo.*

### **Impacto de los sistemas basados en leguminosas para la producción agrícola**

Los mayores rendimientos de los cultivos que se observan regularmente después del cultivo de leguminosas, además de fortalecer la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, están relacionados con:

- la capacidad de algunas especies de leguminosas para movilizar el fósforo de baja solubilidad en el suelo;
- el efecto mecánico positivo del extremo de las raíces sobre la estructura y el drenaje del suelo;
- un menor uso de agua de algunas leguminosas en comparación con otras especies; o
- el efecto benéfico de la rizósfera de las leguminosas (excreción de H<sup>+</sup>) sobre los microorganismos del suelo que pueden competir o suprimir patógenos.

## Impacto de las leguminosas sobre los recursos naturales

El costo ambiental directo asociado a los sistemas basados en las leguminosas es marginalmente menor que el costo de los sistemas basados en fertilizantes nitrogenados.

El riesgo de la lixiviación de nitratos depende en gran parte de las prácticas agrícolas y no siempre es menor en los sistemas basados en leguminosas. Las emisiones de  $N_2O$  parecen ser comparables en ambos sistemas. Sin embargo, la síntesis de los fertilizantes químicos requiere grandes cantidades de energía fósil (por lo menos 27 GJ/tNH<sub>3</sub>). En contraste, la fijación bacteriana de nitrógeno se basa en la energía solar y no emite CO<sub>2</sub> en la atmósfera.

La introducción de las leguminosas en las rotaciones de cultivos (cultivos de leguminosas, pasturas gramíneas/leguminosas, rastrojos basados en leguminosas o incluso cultivos anuales de leguminosas) ha mostrado que reduce la infestación de malezas, las enfermedades y los ataques de plagas. Los sistemas basados en el cultivo de las leguminosas contribuyen a mantener la biodiversidad, especialmente de los polinizadores, de otros artrópodos, de la vida del suelo en general y muchas de las especies de aves y mamíferos que viven en los ambientes agrícolas.

## Impacto de las leguminosas para la sostenibilidad de la agricultura

En el contexto del incremento de los precios de los combustibles fósiles y los fertilizantes minerales nitrogenados, parece ser altamente deseable un cambio de los fertilizantes nitrogenados a las leguminosas fijadoras de nitrógeno. En la actualidad, la fijación de nitrógeno por las leguminosas se estima en 20-22 millones de toneladas anuales<sup>2</sup>.

---

2 Herridge, D.F., Peoples, M.B. y Boddey, R.M. 2008. Global inputs of biological nitrogen fixation by agricultural systems. *Plant Soil*, 311: 1-18

Existe el potencial para mejorar dicha cifra si se promovieran los procesos biológicos relevantes por medio de los sistemas de producción basados en las leguminosas.

Las leguminosas alimenticias secas y las oleaginosas y varios tipos de forrajeras leguminosas ocupan del 12 al 15 por ciento de las tierras arables del mundo y proporcionan una tercera parte de las necesidades proteínicas de la humanidad; bajo condiciones de subsistencia puede llegar a satisfacer dos tercios de las necesidades de proteínas.

## PROCESOS PARA LA ESTRUCTURA DEL SUELO (LABRANZA BIOLÓGICA)



El suelo sin disturbar con un suficiente abastecimiento de materia orgánica proporciona un buen hábitat para la fauna del suelo. La reducción de la labranza mecánica da lugar a un incremento de la población de lombrices de tierra, ciempiés, ácaros y otros animales que viven en el suelo. Esta microfauna absorbe la materia orgánica del suelo y contribuye a la porosidad y estructura del suelo, incorpora materia orgánica de la superficie del suelo, los excrementos forman agregados estables y los macroporos verticales creados por las lombrices sirven como canales de drenaje para el exceso de agua. Esto hace que la tierra sea menos susceptible a las inundaciones y a la erosión ya que se mejora la infiltración del agua a las capas profundas. La materia orgánica incorporada por la fauna del suelo mejora su estructura y la capacidad de almacenamiento de agua lo cual, a su vez, ayuda a que las plantas sobrevivan por un mayor tiempo durante los períodos de sequía. Estas estrategias son importantes para la agricultura **ADAPTADA AL CAMBIO CLIMÁTICO.**

El incremento de los niveles de materia orgánica en el suelo también contribuye a **MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO** almacenando carbono del bióxido de carbono atmosférico en la materia orgánica del suelo. La formación de materia orgánica estable por medio del proceso de humificación es obtenido por medio de la actividad de los microorganismos del suelo.



Un mejor suelo bajo una espesa biomasa de un cultivo de cobertura de *Mucuna* con un sistema radical profundo

Otro elemento de la labranza biológica es la introducción de cultivos, incluyendo árboles y arbustos, con raíces que penetran profundamente en el suelo. Algunos de estos cultivos pioneros como los lupinos, la *Canavalia ensiformis* o el rábano pueden romper las capas compactadas del subsuelo si, por ejemplo, son sembradas en la rotación de cultivos o como cultivos intercalados como abono verde o cultivos de cobertura.

## **APROVECHAMIENTO DE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS DEL SUELO POR MEDIO DE LAS PRÁCTICAS DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN**

Si bien la importancia de la fijación de nitrógeno, la movilización del fósforo por medio de las *micorrizas* y las bombas de nutrientes son procesos conocidos por los agrónomos, estos procesos tienen un papel secundario en la producción agrícola.

El problema es que la mayoría de los suelos agrícolas ya no proporcionan un ambiente habitable adecuado para los microorganismos que son fundamentales para estos procesos.

Si bien son usados por los agricultores (algunos como los *rizobios* e incluso las *micorrizas* pueden ser inoculados a cultivos específicos), no prosperan en los sistemas de producción que se basan en la labranza mecánica porque esta revuelve el suelo y crea una interrupción del hábitat que no es tolerada por la mayoría de esos microorganismos que por lo general viven en ambientes no deteriorados.

Una forma de corregir este problema es revisar el sistema de manejo del suelo hacia los procesos biológicos que tienen el potencial de mejorar la calidad del suelo y sus funciones, incluyendo la nutrición y la productividad de los cultivos.

Para ello son necesarios:

- Procesos biológicos en suelos porosos con macroporos continuos que faciliten la aireación y el intercambio gaseoso entre el suelo y la atmósfera y que permitan un drenaje profundo del exceso de agua para recargar las capas inferiores.
- Materia orgánica que proporcione un sustrato de nutrientes y energía para los microorganismos del suelo.
- Un ambiente estable sin cambios abruptos de temperatura, humedad, concentración de sales o niveles de pH.

Estas condiciones pueden ser satisfechas y sostenidas siguiendo un conjunto de prácticas agrícolas - conocidas en su conjunto como agricultura de conservación - que están basadas en el fortalecimiento de los procesos biológicos naturales encima y debajo de la superficie de la tierra. Esto reduce las intervenciones externas como la labranza mecánica del suelo a un mínimo absoluto. Los insumos externos como agroquímicos y nutrientes de origen mineral u orgánico se aplican en una forma y cantidad que no interfieren con los procesos biológicos y las funciones relacionadas del ecosistema.



Una agricultora keniana explicando un cultivo con agricultura de conservación: asociación de maíz con *Desmodium* (leguminosa) sembrada debajo para abastecer nitrógeno y ofrecer una acción adicional contra el barrenador del tallo y el control de *Striga*

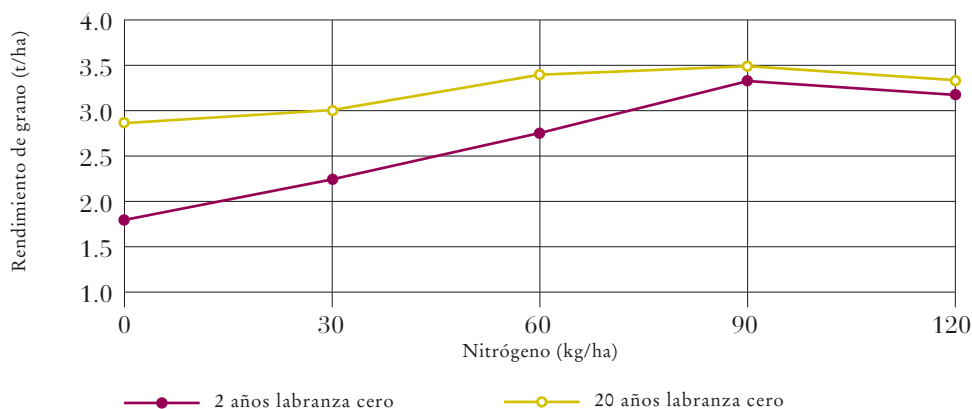
La aplicación continua y simultánea de las prácticas de agricultura de conservación puede incrementar la vida y la biodiversidad del suelo, fortalecer los procesos biológicos relacionados con la capacidad productiva del suelo y la nutrición de los cultivos y, sobre todo, proporcionar un ambiente favorable que permita que prosperen los microorganismos y crear un sistema vivo en el suelo. Si bien en algunos casos podría ser necesaria una inoculación inicial, el sistema vivo del suelo fortalece la productividad de los cultivos y los servicios del ecosistema.

La evidencia muestra que los requerimientos de fertilizantes minerales de los suelos que han estado bajo el régimen de agricultura de conservación por largos períodos disminuyen y se reduce el problema de la baja disponibilidad o inmovilidad del fósforo, incluso cuando los análisis de suelos no muestren altas cantidades de fósforo soluble (láminas 9 y 10).



*lámina 9*

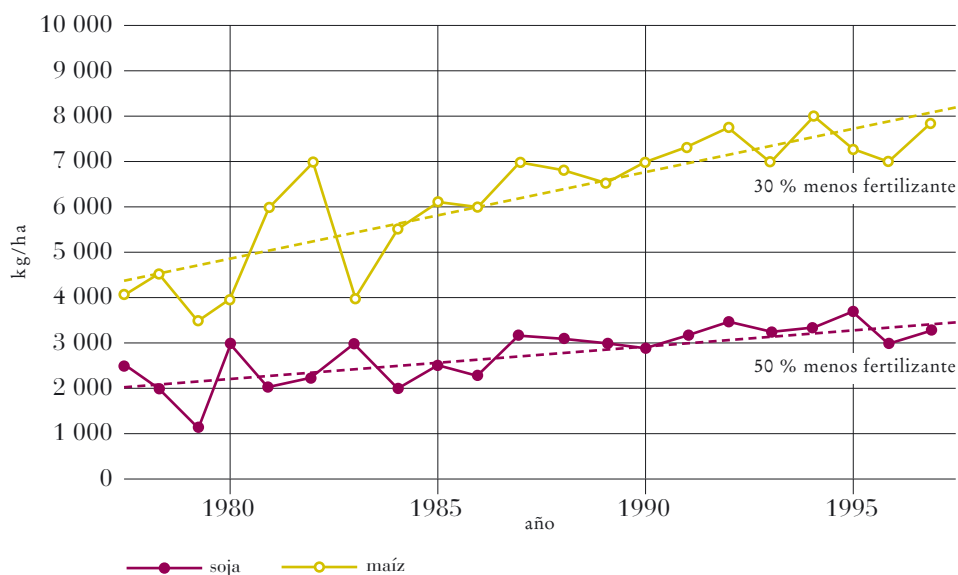
**RENDIMIENTO DE TRIGO Y CANTIDAD DE NITRÓGENO PARA DIFERENTES DURACIONES DE LABRANZA CERO EN CANADÁ – 2002**



Fuente: <http://www.topcropmanager.com/content/view/4427/38>

*lámina 10*

**INCREMENTO DE LOS RENDIMIENTOS DE MAÍZ Y SOJA CON USO REDUCIDO DE FERTILIZANTES OBSERVADO EN 20 AÑOS DE AGRICULTURA PRÁCTICA EN UNA FINCA DE PONTA GROSSA, BRASIL (1977-1998)**



Fuente: Derpsch R. 2005. The extent of Conservation Agriculture adoption worldwide: implications and impact. Proceedings of the 3rd World Congress on Conservation Agriculture, Nairobi, Kenya, 3-7 October. ACT, Harare



Además de lo anterior, las prácticas de agricultura de conservación fortalecen la diversidad y la población de la macrofauna del suelo con sus efectos de formación de su estructura.

Para que las prácticas de agricultura de conservación sean eficaces es necesario que los agricultores no sólo comprendan los principios ecológicos básicos de sanidad del suelo y su productividad sino que además reciban apoyo institucional y político, incluyendo la capacitación participativa de los extensionistas, un razonable abastecimiento de insumos y el acceso a herramientas adecuadas.

### **AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN: TRES PRÁCTICAS VINCULADAS**

- **Mínimo disturbio mecánico del suelo en forma continuada.**
- **Cobertura orgánica permanente del suelo.**
- **Rotaciones de cultivos diversificadas en el caso de cultivos anuales o asociaciones de plantas en el caso de cultivos perennes.**

# 4

## POLÍTICAS FAVORABLES Y AMBIENTES INSTITUCIONALES




Si las funciones y el papel de los procesos biológicos en la intensificación de la producción sostenible deben ser aprovechados efectivamente y en una escala importante para satisfacer la futura demanda, son necesarios **POLÍTICAS FAVORABLES Y APOYO INSTITUCIONAL**.

### PLANIFICACIÓN DE LAS POLÍTICAS AGRÍCOLAS

Los objetivos nacionales de desarrollo agrícola, las estrategias, las políticas, los planes y los programas así como las leyes, reglamentaciones y normas que están relacionadas con la intensificación de la producción agrícola sostenible deberían proteger y fortalecer las funciones ecológicas que apoyan a la agricultura de modo de optimizar los bienes y los servicios.

Por ejemplo, quienes diseñan las políticas pueden promover un manejo responsable y adaptativo del manejo de las plagas por medio de campañas de extensión y concienciación. También pueden tener influencia sobre el consumo eliminando subsidios de los productos a mayor riesgo. También tienen un papel fundamental para registrar los plaguicidas para la venta y distribución dentro de su jurisdicción de modo de influenciar directamente el abastecimiento de agroquímicos y pueden controlar la calidad de los productos utilizados, asegurando que estén correctamente etiquetados, comercializados y aplicados para minimizar los riesgos.



Otro ejemplo es la planificación del uso y tenencia de la tierra. En términos simples, los agricultores que no esperan cultivar la tierra por un largo plazo en un cierto lugar tienen pocos incentivos para asegurar que las prácticas de producción que usan sean sostenibles.

## INVESTIGACIÓN

El creciente reconocimiento y uso de los procesos biológicos en la intensificación de la producción agrícola sostenible representa un cambio fundamental en el concepto de los sistemas de producción. Involucra varios elementos que hasta hace poco tiempo no eran reconocidos o no eran enfatizados en los sistemas de producción cuando se consideraban la sanidad y funciones del ecosistema o el fortalecimiento de la capacidad productiva de la base de recursos. La incorporación masiva de los procesos biológicos en la intensificación de la producción agrícola sostenible requiere, por lo tanto, una completa comprensión de como esos procesos proporcionan la base de la producción y los medios de vida.

Esa mejor comprensión permite que los agricultores manipulen y manejen las distintas partes de los sistemas de producción en los cuales el objetivo es optimizar a largo plazo el uso de los recursos o fortalecer los procesos del ecosistema en el espacio y el tiempo. Estas son algunas de las características que hacen que las prácticas de producción basada en los procesos biológicos entrenen el “empleo intensivo de conocimientos”.

## MOVILIZACIÓN DE LOS INTERESADOS

Las experiencias en numerosos países han mostrado que la difusión del manejo de los procesos biológicos en los sistemas de producción requiere un cambio en el compromiso y en el comportamiento de todos los interesados. Para los agricultores un mecanismo tal como las escuelas de campo para agricultores es un requisito para experimentar, aprender y adaptar.

Para quienes diseñan las políticas y los líderes institucionales la transformación de sistemas insostenibles a sistemas mejorados y eficientes exige que comprendan los grandes beneficios económicos, sociales y ambientales que pueden ser aprovechados por los productores y por la sociedad en su conjunto.

### **Políticas favorables y ambientes institucionales para la intensificación de la producción agrícola sostenible**

#### *Algunas consideraciones:*

- *Promoción de las metas nacionales de desarrollo agrícola, estrategias, políticas, planes y programas así como leyes, reglas y normas relevantes para la intensificación de la producción agrícola sostenible que deberían proteger y fortalecer las funciones ecológicas de apoyo a la agricultura de modo de optimizar los bienes y servicios del ecosistema.*
- *Capacitación profesional para manejar en forma sostenible los procesos biológicos para la intensificación de la producción agrícola, incluyendo los procesos de capacitación y extensión participativa.*

- *Invertir en investigación adaptativa, especialmente por parte de los agricultores, para probar, aprender y aplicar la intensificación de la producción agrícola sostenible como base para mejorar y causar impacto.*
- *Promover la investigación estratégica y aplicada así como también la investigación operativa para generar conocimientos, tecnologías y prácticas que involucren la aplicación de los procesos biológicos y que puedan enfrentar desafíos tales como el cambio climático, la escasez de agua y la degradación de los recursos básicos de la tierra, del ambiente y de la biodiversidad.*
- *Apoyar el sistema educativo a todos los niveles, tanto en el sector académico como en el profesional, para asegurar que la capacidad educativa sea adecuada para producir graduados de alta calidad en los campos de la conservación, manejo del ecosistema y agricultura sostenible con bases ecológicas y biológicas.*
- *Fortalecer los sistemas locales de toma de decisiones incluyendo a las comunidades y aldeas rurales ya que las soluciones a los desafíos y oportunidades locales deben involucrar a los propietarios líderes que pueden combinar el conocimiento tradicional y local con las prácticas nuevas y mejoradas.*
- *Crear concienciación de la contribución de los ecosistemas para los medios de vida sostenibles.*
- *Asegurar un diálogo entre los sectores agrícolas y ambientales y entre los sectores públicos, privados y la sociedad civil.*

Las láminas de las que no se reconoce la autoría están basadas en datos de la Dirección de Producción y Protección Vegetal de la FAO.

#### CRÉDITOS DE LAS LÁMINAS:

<i>Página</i>	©
Cubierta	(lámina principal) FAO/G. Bizzarri (fondo) studio Bartoleschi
1	FAO/P.Pittet
4	(arriba) FAO/H.Null (abajo) P.Kenmore
7	(arriba) Instituto Internacional del Arroz (IRRI) (centro) P.Ooi (abajo, izquierda) P.Ooi (abajo, derecha) Instituto Internacional del Arroz (IRRI)
8	de: <a href="http://www.ricehoppers.net">www.ricehoppers.net</a>
9	(arriba) FAO/G. Bizzarri (abajo) cortesía de proyectos FAO/IPM
10	(arriba) FAO/R. Pasquet FAO/D.Martins FAO/D.Martins (abajo) FAO/A.Robertson
14	FAO/R.Faidutti FAO/V.Belavadi
15	FAO/I.Gordon FAO/N.Vereecken
16	FAO/R.Messori
18	Jim Deacon
19	T. Friedrich
20	(arriba) M.Marzot (abajo) M.Halling
23	FAO/M.Marzot
26	FAO/A.Odoul
27	T. Friedrich
29	T. Friedrich
31	FAO/G. Bizzarri
32	FAO/G.Napolitano

Impreso en Italia en papel reciclado, certificado por el Consejo de Manejo Forestal (FSC).

© FAO, 2011

*Diseño:* [pietro@bartoleschi.com](mailto:pietro@bartoleschi.com)



### **EL OBJETIVO DE ESTA PUBLICACIÓN**

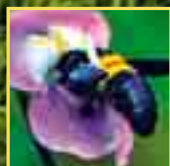
**ES ILUSTRAR PROCESOS BIOLÓGICOS SELECCIONADOS FUNDAMENTALES PARA MANTENER LA SALUD DEL RECURSO DE BASE DE LA TIERRA ASÍ COMO DE OTROS PROCESOS BIOLÓGICOS QUE CONTRIBUYEN A LAS BUENAS PRÁCTICAS DE CULTIVO PARA LA INTENSIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA SOSTENIBLE.**

**ÉSTAS INCLUYEN:**

**REGULACIÓN Y CONTROL DE PLAGAS**

**POLINIZACIÓN**

**PROCESOS BIOLÓGICOS DEL SUELO**



**LA DIVISIÓN DE PRODUCCIÓN Y PROTECCIÓN VEGETAL (AGP) DEL DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y PROTECCIÓN DEL CONSUMIDOR DE LA FAO ES LA DIVISIÓN LÍDER RESPONSABLE POR LA INTENSIFICACIÓN SOSTENIBLE DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA.**

[www.fao.org/agriculture/crops/core-themes/theme/spi](http://www.fao.org/agriculture/crops/core-themes/theme/spi)

[www.fao.org](http://www.fao.org)

[sustainable-crop-intensification@fao.org](mailto:sustainable-crop-intensification@fao.org)