

# Métodos biológicos para una agricultura sostenible

**Nelson Cristóbal Arzola Pina  
(Compilador)**



# Métodos biológicos para una agricultura sostenible

**Nelson Cristóbal Arzola Pina**  
(Compilador)



# Métodos biológicos para una agricultura sostenible

**Nelson Cristóbal Arzola Pina  
(Compilador)**

Diseño de carátula: MSc. Liéter Elena Lamí Rodríguez del Rey

Composición de textos: MSc. Liéter Elena Lamí Rodríguez del Rey

Corrección: MSc. Alicia Martínez León

Dirección editorial: Dr. C. Jorge Luis León González

Sobre la presente edición:

© Editorial Universo Sur, 2018

ISBN: 978-959-257-435-9

Podrá reproducirse, de forma parcial o total, siempre que se haga de forma literal y se mencione la fuente.



Editorial: "Universo Sur".

Universidad de Cienfuegos. Carretera a Rodas, Km 3 ½.

Cuatro Caminos. Cienfuegos. Cuba.

CP: 59430

E-mail: [eus@ucf.edu.cu](mailto:eus@ucf.edu.cu)

## Prólogo

El decrecimiento en cantidad y calidad de los recursos naturales esenciales, tales como tierras y aguas, debido al desarrollo industrial y urbano, la degradación de los suelos y la contaminación, limitan la obtención del necesario incremento en la producción de alimentos, máxime porque este deberá provenir principalmente de elevar los rendimientos de las tierras actualmente cultivadas, y no de incorporar más superficie agrícola fértil a la agricultura.

El uso de variedades de alto rendimiento, fertilizantes químicos, modernas técnicas de riego y de conservación de la humedad del suelo, el control efectivo de las malas hierbas, enfermedades e insectos, han mantenido durante varias décadas la producción mundial de alimentos, a un ritmo más rápido de crecimiento que el de la población mundial, pero el reto actual es mucho mayor pues la población aumenta y la tierra cultivable decrece por la degradación de los suelos, la contaminación y la amenaza del cambio climático.

Alexander Walker escribió en 1820 que los forrajes verdes se cultivaban durante todo el año; intercalados, con rotación de cultivos, con barbecho y uso del compost, lo que permitió continuar en la misma tierra desde hace más de 2000 años sin disminución de los rendimientos. Además, las cosechas fueron relativamente libres de plaga. Estos principios deben ser recuperados y actualizados para armonizar la producción de alimentos y de materias primas con la protección del entorno.

Todavía se transita por la transformación de la agricultura industrial de la revolución verde a una menos agresiva sobre el ambiente, las razones están claras, pues la degradación de los suelos, la contaminación del ambiente, de los alimentos y el agotamiento de los recursos naturales son una realidad, pero también es real, que para vivir hoy y mañana con una población mayor, se necesita garantizar una producción cada vez mayor de alimentos y de materias primas, por ello, no se puede prescindir de fungicidas, insecticidas, herbicidas, fertilizantes minerales y otros productos químicos.

Esta transformación no es una consigna, sino una necesidad que debe combinar en última instancia los logros de la revolución verde con nuevos procedimientos que contribuyan a mitigar sus daños, aprovechar todo lo que hoy se considera residuo, hasta llegar quizás algún día a hacer armónica la vida del hombre con el entorno que le rodea, mediante un manejo agrícola que

permita una producción agrícola sostenible y un medio ambiente sano.

Estos residuos de la actividad antropogénica, muchas veces pueden representar una materia prima para un nuevo ciclo productivo, lo que permite, no contaminar el entorno, ahorrar recursos naturales y alcanzar mejores resultados económicos. Cualquier proceso de la actividad humana que conduzca a la formación de un residuo que no pueda ser aprovechado con algún propósito ni reciclado y que en alguna medida dañe o represente un peligro para el propio hombre o para cualquier ser vivo, debe estar prohibido mediante leyes internacionales.

Las plantas crecen y se desarrollan sobre el suelo, posteriormente pueden tener muy variados usos, finalmente quedan los residuos, que de ser biodegradables podrían ser de utilidad para aportar materia orgánica, agua y nutrientes para la agricultura, de lograrse ello, en el suelo comienza y se cierra el ciclo, sin quedar residuo alguno.

El aprovechamiento de los residuos orgánicos, no significa solamente una mejor protección para la biosfera, sino también, ahorro de materias primas, situación esta que se agudiza cada vez más en el planeta, pues sus recursos materiales no son ilimitados. Por otra parte, la aplicación de los residuos en la agricultura representa una nueva fuente de materia orgánica, nutrientes y agua, en tanto que, al no verterse a las aguas las preserva de la contaminación, lo que beneficia la pesca, el turismo y la recreación.

Todo el fertilizante mineral no puede ser reemplazado por fuentes orgánicas y otras fuentes alternativas, sin embargo, todas ellas deben ser utilizadas, para reciclar los nutrientes, garantizar un entorno saludable y proteger la fertilidad de los suelos y otros recursos naturales.

Para alcanzar los beneficios que del uso agrícola de este procedimiento se pueden alcanzar es necesario establecer normas de manejo científicamente fundamentadas, pues un uso indiscriminado podría afectar económicamente e incluso acarrear serios males, ya que por ejemplo, los residuos orgánicos son de muy variados orígenes y composición, pudiendo existir en determinados casos metales tóxicos los cuales deben ser evaluados antes de la aplicación.

También existen consideraciones sanitarias que no deben obviarse, pues en

China la aplicación de excrementos humanos sin procesar adecuadamente, se considera causa de epidemias como el cólera, la enteritis, la disentería bacilar, la fiebre tifoidea y paratifoidea, por ello, se pretende en esta oportunidad contribuir con la información que se brindará al adecuado aprovechamiento de estos residuos.

Los biofertilizantes, micorrizas, la rotación de cultivos y otras prácticas son necesarias para la protección del ambiente, de los recursos naturales y del propio hombre por brindarle un alimento sano.

En el pasado las soluciones a los problemas de plagas en los cultivos se resolvían simplemente mediante la selección de un pesticida, y la aplicación de una dosis que garantizara una solución eficaz al problema, las restricciones ambientales eran mínimas y los efectos en organismos diferentes al objetivo eran ignorados, los pesticidas utilizados eran productos simples y su costo no era muy alto, aunque las aplicaciones no eran eficientes y requerían complejos y costosos programas de tratamiento.

Posteriormente la tecnología empezó a desarrollar programas de tratamiento más eficientes que disminuyeran los costos de aplicación. Este desarrollo se centró en la creación de ingredientes activos de alta actividad, y tipos de formulación de alto espectro de acción, los nuevos desarrollos permitieron disminuir costos del proceso al mejorar las aplicaciones ineficientes, sin embargo los ingredientes activos de alto poder y las novedosas y complejas formulaciones desarrolladas implicaban un alto costo del tratamiento químico, igualmente el alto poder de estas formulaciones empezó a hacer crítico el efecto en organismos diferentes del objetivo.

Hoy en día los pesticidas se han convertido en sistemas bastante complejos, y su costo representa un porcentaje apreciable del presupuesto del cultivador, las regulaciones ambientales son mucho mayores y las autoridades se preocupan por el efecto en la salud de los humanos, flora y fauna.

Los procesos de registro son cada vez más complejos y demorados; la tecnología busca balancear tres tendencias que parecen oponerse:

1. Ingredientes activos y tipos de formulación de alto poder.
2. Programas de tratamiento más seguros y amigables con el medio ambiente.

### 3. Costo de tratamientos inferiores.

El empleo de un arsenal de productos químicos en la agricultura, podría ser la solución para el control de plagas y malas hierbas cuando no queda otra alternativa, ya que los métodos biológicos son la vía para proteger el ambiente, la inocuidad de los alimentos, los recursos naturales, la biodiversidad y hacer sostenible la vida en el planeta.

La Organización Internacional de Lucha Biológica (OILB) define al control biológico como *“la utilización de organismos vivos, o de sus productos, para evitar o reducir las pérdidas o daños causados por los organismos nocivos”*. Desde este punto de vista, se incluye no solo el uso de parasitoides, depredadores y patógenos de insectos y ácaros, sino también el de fitófagos de las malezas y antagonistas de los organismos fitopatógenos, así como el de feromonas, hormonas juveniles, técnicas autoridad y manipulaciones genéticas.

La protección ambiental requiere que cada persona en su lugar y a su nivel asuma la responsabilidad que le corresponde para garantizar la continuidad de la especie humana.

Los autores

“Confiar más en los procesos biológicos  
por adaptación del germoplasma  
a las condiciones adversas del suelo,  
mejorar la actividad biológica  
y optimizar el ciclo de los nutrimentos”.  
(Sánchez, 1994)

# Capítulo I.

## Actividad antropogénica y medio ambiente

Nelson Cristóbal Arzola Pina

### 1.1. El hombre y el clima

La vida sobre la Tierra, depende del flujo de energía procedente de las reacciones termonucleares que tienen lugar en el corazón del Sol. Sólo una pequeña fracción de la energía solar que alcanza a la Tierra se transforma, por medio de una serie de procesos llevados a cabo por las células de las plantas y otros organismos fotosintéticos, en la energía que impulsa todos los procesos vitales. Los sistemas vivos cambian una forma de energía en otra, transformando la energía radiante del Sol en la energía química y mecánica utilizada por todo ser vivo. Este flujo de energía es la esencia de la vida (Campbell, 1996).

El sol continuara' emitiendo energía durante 5000 millones de años, por ello, esta no es la preocupación actual, como lo son los cambios originados por la actividad antropogénica sobre la composición de la atmosfera. Y su efecto sobre la temperatura del planeta.

Han aumentado notablemente desde 1,750 las concentraciones globales en la atmósfera de metano y óxido nitroso, como resultado de la expansión de las actividades humanas. Los incrementos de las concentraciones de dióxido de carbono son debidos fundamentalmente a los combustibles fósiles, al uso y cambio de usos de suelo, mientras que los aumentos en las concentraciones de metano y óxido nitroso se deben principalmente a la agricultura (Montico, 2010).

Un efecto directo es el aumento de la temperatura del planeta. Datos concluyentes confirman que la tendencia lineal actualizada para 100 años es de 0,74 °C, la tendencia lineal de calentamiento de los últimos 50 años (0,13 °C por década) es casi el doble que para los últimos 100 años y el incremento total de temperatura desde 1850-1899 hasta 2002-2007 fue 0.76 [ +/-0,19] °C (Montico, 2010).

No quedan mayores dudas que el planeta transita por alteraciones ambientales importantes, siendo el cambio climático el dinamizador de estas modificaciones, que impactan, y así seguirá sucediendo, en todos los recursos naturales con obvia implicancia en la calidad de vida de la humanidad.

El aumento de la temperatura de la atmósfera tiene diferentes causas, la principal es el vertimiento de dióxido de carbono debido a la utilización de los combustibles fósiles para obtener energía y en ese sentido deben buscarse fuentes alternativas de energía. Por otra parte, es importante actuar con el propósito de que el carbono presente en la atmósfera se acumule en el suelo, lo que es una importante tarea de la agricultura. El balance consiste en verter menos carbono a la atmósfera y capturar más en el suelo.

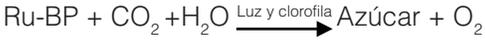
Se estima que el cambio climático podría costarle al mundo por lo menos un 5% del PIB cada año, siendo los agricultores de los países menos desarrollados los que se encuentran en una posición más vulnerable. Como ejemplo podemos mencionar que el sector agropecuario concentró el 49% del total de pérdidas económicas originadas por el paso del huracán Mitch en Centroamérica y en los eventos de sequía la participación del sector en las pérdidas suele rondar por el 60% (Grau, 2011).

En solamente 13 años la población se ha incrementado en un billón, y las proyecciones indican, que para el 2050 el mundo contará con 9 billones de personas que requerirán un incremento del 70% en la producción mundial de alimentos. Este reto impone una fuerte presión sobre los recursos naturales, especialmente el agua. La agricultura es el mayor consumidor de agua a nivel mundial, representando casi el 70% del agua dulce extraída de lagos, ríos y acuíferos, lo que pone en evidencia la relación directa que existe entre el agua y la agricultura para la producción de alimentos (Grau, 2011).

Es de interés conocer la evolución de los organismos vivos que toman carbono de la atmósfera y pueden al incorporarse al suelo pueden actuar como sumideros de carbono, contribuyendo con ello a la disminución del dióxido de carbono atmosférico.

Las primeras células que aparecieron podrían haber sido autótrofas y servir como fuente de alimento y energía a las heterótrofas, que incluyen desde organismos unicelulares hasta animales. La captura de la energía solar mediante el proceso de fotosíntesis en los organismos autótrofos, incluyendo

las plantas verdes, resultó decisivo para la sostenibilidad del hombre en la y la cría de animales se hicieron posibles. Los tejidos verdes de las plantas poseen cloroplastos donde se realiza el proceso de producir carbohidratos a partir de sustancias simples ( $\text{CO}_2$  y agua), utilizando la energía radiante (solar) (Vázquez y Torres, 1995; Hernández, 2005).



Para reducir  $\text{CO}_2$  a compuestos como sacarosa y almidón se requiere de energía. Las plantas superiores, como todos los organismos fotosintéticos, obtienen dicha energía de la luz. El concepto de luz acepta dos definiciones: de ondas y cuántica.

En el concepto de ondas la luz se puede definir como las oscilaciones de un campo magnético y un campo eléctrico, perpendiculares entre sí y perpendiculares a la dirección de propagación, se caracteriza de acuerdo con la longitud de onda (distancia desde un máximo de la onda al siguiente) y su frecuencia (número de oscilaciones que se desplazan a una distancia determinada por unidad de tiempo). El concepto cuántico describe a la luz como un flujo de partículas sin masa, pero cargadas de energía. Cada partícula se denomina fotón o quanta.

La vida sobre la Tierra, depende del flujo de energía procedente de las reacciones termonucleares que tienen lugar en el corazón del Sol. Sólo una pequeña fracción de la energía solar que alcanza a la Tierra se transforma, por medio de una serie de procesos llevados a cabo por las células de las plantas y otros organismos fotosintéticos, en la energía que impulsa todos los procesos vitales. Los sistemas vivos cambian una forma de energía en otra, transformando la energía radiante del Sol en la energía química y mecánica utilizada por todo ser vivo. Este flujo de energía es la esencia de la vida (Campbell, 1996).

Aumentar la fotosíntesis (ciclo de Calvin) y disminuir la respiración de las plantas (Ciclo de Krebs) (Figura 1), propiciaría mayor acumulación de biomasa y menos carbono en la atmósfera.

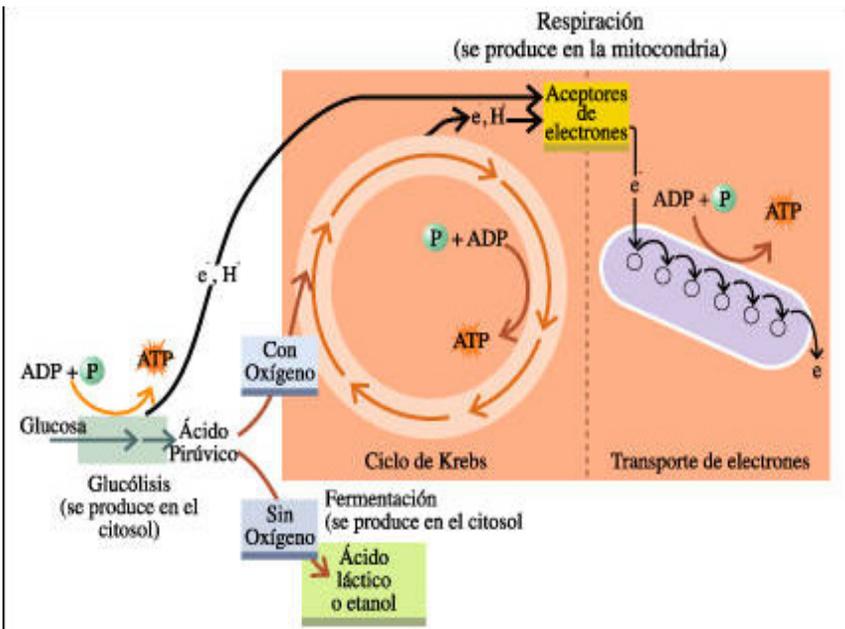
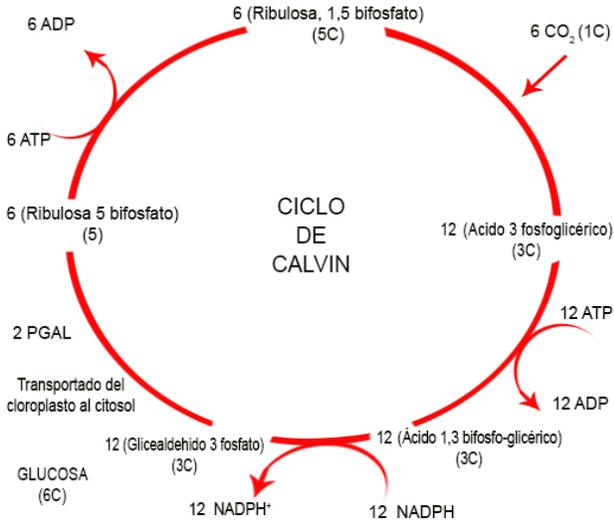


Figura 1. Ciclo de Calvin que ocasiona la acumulación de compuestos orgánicos mediante la fotosíntesis en las plantas (izquierda); Ciclo de Krebs que consume compuestos orgánicos para obtener energía en la respiración aeróbica (derecha) (Campbell, 1996).

El gasto de los compuestos orgánicos para obtener energía se realiza mediante la respiración y la fotorespiración, ambas, con el aumento de la temperatura aumentan en mayor medida que la fotosíntesis, por ello, el gasto se hace mayor que la producción de biomasa y disminuye el rendimiento del cultivo y la acumulación de carbono en el suelo.

Cada 10 grados de incremento de la temperatura la que menos aumenta es la fotosíntesis (ganancia) y la que más aumenta es la respiración y la fotorespiración (pérdidas), por tanto el balance es negativo, se acumula menos biomasa.

Q10Respiración=2.3

Q10Fotorrespiración=1.8

Q10Fotosíntesis=1.2

El aumento de la temperatura debido al cambio climático podría afectar el rendimiento de cultivos en diferentes regiones y quizás algunos que se encuentren hoy en climas tropicales desaparezcan de esas latitudes y se ubiquen en otras menos calientes. Particularmente cultivos  $C_3$  en llanos tropicales podrían pasar a otras latitudes o a regiones montañosas, menos calientes, mientras que en esos lugares plantas  $C_4$  podrían ocupar su lugar.

La base biofísica de la captación energética por parte de las plantas consiste en que la luz es capaz de interactuar con la materia. Por interés específico, aquellas especies moleculares que son capaces de absorber radiaciones de cierta longitud de onda y reflejar otras son denominadas pigmentos. En fotosíntesis en plantas superiores los pigmentos más importantes en la captación de la energía son las clorofilas del tipo a y b.

La biosfera es una fina envoltura del planeta que engloba las zonas limítrofes de la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera; está ocupada por la sustancia viva, es decir, por el conjunto de organismos que pueblan la Tierra (Vinogradov, 1981).

La biosfera representa para el hombre la fuente de recursos alimentarios, energéticos y de materias primas, pero desde hace algunas décadas la relación entre el hombre y el medio ambiente ha puesto de manifiesto alteraciones del equilibrio producción- naturaleza, lo cual ha conducido a la contami-

nación del suelo, de la atmósfera y sobre todo de la hidrosfera del planeta.

El comienzo de una crisis ecológica (consecuencia de la actividad productiva del hombre y que puede poner en peligro su propia existencia) .A partir de la década del sesenta en que el avance de la ciencia y la técnica se evidenció por los vuelos al cosmos, obliga a recordar aquella afirmación de Engels (1870, citado por Levins y Richard, 1985): *“No nos dejemos llevar del entusiasmo ante nuestras victorias sobre la naturaleza: después de cada una de estas victorias, la naturaleza toma su venganza. Bien es verdad que las primeras consecuencias de estas victorias son las previstas por nosotros, pero en segundo y tercer lugar aparecen unas consecuencias muy distintas, imprevistas y que, a menudo, anulan las primeras”*.

A pesar de que el uso de tecnologías de altos insumos se ha sido visto como una manera de solucionar la carencia de alimentos, es evidente que los costos en recursos naturales y ambientales son demasiado altos. La alternativa emergente para el manejo sostenible del suelo implica sistemas agrícolas con alta eficiencia en el uso de recursos disponibles donde el reciclaje de nutrientes desempeñe un papel fundamental (Barrios, 2001).

Junto a esto en los años 60 se formó una especie de consenso básico: *Si bien la ciencia y la tecnología nos proporcionan numerosos y positivos beneficios, también traen consigo impactos negativos, de los cuales algunos son imprevisibles, pero todos ellos reflejan los valores, perspectivas y visiones de quienes están en condiciones de tomar decisiones concernientes al conocimiento científico y tecnológico* (Vinogradov, 1981).

## **1.2. Causas de la creciente degradación de las tierras y medidas para mitigarla**

El decrecimiento en cantidad y calidad de los recursos naturales esenciales como tierras y aguas, debido al desarrollo industrial y urbano, la degradación de los suelos y la contaminación, complican la obtención del necesario incremento en la producción de alimentos, máxime porque este deberá provenir principalmente de elevar los rendimientos de las tierras actualmente cultivadas y no de incorporar más superficie agrícola fértil a la agricultura (Cassman, 1990; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 1996; Borlaug & Dowsell, 1994).

El crecimiento y rendimiento de un cultivo está determinado por la especie o

variedad de planta, que posee un rendimiento potencial, que será alcanzado en mayor o menor medida atendiendo a los factores abióticos (clima, suelo) y bióticos (plagas, malas hierbas). Cuando cualquiera de esos factores se presenta en un rango que puede afectar la cantidad o calidad del producto agrícola, el manejo agronómico del hombre debe modificarlo favorablemente y de ser posible optimizarlo. En caso de tratarse de un factor *no modificable* no queda otra posibilidad que aplicar la mejor variante agronómica que permita mitigar su efecto negativo o dedicar el suelo a otra opción de uso.

El laboreo y el no utilizar prácticas de reciclar los residuos de las cosechas han contribuido a la disminución del contenido orgánico de los suelos; lo que conjuntamente con la mecanización ha propiciado el deterioro de la estructura y la compactación de los suelos. Por esta causa disminuye la infiltración del agua la que se acumula en las zonas bajas, mientras que se erosionan los suelos en las zonas onduladas.

La labranza es una práctica que fue introducida con el fin de facilitar labores agrícolas, entre las que destacan control de malezas, formación de cama de semillas que lleven a una buena germinación y establecimiento del cultivo, incorporación de fertilizantes y pesticidas al suelo, incorporación de residuos del cultivo anterior y materia orgánica al suelo (Acevedo & Silva, 2003). La labranza consiste comúnmente en la inversión y mullimiento de la capa superficial del suelo (15-30 cm) a través del paso de arado y rastra que, cuando se operan con una humedad adecuada, resultan en una disgregación y mullimiento del suelo mejorando sus propiedades mecánicas para su posterior intervención (siembra u otro).

Junto con facilitar las labores de siembra, controlar malezas y generar el mullimiento deseado, la labranza expone el suelo a los principales agentes erosivos (agua y viento) y facilita el contacto de los organismos heterótrofos del suelo con la presión parcial de oxígeno de la atmósfera (ca. 20 kpa), favoreciendo la mineralización de la MOS (Acevedo & Martínez, 2003).

La degradación de las tierras es un asunto importante para todos los países debido a sus impactos adversos en la productividad de la tierra, seguridad alimentaria, cambio climático global, mantenimiento medio ambiental y finalmente en la calidad de vida. Existen extensas áreas consideradas como ecosistemas frágiles en las cuales los procesos degradativos de los suelos se manifiestan en diferentes magnitudes; la erosión, desertificación, salini-

zación, compactación, contaminación, sequía, exceso de humedad, acidificación y pérdida de materia orgánica son problemas que amenazan con destruir la fertilidad del suelo, recurso natural que requiere de un período de formación tan prolongado que puede considerarse no renovable.

El manejo agronómico utilizado para eliminar o al menos atenuar el efecto negativo de un factor limitante no representó durante casi dos milenios ningún peligro palpable para la supervivencia del hombre en el planeta, el desarrollo tecnológico no ocasionaba grandes cambios que afectaran el medio ambiente. En el siglo XX, comienza el uso intensivo de productos químicos, del riego, la mecanización y la ampliación a gran escala de las áreas de cultivo a partir de los bosques, en muchas ocasiones con una agricultura nómada, una vez que deterioraba el suelo local se trasladaba a un área de suelo virgen( Altieri, 1994).

.Los plaguicidas en general son una valiosa herramienta para lograr altos rendimientos en los cultivos, sin embargo su uso indiscriminado y poco racional ha provocado en forma paralela una alerta por el riesgo potencial de contaminación ambiental que estos pueden ofrecer con su uso (Alfaro, 2016).

El problema radica desde el punto de vista ambiental en que se estima que tan solo un 1 % del total de un plaguicida aplicado al ambiente logra alcanzar al organismo de interés, mientras que aproximadamente el 25 % se queda retenido en el follaje, un 30 % llega al suelo y el 45 % es exportado directamente a la atmósfera por volatilización y a los sistemas acuáticos por escorrentía y lixiviación (Alfaro, 2016).

La agricultura convencional con la intensiva aplicación de insecticidas, fungicidas, nematocidas, herbicidas y fertilizantes químicos posee, como se ha mencionado anteriormente, consecuencias desfavorables para el medio ambiente, sin embargo, ella no representa la única posibilidad para la producción agrícola moderna, pues otra opción es incrementar el empleo de la rotación de cultivo, abonos verdes, abonos orgánicos, cultivo mecánico, controles biológicos, biofertilizantes.

### 1.3. Biodiversidad

La diversidad representa una buena aproximación a la evaluación de la estabilidad y riqueza de un ecosistema. Así, cuando un ecosistema se encuentra en estado de equilibrio alcanza su máxima diversidad; esta puede variar en

dependencia de la región biogeográfica, por ejemplo: se estima que el ecosistema más diverso es el de los manglares y arrecifes costeros, también el de las selvas húmedas tropicales, si se compara la diversidad de un bosque de tundra con uno de la zona ecuatorial, este último tiene mayor diversidad. Diversidad es cuantificar el impacto antrópico (acción del hombre) sobre un ecosistema, para ello se parte de la hipótesis de que mientras más intervenido esté el hábitat menor será su diversidad. El término, etimológicamente, proviene del latín *divertere* que significa distraer, apartar, recrear. La diversidad en un sentido amplio es el conjunto de formas diferentes, no repetidas, sin importar la cantidad o el espacio que ocupen (Campbell, 1996).

Dentro de 100 años podrían desaparecer 2/3 de todas las especies del planeta. Cada 24 horas se extinguen entre 150 y 200 especies. Especies indeseables que conviven con el hombre, como ratones y cucarachas podrían ser entonces los representantes de la biodiversidad.

La valoración de la diversidad es un tema de la ecología numérica, para lo cual muchos biomatemáticos han propuesto distintos índices para calcularla. En general, se trata de relacionar la abundancia con la divergencia de especies presentes, que en una ecuación muy simple que se puede expresar de la siguiente manera:  $D = (\text{Número de especies diferentes} / \text{Número total de individuos})$  (Toro, 2004).

Entre los organismos del suelo, se establece una cadena alimentaria. Las bacterias sirven de alimento a muchos protozoos y nemátodos, mientras los hongos, son el mayor componente de la dieta de muchos artrópodos superiores que se incluyen en la meiofauna, así como de las lombrices de tierra que son parte de la macro fauna.

#### 1.4. La Revolución verde y la seguridad alimentaria

El paraíso productivo de la revolución verde comenzó a desvanecerse al aparecer fenómenos negativos asociados con la agricultura industrializada, como son la degradación de los suelos, plagas y malezas más resistentes a los productos químicos, envenenamiento de las aguas y la atmósfera, pérdida de biodiversidad, agotamiento de recursos naturales, menor calidad de los productos agropecuarios, tanto en apariencia como en inocuidad.

Actualmente dado el crecimiento de la población se requiere integrar todos los conocimientos acumulados para garantizar la alimentación de la cre-

ciente población sin que se afecten futuras generaciones. Hasta la fecha la producción de alimentos agrícolas ha tenido principalmente el propósito de suministrarle a la población la cantidad de alimentos necesarios para mitigar el hambre, lo cual no ha sido alcanzado; además, muy poco se ha realizado con la finalidad de obtener productos que por su composición nutricional, presencia e inocuidad resulten saludables y contribuyan a una mejor calidad de vida de la población, medio ambiente más sano y a la protección de los recursos naturales.

Existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico y económico a suficientes alimentos, inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos, a fin de llevar una vida activa y sana. Esta definición le otorga una mayor fuerza a la índole multidimensional de la seguridad alimentaria e incluye, la disponibilidad de alimentos, el acceso a los alimentos, la utilización biológica de los alimentos y la estabilidad [de los otros tres elementos a lo largo del tiempo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2006).

La *seguridad alimentaria*, requiere que cada persona consuma tanto en cantidad como en calidad los alimentos que le permitan alcanzar más años de vida saludable. Las ideas principales en que se basa la definición de la seguridad alimentaria son:

- 1) Suficiencia de la disponibilidad de alimentos (suministro eficaz).
- 2) Capacidad del individuo de adquirir alimentos suficientes, es decir, la suficiencia del acceso a los alimentos (demanda efectiva).
- 3) Nivel suficiente de fiabilidad del suministro y la demanda.

La inseguridad alimentaria puede ser entonces el resultado de la falta de la disponibilidad, acceso o de fiabilidad, o de una combinación de estos tres elementos.

Las hortalizas y verduras frescas son alimentos que contribuyen a hidratar el organismo por su alto contenido de agua, además de ser nutritivas y saludables. Son ricas en minerales, vitaminas y fibras y en menor medida en carbohidratos y azúcares, fuente indiscutible de sustancias antioxidantes. Por ello se consideran fundamentales para la salud e indispensables dentro del concepto de dieta equilibrada (Sáez, et al., 2007), pero en algunos países su

producción y los hábitos y estilos de vida de la población no se corresponde con la necesidad de consumirlos

El término *agricultura industrial* es un derivado directo de la revolución verde que sucedió en todo el mundo durante el siglo XX. Durante este período los nuevos avances en tecnologías agrícolas produjeron cultivos más fuertes, más resistentes a las enfermedades. Esta revolución comenzó en México con la tendencia a la modificación genética de los cultivos agrícolas, pronto llegó a arrastrar a la comunidad global. La agricultura industrial se basa en el monocultivo, la siembra de un cultivo en cantidades masivas. Esto disminuye la biodiversidad en el ecosistema dentro de las plantas y los animales. Un ejemplo que ilustra lo sucedido con la revolución verde, es el detallado estudio realizado por Junta de Consultores e Ingenieros en la India (2008).

Para aumentar la producción agrícola en la India y para satisfacer las necesidades de la creciente población se hizo imprescindible cambiar las metodologías. Se incluyó el uso de variedades de alto rendimiento, mayores dosis de fertilizantes minerales, aumento de la superficie de regadío, cultivos intensivos y grandes áreas bajo un mismo cultivo. La revolución verde siguió el desarrollo de la agricultura comercial en los países desarrollados después de la Segunda Guerra Mundial.

Empresas químicas en que se desarrollaron productos químicos altamente tóxicos, al final de la guerra decidieron centrar su atención en el control químico de los insectos, plagas y plantas no deseadas en los campos de los agricultores. Además, la producción de fertilizantes a base de petróleo por las empresas petroleras se utilizó para reemplazar los abonos orgánicos.

El aumento de la irrigación, mayor uso de fertilizantes y la adopción amplia de variedades de alto rendimiento llevó al resurgimiento de plagas. Las variedades de alto rendimiento y las prácticas de monocultivo condujeron a cambios en el complejo de plagas. Plagas y enfermedades, que eran de menor importancia antes de la revolución verde, de repente adquirieron proporciones relevantes y aumentó enormemente las pérdidas de cosechas debido a plagas.

Dado que las variedades de alto rendimiento fueron más propensas a plagas y enfermedades, el uso de pesticidas aumentó y provocó: (a) presencia generalizada de residuos de plaguicidas en casi todos los productos agrícolas, (b) aumentó de la resistencia a los pesticidas en los vectores, (c) la resistencia a plaguicidas en plagas de granos almacenados (d) resistencia a los pesticidas en las plagas de importancia agrícola, lo que se convirtió en un

obstáculo para aumentar la productividad.

A pesar del uso creciente de pesticidas, las pérdidas de cosechas anuales debido a las plagas todavía ascienden a más de Rs.15, 000 millones de rupias. El consumo de fertilizantes químicos ha aumentado siete veces en los últimos 20 años, pero la producción ha aumentado solamente el doble. Nuestros antepasados consumían alimentos libres de químicos, pero ahora una gran cantidad de residuos químicos entran a la cadena alimentaria.

Después de la revolución verde se alcanzó en la India un aumento sustancial de la producción de cereales, lo que se logró mediante el uso de variedades mejoradas y niveles más altos de fertilizantes y productos químicos fitosanitarios. El aumento de la producción se consiguió a costa de la salud de la tierra; cerca del 60 por ciento de las tierras agrícolas actualmente en cultivo sufren del uso indiscriminado de fertilizantes, riego y productos químicos.

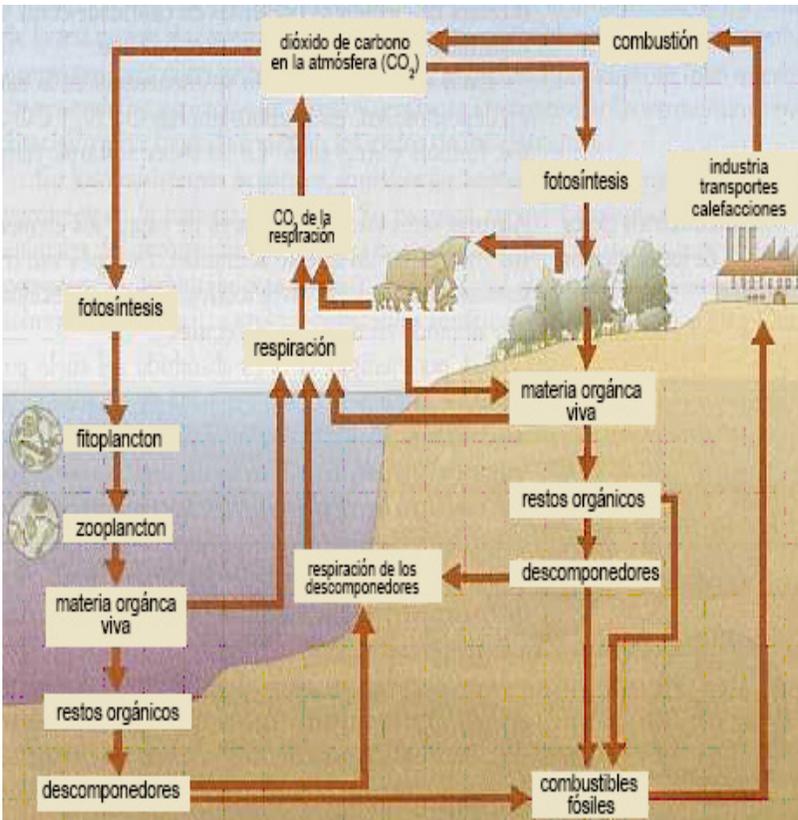
La intensificación de la agricultura, una consecuencia inevitable de la obligación de producir más, ha puesto una enorme carga sobre los recursos naturales. La rápida industrialización incontrolada y agravada por la adopción de programas de desarrollo sin tomar en cuenta a largo plazo los efectos negativos en el medio ambiente ha ido continuamente erosionando los recursos básicos.

Quizás la mayor dificultad para prescindir de métodos químicos y lograr una agricultura menos agresiva sobre el medio ambiente, se presenta con el control de plagas, enfermedades y malezas, sin embargo, existen otras alternativas que no comprometen el medio ambiente ni a los seres humanos y permiten lograr modelos de agricultura más sanos. Una alternativa que considera lo logrado por la revolución verde y los enfoques actuales es el control integrado de plagas que incluye el combate cultural, combate químico, combate biológico y combate genético.

Debido a los problemas secundarios originados por la quimización de la agricultura y al existir posibilidades de superarlos, surgen modelos de agricultura menos agresivos sobre el medio ambiente, aparecen los términos: agro ecología, agricultura ecológica, agricultura sostenible y agricultura orgánica; se basan en el principio del uso sostenible de los recursos en beneficio del medio ambiente, del agricultor y del consumidor. Todos esos modelos de agricultura surgieron después de la revolución verde, en busca de una solución a los problemas creados con la industrialización en la agricultura (Gliessman, 2004).

Entre las afectaciones derivadas de la actividad antropogénica se destacan los ciclos biogeoquímicos de algunos elementos (C,N,H,O,S); el desgaste de los recursos naturales (que no son infinitos) y la producción no sostenible de alimentos y de energía para una humanidad que crece.

El ciclo del carbono ha sido uno de los más afectados y preocupantes a nivel planetario principalmente por el denominado efecto invernadero, en el cual intervienen diferentes gases (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, clorofluorocarbonos, ozono y vapor de agua). El aire de la atmósfera contiene un 78% de nitrógeno, por lo tanto la atmósfera es un reservorio de este compuesto. A pesar de su abundancia, pocos son los organismos capaces de absorberlo directamente para utilizarlo en sus procesos vitales. Por ejemplo las plantas para sintetizar proteínas necesitan el nitrógeno en su forma fijada, es decir incorporado en compuestos (Figura 2).



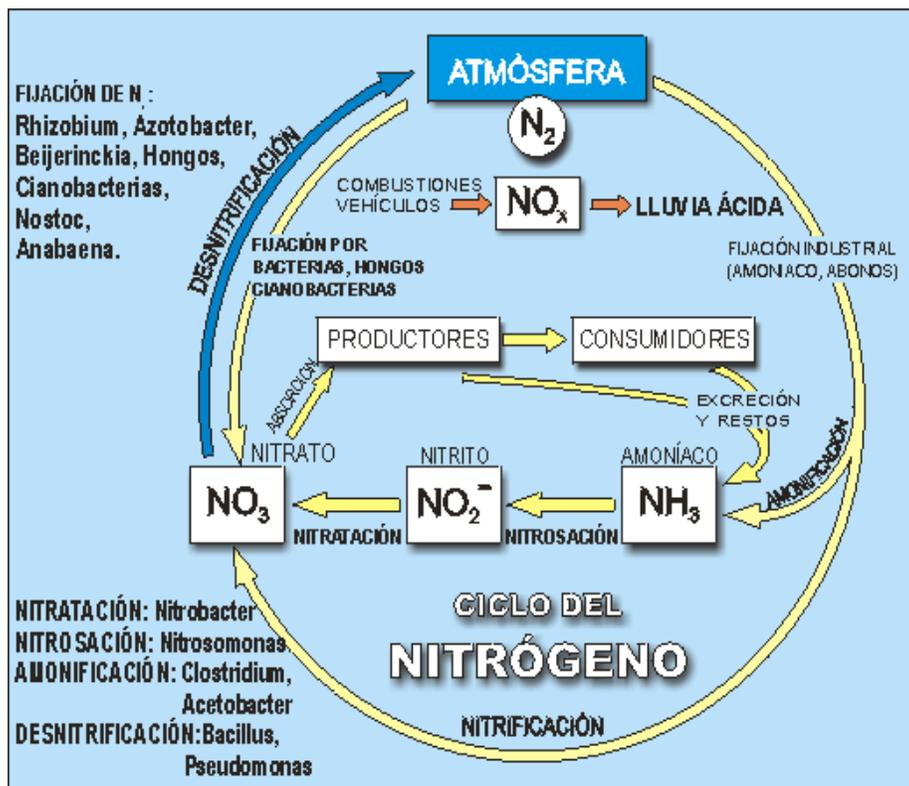


Figura 2. Dos modelos para representar del ciclo biogeoquímico del carbono en la biosfera, izquierda (Anónimo 3); derecha (Lenntech, 2015).

### 1.5 Influencia del carbono en la biosfera

La biosfera incluye todos los seres vivos que viven en la hidrósfera, atmósfera y geosfera. Esta última tiene un grosor de más de 6000 km, de ella alrededor de 1 metro corresponde al suelo.

Disminuir la contaminación con compuestos de carbono es decisivo para paliar la contaminación de la atmósfera, la temperatura media global ha aumentado alrededor de  $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  a lo largo de los últimos cien años, ello es solo uno de los indicios del cambio climático, pues existen otros fenómenos colaterales. Una de las situaciones más problemáticas del cambio climático proviene del hecho de que cualquiera de las moléculas que forman los gases de

efecto invernadero, una vez emitida, permanece en la atmósfera gran cantidad de tiempo (el CO<sub>2</sub>, unos 4 años) antes de ser captada por un sumidero.

La Tierra necesita más de cien años para adaptarse a la alteración de sus emisiones y estabilizar de nuevo su concentración atmosférica. En consecuencia, si en el día de hoy se lograra estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero su concentración atmosférica seguiría aumentando a lo largo de casi dos siglos (Judith, et al., 2007).

Los residuos de las cosechas contienen principalmente compuestos de las paredes celulares de las células de las plantas (celulosa, hemicelulosa, lignina) los que forman grandes cadenas de carbono y se descomponen y transforman por macroorganismos, mesoorganismos y microorganismos, hasta formar humus, por tanto, la materia orgánica del suelo incluye compuestos orgánicos en diferentes grados de transformación.

La acción cementante de los compuestos orgánicos es diferente, ya sea referida a sus cantidades totales, a la composición de los mismos o a productos resultantes de la humificación. Estos últimos constituyen los principales agentes cementantes y de conservación de la estructura en los suelos tropicales. Debe anotarse que la acción orgánica supera la de los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, aun cuando estos determinen la agregación de aquellos horizontes subsuperficiales con altos contenidos de ellos (Montenegro, 1991).

Los agregados del suelo determinan en gran medida el tamaño, forma y arreglo de los poros, los cuales representan los espacios donde las actividades biológicas tienen lugar; por otro lado, los agregados son muy importantes en las relaciones agua - aire del suelo lo cual influye en las actividades de raíces, microorganismos y en la movilidad de éstos (Morales, 2001).

La formación de agregados comienza por la aglutinación de partículas de arcilla, limo y arena a través de la interacción con microorganismos, raíces de plantas e hidratos de carbono, para formar microagregados, los cuales a su vez se unen generando macroagregados (> 250 µm). Estas actividades biológicas son fundamentales para formar agregados estables, especialmente macroagregados, los cuales evitan la pérdida de suelo por erosión y permiten obtener suelos bien estructurados (Gupta & Germida, 1988).

El carbono almacenado en el suelo y en los residuos vegetales de los ecosistemas forestales constituye una parte importante de las reservas totales de carbono. A escala mundial, el carbono del suelo representa más de la mitad del carbono almacenado en los bosques, cabe señalar, sin embargo, variaciones importantes entre distintos ecosistemas y tipos de bosque. Entre el 80 y el 90% del carbono existente en los ecosistemas boreales está almacenado en forma de materia orgánica del suelo, en tanto que en los bosques tropicales se encuentra distribuido en partes iguales entre la vegetación y el suelo. Los suelos contienen más C que la suma existente en la vegetación y en la atmósfera (Swift, 2001).

La causa principal de esta diferencia es la influencia de la temperatura en los índices relativos de producción y descomposición de la materia orgánica. En las latitudes altas (es decir, en los climas más fríos), la materia orgánica del suelo se acumula porque se produce con mayor rapidez de la que se puede descomponer. En cambio, en las latitudes bajas, las temperaturas más cálidas provocan la rápida descomposición de la materia orgánica del suelo y el reciclado subsiguiente de los nutrientes (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2000).

El monocultivo en general provoca grandes alteraciones en el contenido y composición de la materia orgánica del suelo disminuyendo bruscamente el contenido total de carbono, los complejos orgánicos móviles y semimóviles e incluso la redistribución de los microelementos dentro de las fracciones, por lo que varía su papel como barrera ecológica en el suelo

Acumular carbono orgánico en el suelo equivale a mejorar las propiedades de los suelos y su capacidad para producir biomasa y paralelamente disminuir la contaminación de la atmósfera y la hidrosfera con compuestos de carbono. La práctica agrícola que origina en primer lugar el incremento de anhídrido carbónico en la atmósfera es la combustión de productos orgánicos, trátase de combustibles fósiles o de biomasa y restos de cosecha en zonas agrícolas. Al perderse el carbono desaparece el carácter orgánico de estos materiales y por tanto, las ventajas de su empleo como abonos orgánicos sobre múltiples propiedades del suelo (Arzola & López, 1985; 1986).

El carbono es el componente mayor de la materia orgánica del suelo, es importante como fuente principal de  $\text{CO}_2$ . El C orgánico se encuentra en las células de los microorganismos, en los residuos de vegetales y animales en

diversos estados de descomposición y en compuestos casi inertes y altamente carbonizados como el carbón vegetal o el grafito.

Del total de carbono que se aplica al suelo con los residuos orgánicos una fracción se mineraliza y otra forma un compuesto estable (humus). La tasa de mineralización de los compuestos orgánicos del suelo está afectada por la temperatura, humedad, aireación y otros factores que influyen sobre la vida del suelo, método de aplicación del abono orgánico, contenido de lignina y otros polifenoles, de nitrógeno y de carbohidratos solubles (Rod, et al., 1994).

El humus es una sustancia que se origina a raíz de procesos químicos de descomposición y síntesis de restos orgánicos vegetales y en menor medida animales, que se incorporan al suelo. La composición química del humus varía porque depende de la acción de organismos vivos del suelo, como bacterias, protozoos, hongos y ciertos tipos de escarabajos, pero casi siempre contiene cantidades variables de proteínas y ciertos ácidos urónicos combinados con ligninas y sus derivados. El humus es una materia homogénea, amorfa, de color oscuro, inodora y con cargas eléctricas negativas, pues a pesar de ser un compuesto anfótero, su punto isoeléctrico es bajo con respecto al pH de la generalidad de los suelos.

La formación de agregados comienza por la aglutinación de partículas de arcilla, limo y arena a través de la interacción con microorganismos, raíces de plantas e hidratos de carbono, para formar microagregados, los cuales se unen generando macroagregados (>250mm). Estas actividades biológicas son fundamentales para formar agregados estables, especialmente macroagregados, evitan la pérdida de suelo por erosión y permiten obtener suelos bien estructurados (Gupta & Germida, 1988).

El suelo es un importante compartimiento dentro del ciclo global del C. Además, el suelo puede actuar como fuente o reservorio de C hacia la atmósfera, dependiendo del uso que se le asigne. El manejo agrícola convencional de suelos, con uso intensivo del arado, promueve la liberación de C hacia la atmósfera, mientras que el uso conservacionista favorece la acumulación de C en formas orgánicas dentro del suelo.

El Carbono Orgánico del Suelo (COS) favorece la agregación del suelo y consecuentemente interviene en la distribución del espacio poroso del suelo, afectando diversas propiedades físicas, como humedad aprovechable,

capacidad de aire y movimiento de agua y gases en el suelo. Además el COS, formado por compuestos de diversa naturaleza química y estado de descomposición, interviene en las propiedades químicas del suelo, aumenta la CIC y la capacidad tampón sobre la reacción del suelo (pH) (Martínez, et al., 2008).

Producto de la mineralización de la MOS, se liberan diversos nutrientes para las plantas, muchos de los cuales son aportados en forma deficitaria por los minerales del suelo. El C orgánico del suelo interviene en las propiedades biológicas, básicamente actuando como fuente energética para los organismos heterótrofos del suelo. El COS, a través de los efectos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo ha resultado ser el principal determinante de su productividad (Martínez, et al., 2008).

Desde 1988, existe un organismo internacional que cumple con la función de estudiar y evaluar el cambio climático, sus causas y efectos, a la vez de proponer las formas de reducirlos (Conocido como Grupo Intergubernamental del Cambio Climático). Fue creado por la Organización Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization) y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (United Nations Environment Programme).

El Grupo Intergubernamental del Cambio Climático publica informes basados en artículos de revistas técnicas y científicas contrastadas, y cuenta con el trabajo de más de 2.000 científicos provenientes de 100 países. El Primer Informe de Evaluación del IPCC se publicó en 1990, en él se confirmaban las evidencias y datos científicos que avalaban la existencia del cambio climático, y en el último pronuncia: El calentamiento del sistema climático es inequívoco, tal y como evidencian ahora las observaciones de los incrementos en las temperaturas medias del aire y los océanos, el derretimiento generalizado de hielo y nieve, y el incremento medio global del nivel del mar.

La actividad humana ha cambiado la composición de la mezcla de gases que compone la atmósfera desde hace varias decenas de años, así la presencia de CO<sub>2</sub> ha pasado de 280 partes por millón en volumen (ppmv) en la era preindustrial a los 383 ppmv actuales, creciendo a un ritmo de 1,9 ppmv por año. También han aumentado notablemente desde 1750 las concentraciones globales en la atmósfera de metano y óxido nitroso, como resultado de la expansión de las actividades humanas. Los incrementos de las concentraciones de dióxido de carbono son debidos fundamentalmente a los

combustibles fósiles, al uso y cambio de usos de suelo, mientras que los aumentos en las concentraciones de metano y óxido nitroso se deben principalmente a la agricultura (Montico, 2010).

La creatividad en diferentes campos es necesaria para paliar el efecto invernadero, por ejemplo: de una tonelada de bagazo se producen 90 galones de etanol, que le permiten a un automóvil recorrer más de 3.200 kilómetros con una mezcla de 85% etanol y 15% gasolina. Para el caso del proyecto de la Hoya del Río Suárez, con el bagazo que se produce de una hectárea sembrada en caña de azúcar se producirán 2.700 galones, que le podrán suministrar a un automóvil combustible para recorrer más de 100.000 kilómetros, algo así como más de cinco años de vida. No en vano le llaman ahora al bagazo, el petróleo verde del siglo (Forero de Silva, 2009).

## Capítulo II.

### Factores limitantes abióticos

Nelson Cristóbal Arzola Pina

#### 2.1. El suelo

El crecimiento y rendimiento de un cultivo o variedad está determinado por un factor interno (potencial genético) y por un gran número de factores externos, que pueden ser ambientales (abióticos) o de organismos vivos (bióticos). Cuando cualquiera de esos factores se presenta en un rango que puede afectar la cantidad o calidad del producto agrícola el manejo agronómico del hombre deberá modificarlo favorablemente y de ser posible optimizarlo.

Las alteraciones en el balance hidrológico areal y edáfico, introducen incertezas respecto a la gestión de uso de los suelos, tanto en el manejo de la fertilización como en el de la selección de especies, variedades e híbridos. Tal los cambios, que por ejemplo, desde hace pocos años, la forrajeras megatérmicas están ensayándose con éxito en los planteos ganaderos o mixtos de la región, principalmente en sectores deprimidos salinos-alcalinos (Montico, 2010).

El término suelo ha tenido varias acepciones según la actividad del hombre de que se trate: para un agricultor, el lugar donde sembrará y cosechará; para un geólogo, la capa de la litosfera que él estudia; para un constructor, el sitio donde se ubicarán sus construcciones; para un agrónomo, el sustrato donde existen sus cultivos; otras definiciones pueden existir atendiendo a intereses o propósitos, no obstante, es esta la definición de suelo.

El suelo es un cuerpo natural compuesto de una parte sólida (materia mineral y orgánica), líquido y gaseoso que se presenta en la superficie de la tierra y presenta horizontes o capas y está en capacidad de sostener la vida (Arzola, et al., 2013).

El suelo es el medio donde se sostienen las plantas, de él toman agua y nutrientes, indispensables para el metabolismo y la formación de su biomasa, de ahí que el conocimiento de los factores edáficos que inciden en la producción agrícola, y la acción que se ejerza para superar el límite por ellos impuesto, es un paso imprescindible para toda aspiración de obtener altos

rendimientos y hacer más rentable la producción.

De las propiedades químicas, físicas, fisico-químicas y biológicas del suelo depende en gran medida el cultivo que debe ubicarse, el manejo agronómico a utilizar y el rendimiento que es posible alcanzar; la poca profundidad del suelo con frecuencia es un factor fuertemente limitante (Figura 3).



Figura 3. Limitación del rendimiento debido a la poca capa arable de suelo, dada la presencia de caliza a poca profundidad (solo crecen algunas malezas, área aledaña a la carretera de Rancho Luna en Cienfuegos).

Fuente: Arzola (2016).

El manejo agronómico utilizado para eliminar o al menos atenuar el efecto negativo de un factor limitante no representó durante casi dos milenios ningún peligro palpable para la supervivencia del hombre en el planeta, ya que el desarrollo tecnológico no ocasionaba grandes cambios que afectarían el medio ambiente. En el siglo XX, comienza el uso intensivo de productos químicos, del riego, la mecanización y la ampliación a gran escala de las áreas de cultivo a partir de los bosques, en muchas ocasiones con una agricultura nómada, que una vez que deterioraba el suelo local, se trasladaba a un área de suelo virgen

Con el propósito de diferenciar los suelos cuando varían sus propiedades y

poderlos identificar con otros con propiedades similares existentes en otras localidades, surge la clasificación taxonómica, la cual se ha desarrollado en diferentes países, pero no existe un sistema único (sería lo ideal). Numerosos sistemas de clasificación taxonómica de los suelos. En este texto se emplea generalmente la segunda versión de la clasificación genética cubana, es posible su transformación a otros sistemas de clasificación a partir de las correlaciones establecidas por Hernández, et al., (2005).

Una vía para aumentar los rendimientos con un mínimo de gastos es utilizar adecuadamente los suelos y diferenciar las prácticas agrícolas en función de sus características. La clasificación de la aptitud de los suelos es de utilidad para determinar qué suelos no deben dedicarse a ese cultivo y qué resultados podrían obtenerse en aquellos con características adecuadas para ese fin, además, el manejo agrícola puede diferenciarse en función de dicha clasificación. Los rendimientos potenciales que pueden obtenerse atendiendo a las características de los suelos, es a la vez un techo de rendimiento que sirve de comparación para valorar la eficiencia de las prácticas agrícolas que se aplican en las unidades de producción.

En regiones montañosas es posible percatarse de que los lugares más elevados y de mayor pendiente frecuentemente quedan desprovistos de vegetación, mientras que los lugares más bajos donde el agua depositó parte de las materias sólidas en suspensión están verdes (Figura 4).



Figura 4. Región montañosa (Colombia (izquierda): Escambray de Cuba (centro), España (derecha); se aprecia carencia de vegetación en lugares más escarpados y presencia de vegetación donde el agua pudo depositar sólidos que llevaba en suspensión.

La escasez de zonas montañosas con climas más benévolos obligaría a que se realizara un esmerado trabajo en la conservación y protección de los suelos, principalmente de la erosión y a que se incorpore dentro de los sistemas de evaluación de tierras, la temperatura, sin dejar de tener presente las propiedades de los suelos y la lluvia, como es tradicional, máxime porque esta última también podría modificarse. La redistribución de los cultivos seguramente requerirá de un estudio que integre a todos los países para dedicar cada terreno en cada lugar a su mejor opción de uso.

Las medidas para contrarrestar la erosión se dirigen en dos sentidos:

1. Evitar el golpe directo de las gotas de lluvia en la superficie del suelo ya que se dispersan las partículas del suelo.
2. Disminuir la velocidad del agua de escorrentía que arrastra esas partículas.

La aptitud del suelo para la producción (aptitud física) está determinada fundamentalmente por características del suelo, estables o no modificables por el hombre, pues el paquete tecnológico que se utilice debe ser capaz de llevar a valores o rangos óptimos para el desarrollo y rendimiento del cultivo todos aquellos factores que pueden modificarse (abastecimiento nutricional mediante el empleo de fertilizantes, reacción del suelo por encalado, falta de humedad del suelo con el riego, etc.) o controlarse (seleccionar el momento de plantación o cosecha en la época de mejores condiciones climáticas).

Se comprende que la aptitud del suelo para producir se establece mediante calibraciones en que se relacionen indicadores estables del suelo con el rendimiento del cultivo.

Maurice, et al. (1984), expresan que la bonificación es la evaluación comparativa de los suelos según su productividad; mediante índices cuantitativos (puntos), por ejemplo, un sistema por puntos basado solamente en el grosor del horizonte húmico y la reserva de humus para los suelos chernozem y castaños.

El uso eficiente de la tierra y los suelos sanos son importantes para la seguridad alimentaria. La degradación del suelo (física, química y biológica), se evidencia en una reducción de la cobertura vegetal, la disminución de la fertilidad, la contaminación del suelo y del agua y, debido a ello, el empo-

brecimiento de las cosechas. El 14% de la degradación mundial ocurre en Latinoamérica y el Caribe (LAC), siendo más grave en Mesoamérica, donde afecta al 26% de la tierra. Las principales causas de la degradación incluyen la erosión hídrica, la aplicación intensa de agroquímicos y la deforestación, con cuatro países de LAC que tienen más del 40% de su territorio nacional degradado y con 14 países con un porcentaje de entre 20% y 40% del territorial nacional degradado (Beekman, 2015).

La aplicación al suelo de fertilizantes químicos, pesticidas; así como su exposición a los residuos industriales y de la combustión del carbono; han sido fuentes crecientes de contaminación del suelo y el ambiente en metales como el cadmio (Cd), níquel (Ni), cromo (Cr), mercurio (Hg), plomo (Pb), zinc (Zn), cobre (Cu), etc. (Adriano, 1986).

Los productos químicos que provocan los sucesos BQT son las especies no biodegradables como metales pesados o más resistentes a la descomposición química y productos orgánicos persistentes. Estos pueden ser retenidos durante largo tiempo, pero al final se liberan al ambiente bien directamente o a través de sus metabolitos de descomposición que pueden ser aún más tóxicos.

Con la aptitud del suelo y la del clima, se obtendrá la clasificación del agrosistema. Para esto es necesario disponer de información sobre los componentes del clima que determinan la producción del cultivo en cantidad y calidad y que no son modificables por el hombre (temperatura, horas luz, intensidad de la radiación solar).

Las prácticas integradas de gestión de la tierra y el agua mejoran la producción agrícola y la productividad de los suelos, así como su resistencia frente a la desertización y otros efectos del cambio y la variabilidad climáticos. Para que los países en desarrollo se beneficien de variedades de cultivos mejoradas y de prácticas agrícolas en cuanto a fertilidad del suelo, es esencial una gestión sostenible de los fertilizantes, los suelos y el agua.

Por no ser el suelo el propósito de esta obra y haber sido objeto de atención con anterioridad, se remite el interesado en ampliar sobre este tema al libro sobre manejo de suelos para una agricultura sostenible de Arzola, et al. (2013).

## 2.2. El clima

El sol emite radiaciones que originan los fenómenos físicos y biológicos que se producen sobre la tierra. El metabolismo vegetal está muy influenciado por los elementos del clima, tanto desde el punto de vista cuantitativo (crecimiento), en que la lluvia y la temperatura deprimen o promueven la formación de biomasa vegetal, como desde el punto de vista cualitativo (desarrollo) en que la diferenciación de las diferentes fases que conforman el ciclo de vida de la planta se hace posible y en que influyen la temperatura y la duración del día.

El clima determina los límites geográficos en que puede vivir una especie vegetal y en que resulta económico su cultivo. También en función del clima debe establecerse el manejo agronómico; mientras que en las arenas de Egipto es imposible establecer un cultivo económico si no se cuenta con el riego de las aguas del Nilo, en las zonas tropicales muy lluviosas, llanas y de suelos impermeables, es imprescindible el drenaje.

La duración del día es un factor que determina la floración de las plantas, en aquellos casos en que se cultiva una especie vegetal para obtener la biomasa formada, no interesa si florece, siempre que la reproducción sea agámica o se pueda importar semilla de otras regiones para las siembras posteriores, pero esto no ocurre cuando el propósito de sembrar una especie vegetal es obtener flores, frutos o semillas, pues en ese caso la planta debe completar su ciclo vegetativo y reproductivo.

En la actualidad con el aumento en la atmósfera con gases con efecto invernadero, se pronostica un aumento de la temperatura, menos pronunciada en el trópico que en la zona fría, pero capaz de originar mayores lluvias, mayor crecimiento vegetativo y mayores pérdidas de nutrientes del suelo; en las zonas depresionales podría prolongarse la saturación o el anegamiento del suelo. Esto sugiere que existirá mayor necesidad de fertilizantes en el futuro y que se requiere del uso racional de los mismos para garantizar la alimentación de una población cada día mayor.

Los elementos del clima no solo influyen directamente sobre el desarrollo y rendimiento de los cultivos sino que también interactúan con muchos factores que tienen que ver con la nutrición vegetal, solo por citar un ejemplo, la humedad del suelo varía con el régimen pluviométrico y este a su vez influye sobre la asimilabilidad de los nutrientes del suelo, por ello las necesidades

de fertilizantes y enmiendas están relacionadas con la lluvia y con el empleo o no de riego.

El incremento de la temperatura en el trópico afectará en mayor medida a las plantas del ciclo C3 que a las del ciclo C4, lo que podría implicar que cultivos como la caña de azúcar, maíz y poáceas de pastos no se vean tan afectados como las hortalizas, raíces y tubérculos, leguminosas y arroz, ello podría implicar un modelo de producción que difiera del actual.

La producción de biomasa en el trópico supera ampliamente en el caso de las poáceas a la de climas templados, pero no en el caso de las leguminosas que son las que más limitan la cría animal por ser fuentes de aminoácidos y proteínas (Vélez, 2006). La causa puede atribuirse a que la generalidad de las poáceas que se emplean como pastos son del tipo C4 y son menos afectadas por las altas temperaturas e intensidad luminosa de los trópicos, mientras que las leguminosas son del tipo C3 y esas condiciones no les resultan favorables para su actividad fotosintética, mientras aumentan la respiración y la foto respiración. Ello significa para las C4 un menor cociente producción / gasto en la acumulación de materia seca.

Las plantas están limitadas en el proceso fotosintético por la pobre concentración de anhídrido carbónico de la atmósfera, lo cual se ha favorecido desde el pasado siglo por la creciente contaminación de la atmósfera con este compuesto, también las plantas son extremadamente ineficientes en el aprovechamiento de la energía solar.

Del 100% de la energía radiante que incide sobre la tierra un 60% no es absorbido debido a que es de grandes longitudes de onda. Del 40% restante un 8% se pierde por reflexión y transmisión, otro 8% también es perdido por calor; un 19 % constituye pérdida en el metabolismo de las plantas y solo el 5% de la energía radiante que llega a las plantas es convertida en carbohidratos a través del tejido foliar fotosintético.

El coeficiente de rendimiento de la luz, se puede duplicar en el caso de plantas C4 y alcanzar el 10% de luz absorbida, pero aún en esos casos el aprovechamiento es muy bajo. Las plantas C4 se favorecen con relación a las C3 en condiciones de alta temperatura, iluminación intensa y baja humedad relativa, que son las predominantes en los climas tropicales y subtropicales, relativamente áridos.

A pesar de esas limitaciones, plantas  $C_3$  de los bosques son capaces de cubrir mediante nichos ecológicos toda la superficie y aprovechar la energía solar, incluso en forma más eficiente que las  $C_4$ , aunque ello solo es posible en un bosque natural. La eficiencia para absorber la radiación solar de un bosque creado por el hombre es inferior a la de un bosque natural donde existe variedad de especies de planta que ocupa cada una su nicho ecológico, también la biodiversidad es superior en ese caso (Figura 5).



Figura 5. Izquierda, reforestación con pino (Cuba); centro, vegetación natural (Malasia) y derecha, vegetación natural (México).

Uno de los mayores retos para alcanzar la sostenibilidad de la agricultura es lograr que esta se adapte al cambio climático y contribuya a su mitigación. El agua es un recurso determinante para ese propósito, por lo que se recomienda orientar los esfuerzos hacia la adaptación de la agricultura al cambio climático, mediante la gestión integral y el uso racional de los recursos hídricos con base en sólidos principios científicos y con respeto al ordenamiento jurídico de los países, la tradición y la cultura de las naciones, las comunidades y los pueblos indígenas (Beekman, 2015).

Para el año 2030, la mitad de todos los alimentos producidos y dos tercios de todo el grano cosechado provendrán de la agricultura de regadío. El logro de estos desafíos requerirá una nueva forma de pensar en la agricultura de regadío, nuevos recursos organizativos, institucionales, humanos e innovaciones tecnológicas asociadas (Beekman, 2015).

## Capítulo III.

### El riego

Reinaldo Pérez Armas

#### 3.1. Disponibilidad del agua

El agua es un factor esencial para todos los seres vivos y en particular para la agricultura, tanto para los cultivos como para el ganado, pero es un recurso escaso. Su uso eficiente y responsable en la agricultura es imprescindible para asegurar el buen estado de ríos, acuíferos y humedales, más aún cuando en el futuro se prevé una menor disponibilidad de recursos hídricos y una distribución irregular en el tiempo, por efectos del cambio climático, y un aumento de la demanda de agua por parte de otros sectores

El regadío es el principal consumidor de agua en el mundo. En algunas regiones, el regadío supone más del 80 % de los usos totales de agua, jugando un papel fundamental para garantizar la producción de alimentos. En estas condiciones, y sobre todo en las regiones con escasez de agua, situación que desafortunadamente es cada vez más frecuente y extendida, la sostenibilidad del regadío obliga a encontrar soluciones tecnológicas en el diseño, manejo y gestión de los sistemas de riego que permitan maximizar la productividad por unidad de volumen de agua consumida (Martínez, et al., 2010)

Los expertos del Grupo Intergubernamental del Cambio Climático, pronostican a escala mundial, que la incertidumbre y el riesgo de las aguas de riego, crecerán a escala mundial, con la agudización del cambio climático.

También por causas antropogénicas cuando a pesar de este conocimiento, se consume la misma cantidad de agua, para producir un litro de biocombustible, que para producir comida para una persona durante un día. (2,500 litros de agua, cerca de 820 litros de agua de irrigación). (Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2012)

Por ello, no sorprende que a pesar de que mundo posee recursos para alimentar a toda su población, 852 millones de personas, padecen hambre en países en desarrollo, la desnutrición es la causa del 53% de las muertes ocurridas en niños menores de 5 años y cerca del 13% de la población mundial carece de acceso a una alimentación suficiente para vivir una vida sana y

productiva (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013).

Con estos argumentos, ¿podrá alguien tener dudas de la interconexión de las crisis alimentaria, ambiental, económica y financiera que vive el Mundo en nuestros días y de la incertidumbre y riesgo que corren las aguas para riego?

La disponibilidad relativa de los recursos hídricos y la presión humana sobre los mismos son elementos claves que permiten evaluar la sostenibilidad del uso del agua y aunque la disponibilidad es modificable por condiciones políticas y económicas, no hay duda, de que este concepto, es más importante que el de recursos hídricos.

- Indicador clásico de disponibilidad (IcD)

Se refiere principalmente a la riqueza del recurso agua de un país, en el contexto de sus precipitaciones y condiciones climáticas; puede variar en tiempo y en espacio y es necesario compararlo con las demandas para que refleje realmente abundancia o escasez relativa del recurso para la economía, sociedad y la protección del medio ambiente. De acuerdo los estudios realizados, este índice puede subordinarse a los criterios la tabla 1.

Categoría	Disponibilidad per cápita por año (IcD)
Muy bajo	1000 m <sup>3</sup> o menos
Bajo	Entre 1000 m <sup>3</sup> y 5000 m <sup>3</sup>
Medio	Entre 5000 m <sup>3</sup> y 10 000 m <sup>3</sup>
Alto	10 000 m <sup>3</sup> o mas

Tabla 1. Índice de disponibilidad de agua según el per cápita anual

Fuente: *World Resources Institute* (1986).

Fuente: García & Cantero (2008).

- Indicador de estrés hídrico (IEH)

Se define como el cociente resultante entre el volumen de agua empleado para la economía, sociedad y la protección del medio ambiente, respecto a los recursos renovables totales (World Water Council, citado por García & Cantero, 2008). Este indicador ofrece una idea del balance entre el uso y los recursos de agua. Está orientado a estimular el incremento de los volúmenes de agua usados para satisfacer las necesidades. Valores por encima del 40 % se estiman como de Alto Estrés hídrico.

Los indicadores, IcD y IEH, son útiles para la toma de decisiones, pero para

conocer las verdaderas necesidades de la población, de acuerdo a sus hábitos de consumo, Hoestra & Chapagain (2007) citados por García & Cantero (2008), proponen los indicadores huella hídrica (HH) y agua virtual, muy relacionados entre ellos.

- Indicadores huella hídrica (HH) y agua virtual.

La HH es el volumen de agua utilizado directa o indirectamente para la elaboración de productos, y la prestación de servicios consumidos por los habitantes de un país. (industria o persona); incluye el agua procedente del país o fuera de éste. Por agua virtual se entiende el volumen de agua necesario para elaborar un producto o facilitar un servicio, expresada en m<sup>3</sup> por tonelada u otra unidad equivalente.

Índice de escasez de agua Es un índice relativo del consumo de agua de un país, a partir de la disponibilidad de fuentes nacionales. Se obtiene por aplicando la relación siguiente:

$$EA = \frac{HH}{RRA} * 100 \quad EA = \frac{HH}{RRA} * 100 (\%)$$

Donde:

EA= Escasez de agua

HH = Huella hídrica

RRA= Recursos renovables de agua

### 3.2. El agua y el suelo

El suelo es un entramado de partículas minerales que no forman una masa compacta, sino que entre ellas existe una intrincada red de poros y canales por los que circula el aire y el agua (Figura 6).

- El tamaño de los poros condiciona los intercambios hídricos, gaseosos y la accesibilidad de las raíces y organismos edáficos a estos recursos. Por ejemplo:
- Los poros mayores de 30 micras son incapaces de retener el agua de forma prolongada, siendo los responsables del drenaje rápido y la aireación tras un episodio de saturación.

- Los poros entre 0.2 y 0.3 micras son capaces de retener el agua durante cierto tiempo y de cederlo a las raíces, por lo que determinan la capacidad de un suelo para almacenar el agua disponible para las plantas.
- El agua contenida en poros menores de 0.2 micras queda fuera del alcance de las raíces y de la mayor parte de los organismos vivos.



Figura 6. Partículas que conforman el suelo y red de poros donde se almacena el aire y el agua.

- Tipos de suelo y capacidad para almacenar agua

La capacidad de retener agua en el suelo dependerá de su textura (proporción de arena, limo y arcilla) y de su estructura (forma en la que las partículas del suelo se unen formando agregados y creando diferentes tipos de poros). Para la actividad agrícola el suelo ideal es el franco (30-50 % de arena; 30-50 % de limo y 20-30 % de arcilla). Este suelo es capaz de almacenar unos 300 litros de agua por metro de profundidad, aunque no toda esta agua está enteramente disponible para las plantas.

- Potencial del agua en el suelo

Cada gota de agua situada en un poro cualquiera del suelo está sometida a distintas fuerzas que determinarán su evolución. Sobre una gota de agua actuarían las siguientes fuerzas:

- La fuerza de gravedad: potencial gravitacional.
- La fuerza debida a la presencia de sales: potencial osmótico.
- La fuerza debida al peso de otras gotas de agua: potencial de presión.

- La fuerza debida a la interacción de las cargas eléctricas de las arcillas y sustancias húmicas con la polaridad de las moléculas de agua: potencial matricial.

A efectos prácticos la conclusión sería que para poder extraer agua del suelo es necesario contrarrestar todas estas fuerzas, debiéndose realizar una presión de succión cuyo valor habría de igualar el balance de todas las fuerzas enumeradas anteriormente, por simplicidad se denomina potencial hídrico del suelo o tensión de humedad. El potencial hídrico, y por tanto el esfuerzo que deben realizar las plantas para extraer agua del suelo, no es lineal, sino que aumenta a medida que el contenido de agua de los poros va disminuyendo (Figura 7). Esto significa que para minimizar el gasto energético de las plantas en la absorción de agua, maximizando por tanto la producción, lo ideal sería planificar el riego para que el contenido de agua del suelo se mantuviera siempre en valores altos, pero sin saturarlo, o sea mantenerla entre los límites de humedad óptima.



Figura 7. Capacidad para almacenar agua de diferentes tipos de suelo.

### 3.3. Estados del agua en el suelo

Del volumen total de agua que puede almacenar un suelo, no todo está disponible para las plantas y, del que está disponible, no todo se puede absorber con igual facilidad. Tal y como se muestra en la Figura 8, se definen los siguientes conceptos:

- Capacidad de campo: es el volumen de agua que un suelo puede retener después de saturarlo (encharcarlo) y dejarlo drenar (escurrir) libremente los excesos. También se define como el máximo volumen de agua que puede retener un suelo

La capacidad de campo viene a reflejar el agua que el suelo almacena en los poros y canales pequeños, después de que los más grandes se hayan

llenado de aire.

Cuando un suelo está a capacidad de campo la presión necesaria para comenzar a extraer el agua retenida es baja, de menos de 0,3 atmósferas.

- Punto de marchitez permanente: es el contenido de agua de un suelo a partir del cual las plantas no pueden extraer más y, por tanto, se marchitan y mueren. En este punto la presión necesaria para extraer el agua que todavía contiene el suelo es de 15 atmósferas.

Entre la capacidad de campo y el punto permanente de marchitez se encuentra el Límite productivo el cual representa el volumen de humedad ante el cual aún las plantas reaccionan con elevada productividad al poder absorber el agua con facilidad

De forma general, el punto de marchitez es igual al 56 % de la capacidad de campo, mientras el límite productivo representa entre el 70 y el 80 % de la capacidad de campo.

El contenido de agua de un suelo puede expresarse de diversas formas, habitualmente se utiliza el porcentaje respecto al peso o al volumen, pero a efectos prácticos quizás lo más intuitivo sea asimilar el porcentaje volumétrico a litros/m<sup>2</sup> y metro de profundidad del suelo (mm/m ó cm/m).

A la vista de lo anterior es importante señalar que la capacidad de retención de agua de un suelo es limitada y cuando se supera se dan fenómenos de escorrentía (circulación en superficie del agua sobrante) o percolación (pérdida del agua sobrante hacia horizontes profundos del suelo). A la hora de programar el riego hay que conocer la velocidad con la que el agua se infiltra en el terreno, para evitar fenómenos de escorrentía, encharcamientos y los demás efectos asociados a este problema. De acuerdo al contenido de humedad presente en el suelo y su capacidad de retención podemos clasificar el agua en:

*Agua útil para las plantas:* diferencia entre capacidad de campo y el punto de marchitez. Esta a su vez se divide en dos grupos

*Agua fácilmente utilizable por las plantas:* parte del agua útil que las plantas pueden absorber con poco esfuerzo (0,5-1 atmósferas) y por tanto sin merma de su capacidad productiva. El agua fácilmente utilizable depende de cada especie de planta, pero se considera, de forma orientativa, que para los

cultivos menos sensibles a la sequía el agua fácilmente utilizable es el 50 % del agua útil y para los más sensibles entre 25-30%. este contenido de agua se encuentra entre la capacidad de campo y el límite productivo del suelo (Figura 8).

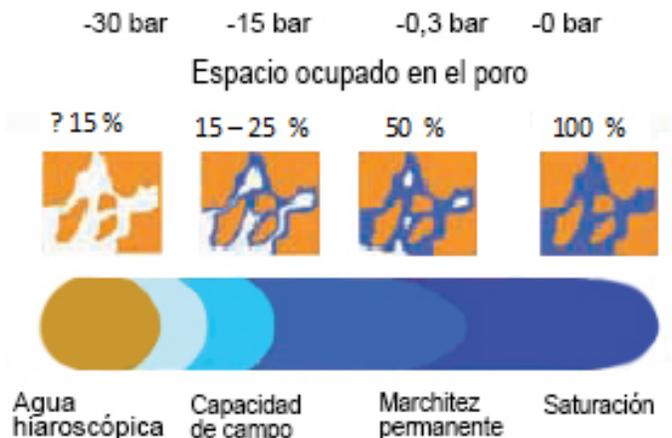


Figura 8. Estados del agua en el suelo y capacidad de retención.

- Agua difícilmente utilizable. que es aquella que se encuentra retenida con mayor fuerza y requiere entre 1 y 15 atmósferas para ser absorbida por la planta, en la medida que disminuye el contenido de humedad se incrementa la tensión con que es retenida y se hace más difícil su utilización hasta que llega al coeficiente o punto permanente de marchitez
- Agua no utilizable. en esta categoría se encuentra el agua que está por debajo del coeficiente de marchitez y por tanto no puede ser utilizada por la planta dada la fuerza con que es retenida

De esta clasificación es posible inferir que la actividad del riego debe garantizar mantener la humedad del suelo en el rango del agua fácilmente utilizable cuando la lluvia no es capaz de lograrlo.

### 3.4. El agua y las plantas

Como todos los seres vivos, los vegetales pueden sobrevivir y desarrollarse en presencia de agua. Las plantas necesitan un constante flujo de agua, el que es indispensable para funciones como el de transporte de sustancias, sostén de los tejidos, intercambio gaseoso para la fotosíntesis y respiración o refrigeración.

- Capacidad de las plantas para extraer agua del suelo

En las plantas, el órgano responsable de la captación del agua es el sistema radicular. De sus características morfológicas y distribución a lo largo del perfil del suelo depende en primera instancia la localización física del agua. En el ámbito agrícola, es conocida la capacidad de enraizamiento profundo de muchos cultivos, capacidad que contrasta con la de otros cultivos de enraizamiento superficial. Ahora bien, el hecho de que en ausencia de restricciones físicas las raíces alcancen grandes profundidades no es garantía de un óptimo suministro hídrico.

Las plantas no extraen uniformemente el agua y nutrientes, del suelo; por el contrario, centran su actividad en las capas más superficiales (Figura 9) para continuar con las más profundas a medida que las primeras se van agotando. Conocer estas particularidades agronómicas de cada cultivo es un elemento imprescindible tanto para el manejo del agua a través del riego como para la atención a la preparación del suelo y a las labores agrotécnicas



Figura 9. Hábito de enraizamiento de algunos cultivos y sus posibilidades de utilización de aguas más profundas en el suelo.

En términos energéticos, la extracción de recursos de capas profundas es más costosa que la de capas superficiales, hecho que debe tenerse en cuenta en el manejo del riego. Siempre que sea posible, será más favorable para los cultivos mantener alto el nivel de humedad del horizonte superficial, con independencia de que en profundidad exista humedad suficiente para actuar como reserva en caso del agotamiento imprevisto de los niveles superficiales del primer cuarto de la profundidad total se extrae el 40 % del total del agua

(Figura 10).



Figura 10. Extracción selectiva de agua en función de la profundidad del suelo.

#### - Evapotranspiración

Para lograr un uso eficiente del agua de riego, el dato básico que debe conocerse es el consumo de agua del cultivo en cuestión para un período de tiempo determinado, o sea las necesidades hídricas. Intentando cuantificar este consumo se define el término evapotranspiración.

La evapotranspiración de un cultivo se define como *“la pérdida total de agua de una cubierta vegetal en forma de vapor a través de la evaporación y transpiración durante un intervalo de tiempo dado”*. (Montero, 2005)

Se emplea también el término evapotranspiración potencial (ETP), que sería la evapotranspiración del cultivo siempre que el agua disponible en el suelo no actuase como factor limitante, y vendría a representar el valor máximo de evapotranspiración bajo unas condiciones ambientales concretas.

La cantidad de agua que evapotranspira un cultivo depende de varios factores, sin embargo, se puede decir que el flujo de agua del suelo a la atmósfera depende de la demanda, que por una parte establecen los factores atmosféricos, como son la radiación solar, la temperatura del aire, su contenido de vapor de agua y la velocidad del viento, y por otra, de la oferta de agua que depende del contenido de humedad en el suelo, de sus características físicas y de las características morfológicas y fisiológicas de las plantas. (Figura 11).

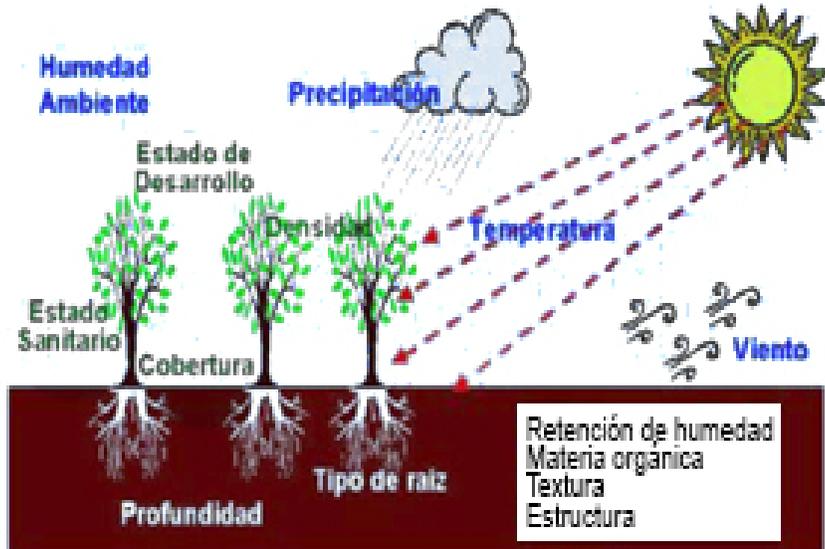


Figura 11. Factores que influyen en la Evapotranspiración.

Al igual que la precipitación, la evapotranspiración se mide en litros por metro cuadrado o milímetros. Las necesidades o consumo de agua de los cultivos se refieren a una base temporal, tal como milímetros por día o semana.

Es conveniente señalar que cuando la velocidad de salida del agua por las hojas supera a la de entrada por la raíz, la planta toma agua de sus tejidos y empieza a mostrar signos de marchitamiento, el cual puede ser irreversible si continua este desbalance; sin embargo, como defensa a esta situación adversa, reduce la apertura estomatal, con lo cual se reduce la velocidad de salida del líquido. Cuando sucede esta situación, se dice que la planta sufre de un déficit de humedad, porque la demanda de agua supera al abastecimiento.

La evapotranspiración depende de muchos factores en su mayoría determinantes del desarrollo vegetativo de las plantas y del consumo del agua, ellos son:

clima: temperatura, precipitación, vientos, calor aprovechable, humedad ambiente, etc.

suelo: estructura, textura, fertilidad, salinidad, capacidad de retención de agua, profundidad, nivel freática.

cultivo: especie, variedad, ciclo vegetativo, faz de desarrollo, fisiología, etc.

agua: disponibilidad, calidad, práctica de riego, eficiencia de aplicación, etc.

- La evapotranspiración y el ciclo de desarrollo de los cultivos.

Desde la nacencia hasta la cosecha, cualquier cultivo anual pasa por una serie de etapas (inicial, desarrollo, media y final) que quedan caracterizadas por la velocidad de crecimiento o la acumulación de materia seca (Figura 12). A cada una de estas etapas le corresponde una demanda creciente de agua, directamente correlacionada con el aumento de su superficie foliar y por tanto con su capacidad fotosintética

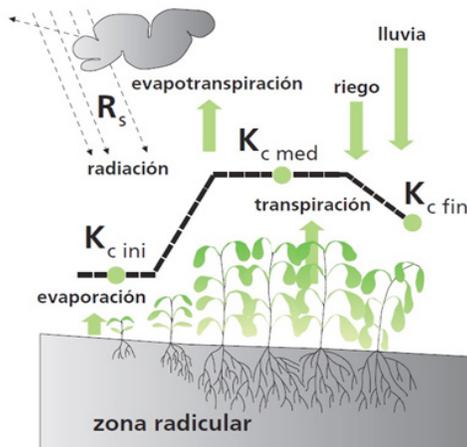


Figura 12. Comportamiento de la Evapotranspiración en el ciclo vegetativo de la planta.

- Determinación de la evapotranspiración. Métodos indirectos:

Obtener por medición directa el dato de evapotranspiración para cada día del año, de cada cultivo y en cada zona se antoja misión imposible, por lo que, por simplicidad, estos valores se han relacionado de forma empírica con mediciones más sencillas.

Mediante diversas fórmulas matemáticas se calcula la Evapotranspiración de referencia ( $ETo$ ), entendida como la pérdida de agua de un suelo cubierto

por una pradera extensa de gramíneas en crecimiento activo, sombreando totalmente el suelo, segada a una altura de 8 a 15 cm y con un suministro de agua constante.

Para relacionar la  $ET_o$  con la evapotranspiración real (Etc.) de nuestro cultivo (dato que realmente nos interesa) se emplean los llamados coeficientes de cultivo ( $K_c$ ), de tal forma que se cumple:

$$ET_c = ET_o \cdot K_c$$

Etc.: evapotranspiración del cultivo,

$K_c$ : coeficiente del cultivo

$ET_o$ : evapotranspiración de referencia.

El coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) tiene valores diferentes de acuerdo al tipo de cultivo y dentro de de acuerdo con la fase de desarrollo (Figura 13).

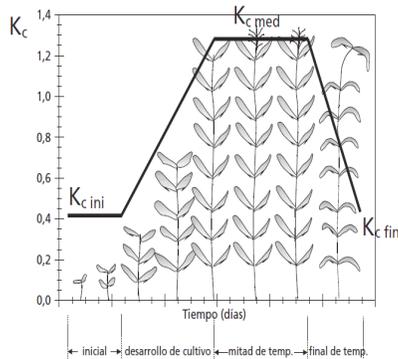


Figura 13. Comportamiento del coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) por fases de desarrollo.

### 3.5. Las necesidades hídricas en la programación de riego

Programación del riego, se define generalmente como, la determinación del cronograma y las cantidades de agua a suministrar, o como la definición de ciclos de riego (Cisneros, 2009). En otras palabras es conocer el momento oportuno para regar y la cantidad de agua que se debe aplicar en cada riego.

Aunque es una tarea bastante compleja por el entramado de factores que en el influyen, su determinación se ha simplificado con el uso de las tecnologías.

Se cuenta con programas informáticos que con rapidez determinan cuándo regar, cuánto regar y de ser preciso hacer ajustes ante la ocurrencia inesperada de una lluvia.

Según Faci (2012), una vez que se conoce las necesidades de riego del cultivo se pasa a programar los riegos, estableciendo las dosis e intervalos de riego, además plantea que el principio fundamental de una buena programación es que durante todo el ciclo del cultivo las necesidades hídricas del mismo deben estar cubiertas por el riego y lluvia sin que se produzca déficit hídrico. También plantea que en principio la programación utiliza los valores de la Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) la cual se calcula a partir de variables meteorológicas (temperatura, humedad, viento y radiación solar) con el método de Penman–Monteith. Pero que a veces se utilizan sondas para el control de la humedad del suelo, las cuales brindan un importante apoyo.

La programación del riego se basa en el balance hídrico que toma en cuenta el suelo, los cultivos y el clima, porque los cultivos demandan diferentes cantidades de agua, dependiendo de las condiciones climáticas y de su desarrollo. Esto indica que la extracción de agua que realizan las plantas varía durante la estación de crecimiento. Por otra parte, el suelo es el agente almacenador o reservorio del agua disponible para ser extraída por los cultivos, y esta capacidad de almacenamiento es variable, dependiendo principalmente de la textura. El clima juega también un rol fundamental al condicionar la demanda de agua del cultivo o tasa de evapotranspiración. Como consecuencia de lo anterior, conociendo la cantidad de agua que puede almacenar ese suelo, y por otro lado, la cantidad de agua que ese cultivo extrae, por medio de datos climáticos principalmente, es posible conocer con qué frecuencia se debe regar. Se infiere además, que un cultivo no tiene una frecuencia de riego fija; esta variará con el tipo de suelo, la zona donde se desarrolla y con la etapa fenológica es que se encuentre.

Según lo anteriormente expuesto, la capacidad de retención de agua por unidad de volumen de suelo o humedad aprovechable, es uno de los factores más importantes en la programación de riego. Esta humedad aprovechable o disponible depende de características intrínsecas de suelo como: textura, estructura, pedregosidad, entre otras.

Por otra parte hay que tener en cuenta que para poder realizar una efectiva programación de riego, es necesario estimar la evapotranspiración o como

bien se conoce necesidades hídricas (Martin, 2010).

Un estudio realizado al cultivo de la caña en el período comprendido de enero del 2012 a marzo del 2013 en fase de retoño y con la utilización del programa CROPWAT, aportó que los requerimientos hídricos para las condiciones de suelo, clima y de desarrollo del cultivo y de estos los que debían ser cubiertos por el riego (Tabla 3).

Tabla 3. Determinación de las necesidades hídricas y de riego para el cultivo de la caña empleando el software CROPWAT.

Decena	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>c</sub>	Requerimientos de agua (mm)	Lluvias (mm)	Lluvias aprovechadas (mm)	Necesidades de riego (mm)
30/1	26.18	1.25	32.73	6.47	6.47	26.25
9/2	28.67	1.22	35.00	8.23	8.23	26.77
19/2	31.24	1.17	36.48	10.92	10.92	25.57
1/3	33.82	1.12	37.72	14.47	13.87	23.86
11/3	36.36	1.06	38.64	18.77	16.50	22.14
21/3	38.79	1.01	39.19	23.68	19.46	19.73
31/3	41.06	0.96	39.33	29.05	22.66	16.66
10/4	43.13	0.91	39.03	34.69	26.02	13.02
20/4	44.93	0.85	38.30	40.45	29.42	8.89
30/4	46.44	0.80	37.15	46.13	32.76	4.38
10/5	23.69	0.76	18.01	25.12	17.59	0.42

Esto permitió comparar las necesidades del cultivo en su período crítico con el régimen de explotación del sistema partiendo del comportamiento histórico de las variables climáticas, que según el método de Penman-Montieth, mejor determinan el valor de la evapotranspiración de referencia.

#### - Estrés hídrico

Se puede definir como estrés hídrico a aquella situación de suministro de agua a partir de la cual el cultivo comienza a experimentar mermas en su rendimiento final. Para la mayoría de las especies cultivadas esto acontece mucho antes de que sean observables a simple vista síntomas de carencia de agua (pérdida de turgencia de las hojas, marchitamiento, secado de partes viejas, etc.). Tomando como referencia la Figura 13, de forma general se podrían establecer las siguientes categorías conforme al nivel de suministro hídrico para las plantas:

- Saturación: superada la capacidad de campo, si no hay restricciones físicas el agua drenará en pocas horas.

La prolongación en el tiempo del suelo saturado es igualmente indeseable al impedir el correcto funcionamiento del sistema radicular (Figura 14).

Óptimo: el contenido de humedad del suelo se sitúa entre el 75% del agua útil y la capacidad de campo. Las plantas extraen agua con un mínimo gasto energético

- Ligeró estrés: el contenido de humedad del suelo se sitúa entre el 50 y el 75% del agua útil. El ritmo de extracción de agua del suelo disminuye debido a que las plantas necesitan efectuar un mayor gasto energético
- Estrés: el contenido de humedad del suelo se sitúa por debajo del 50% del agua útil. Las plantas ponen en marcha los mecanismos que les permiten reducir el consumo de agua.



Figura 14. Niveles de suministro hídrico para las plantas.

Experimentalmente se han elaborado cuadros donde se recoge para cada cultivo la fracción de agotamiento del agua útil que define su nivel de agua fácilmente utilizable. Por ejemplo mientras que para una alfalfa se puede permitir agotar el suelo hasta el nivel del 60 % de su agua útil, para la cebolla lo ideal sería no bajar del 30 % del agua útil.

El estrés hídrico comienza cuando en el perfil explorado por las raíces, se agota el agua fácilmente disponible.

- Una alternativa ante la escasez de agua: riego deficitario controlado

La respuesta directa de cualquier cultivo a la falta de agua puede ser una disminución de su rendimiento o, incluso, una peor calidad de la cosecha. Ahora bien, dependiendo de en qué etapa del desarrollo del cultivo se produzca el estrés hídrico los resultados serán distintos.

Conocer estas etapas de máxima sensibilidad a la hora de planificar el riego es vital para dar un uso óptimo y racional al recurso agua consiguiendo la mejor respuesta del cultivo.

El conocimiento de las etapas de máxima sensibilidad a la falta de agua del cultivo puede permitir, en un escenario en el que la disponibilidad de agua de regadío es cada vez más limitada, poner en marcha *Estrategias de Riego Deficitario Controlado*. Empleando el agua disponible en las etapas de máxima sensibilidad al estrés hídrico del cultivo lograremos obtener cosecha en cantidad y calidad suficiente para cubrir los objetivos productivos, sin poner en peligro la viabilidad de la explotación.

### 3.6. Sistemas de riego. Conceptos previos

El objetivo de los sistemas de riego es poner a disposición de los cultivos el agua necesaria para que cubran sus necesidades, complementando la recibida en forma de precipitaciones naturales. Cuando se distribuye agua por una parcela de cultivo, existen dificultades que ocasionan pérdidas e impiden que el agua se reparta de forma homogénea. Es importante solventar estas dificultades, pero lo es aún mayor cuando el agua es un recurso de escasez creciente. Para juzgar la calidad de un sistema o instalación de riego se emplean algunos conceptos que es necesario conocer.

#### - Uniformidad de aplicación

En el presente uno de los problemas más agudos que afectan a las áreas bajo riego en Cuba es la baja eficiencia en la operación de los sistemas de riego, por tal razón, toda metodología o recomendación que tienda a la optimización en el aprovechamiento de los recursos hídricos y energéticos y a la preservación del medio ambiente, adquiere un valor considerable para las zonas bajo regadío (Cisneros, 2009).

La uniformidad de aplicación se refiere al hecho de que el agua distribuida llegue por igual a todos los puntos de la parcela regada. Una buena uniformidad garantiza que todas las plantas estén bien regadas, sin que unas

reciban agua en exceso y a otras les falte, asegurándose así el desarrollo homogéneo del cultivo y su máxima capacidad productiva.

La uniformidad de aplicación es una característica propia de cada instalación y parcela. Se puede estimar mediante mediciones en campo y se expresa mediante un porcentaje. Un coeficiente de uniformidad del 80 % indicaría que el 80 % de la parcela ha recibido la cantidad de agua deseada, mientras que el 20 % restante ha sido regado en más o menos cantidad.

Un estudio realizado a la pluviometría de siete máquinas de pivote central de la Empresa Agropecuaria Horquita (Figura 15), cuyos datos fueron procesado por el software pluviopivot, reflejó comportamientos diferentes del Coeficiente de Uniformidad que no tienen que ver con la tecnología y si con su manejo como es el uso de boquillas diferentes a las que se establecen en el catálogo de la máquina para cada tramo y la de aplicar el riego cuando la velocidad del viento supera los  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . en las máquinas donde se cumple los requerimientos establecidos se logra coeficientes cercanos al 90 %, lo que permite evaluar el riego como bueno según el criterio de Montero (2005).

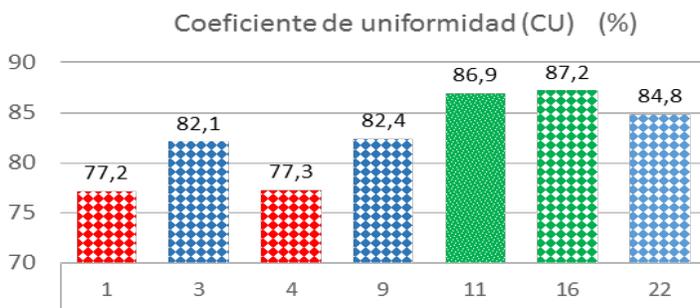


Figura 15. Coeficiente de uniformidad del riego en máquinas de pivote central de la Empresa Agropecuaria Horquita a partir del programa pluviopivot.

El análisis del comportamiento real de un sistema de riego permite:

- Identificar las deficiencias de diseño y de funcionamiento del sistema, y consecuentemente, las alternativas a realizar para corregir las condiciones de la explotación.

- Determinar los niveles de eficiencia del sistema referidos a la aplicación y uniformidad de distribución de agua, y su comparación con los niveles potenciales admitidos.
- La obtención de datos que conduzca a la mejora de la concepción de futuros sistemas semejantes.
- Hacer acopio de información en relación a la comparación de distintos métodos, sistemas de distribución y condiciones de operación en bases económicas, con el fin de determinar su validez.
- La evaluación de la normativa que rige el funcionamiento del sistema de riego, y la propuesta de las mejoras oportunas, en su caso.
- Eficiencia de aplicación

Del volumen total de agua destinada a riego que sale de un punto de suministro o fuente de abastecimiento, como por ejemplo un embalse o una corriente, no todo va a ser aprovechado por las plantas, sino que por diversas causas una parte no llegará a su destino. La relación entre estas dos cantidades de agua (la que sale del punto de suministro y la que realmente aprovechan las plantas) es lo que se denomina eficiencia de aplicación. Se expresa mediante un porcentaje. Una eficiencia del 75 % indica que del total del agua bombeada sólo el 75 % la tomarán las plantas y el 25 % restante tendrá destinos diferentes (Figura 16).

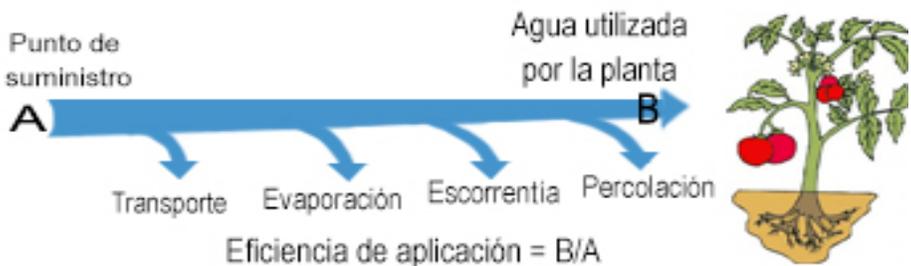


Figura 16. Pérdidas en la distribución del agua de riego desde la fuente de abasto hasta el área.

En la aplicación del riego, las pérdidas ocurren en diferentes momentos, pudiendo clasificarse en los siguientes grupos:

- Pérdidas de transporte: son las que ocurren en las conducciones, desde la fuente de abasto o suministro hasta la parcela de riego. Aquí se incluyen

desde las fugas en tuberías y canales hasta la evaporación en el caso de las conducciones abiertas.

- Pérdidas de aplicación: engloba a todas las que tienen su origen en la instalación dentro de la parcela o campo de riego. Cabe mencionar tanto las fugas de tuberías como la evaporación que, bajo condiciones de viento y altas temperaturas, tiene lugar en el chorro de los emisores, en las hojas mojadas del cultivo o en la lámina superficial de agua.
- Pérdidas en el suelo: una vez en el suelo, el agua puede escurrir al superarse su capacidad de infiltración o al encontrarse saturado, e incluso escapar de la profundidad de acción de las raíces percolando a capas profundas.

Al igual que ocurre con la uniformidad, la eficiencia de aplicación es una característica propia de cada instalación. En la eficiencia influye el sistema de riego, el diseño de la instalación, su mantenimiento y su manejo. Por término general la eficiencia teórica del riego por goteo es de 85-95 %, la de las máquinas de pivote central va del 80 al 90 %, en aspersión oscila entre 65-85 % mientras que el riego por gravedad o superficial presenta eficiencias de entre el 30 al 70 %.

Una vez conocida la necesidad real de agua de nuestro cultivo, habrá que tener en cuenta la eficiencia del sistema de riego empleado, para asegurar que llega a la planta la cantidad de agua deseada. Cada modelo de aspersor viene caracterizado por unos datos técnicos que reflejan sus condiciones de trabajo ideales: presión nominal de trabajo (atmósferas), caudal de las boquillas (litros por hora), diámetro mojado (metros) y precipitación que producen (litros por metro cuadrado y hora). Conocerlos es imprescindible para saber si se adecuan tanto a las características de una instalación como a las necesidades de riego de un cultivo.

#### - Sistemas de riego

Los sistemas de riego pueden clasificarse en tres grandes categorías de acuerdo a la forma o principio general de la aplicación del agua (Pacheco, 2008):

- Riego por gravedad o superficial: la energía que distribuye el agua por la parcela es la derivada de su propio peso, al circular libremente por el terreno a favor de pendiente.

Con este método de riego se suele mojar la totalidad del terreno y requiere

el reparto del agua mediante modificaciones físicas del terreno como surcos, bandas, terrazas, estas dos últimas limitadas por diques para controlar la distribución del agua.

- Riego por aspersión: el agua es conducida a presión. Al llegar a los emisores (aspersores) produce gotas que mojan todo el terreno de forma similar a como lo haría la lluvia.
- Riego localizado: se moja sólo la parte del suelo próxima a las plantas. El agua a baja presión llega mediante tuberías hasta las plantas.

Aunque en el riego por gravedad se pueden conseguir buenas eficiencias de aplicación (mediante un diseño adecuado, nivelación de la parcela y buen manejo) sus altos requerimientos en mano de obra, agua y superficie por la construcción de canales y caminos hacen que vaya desapareciendo en favor de la aspersión y el localizado.

Estos dos sistemas de riego merecen comentarios adicionales.

- Riego por aspersión

El elemento clave en este sistema de riego es el aspersor. Existe una gran variedad de aspersores; los más empleados son los denominados de impacto, doble boquilla y media presión

La combinación entre tipo de boquilla y presión es lo que determina el tamaño de las gotas. No son deseables las gotas demasiado grandes ni demasiado pequeñas. Las grandes tienden a compactar el terreno o producir daños en las hojas, mientras que las pequeñas ocasionan una mala uniformidad y eficiencia, al ser muy sensibles al viento y vaporizarse con rapidez.

Este método ofrece grandes ventajas respecto al superficial y se le atribuye como principal desventaja el efecto negativo del viento sobre su uniformidad, sobretodo cuando sobrepasa los  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , lo cual puede resolverse si se realiza la aplicación en horario nocturno.

- Riego localizado

Su objetivo es realizar pequeñas aportaciones de agua, de manera continua y frecuente, en un lugar próximo a la planta, humedeciendo sólo parte del volumen del suelo.

Aunque existen diversos sistemas de riego localizado (cintas de exudación,

goteo, microaspersión), el ejemplo más típico es el conocido como riego por goteo. En el riego por goteo el agua se distribuye por tuberías de polietileno a baja presión, en las que a intervalos regulares están colocados los emisores, denominados goteros, responsables de regular la salida del agua. Existen goteros tipo vortex, helicoidales, de laberinto, autocompensantes, etc. (Figura 17).

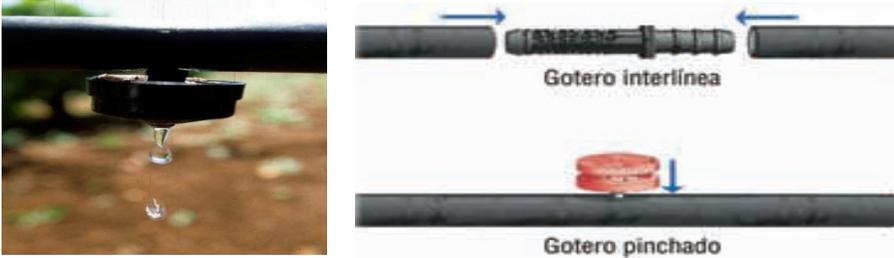


Figura 17. Algunos tipos de goteros empleados en el riego.

Cada gotero está caracterizado por su caudal nominal (expresado en litros por hora) y su rango de presiones de trabajo. Excepto para los goteros auto-compensantes, que permiten cierta variabilidad, a cada presión de trabajo le corresponde un caudal. Por eso, para poder planificar los riegos y manejar de forma adecuada una instalación es imprescindible conocer y respetar estos valores.

Desde el punto de vista hídrico, las principales ventajas del riego localizado son:

- Posibilitar el control total sobre el suministro de agua de riego a las plantas. Esto permite provocar estrés o garantizar una humedad óptima en los momentos del ciclo del cultivo que se desee.
- Ahorrar agua respecto a otros sistemas de riego. El posible ahorro deriva de dos aspectos, el primero es la eliminación de pérdidas durante el transporte del agua, al llegar ésta mediante tuberías hasta la propia planta, y el segundo es la reducción de la evaporación directa del suelo al mojarse sólo una parte del terreno.
- Las instalaciones de riego por goteo bien diseñadas permiten lograr las mayores uniformidades y eficiencias de riego. Sin duda alguna, hoy en día

el riego por goteo es considerado como el mejor sistema para regar cultivos leñosos y para cultivos hortícolas de alto valor.

- Permite utilizar fuentes de abasto de pequeño caudal, lo que le permite aprovechar riachuelos, reservorios, cisternas, etc.
- Las instalaciones de riego localizado permiten aportar fertilizantes y otros productos fitosanitarios (insecticidas, fungicidas, etc.). En este caso es el agua la que se encarga de hacer llegar los fertilizantes hasta las raíces de la planta, bien de forma continuada o intermitente.

Para que esta técnica sea eficaz (Fertirriego) es indispensable disponer de un sistema de riego bien diseñado y con buenos materiales con objeto de aplicar el agua con alta uniformidad. Esto permitirá suministrar la misma dosis de abono en todos los puntos, cubriendo así sus necesidades, evitando pérdidas innecesarias y reduciendo los efectos medioambientales negativos (Institute for Integrated Rural Development, 2005).

### 3.7. Buenas prácticas de riego

Se entiende por buena práctica de riego un manejo tal del recurso que permite la perpetuidad del agua en el tiempo, en suficiente cantidad y calidad. A la hora de regar necesitaremos seguir un proceso lógico de toma de decisiones, asegurando que se aplica una cantidad de agua lo más ajustada posible para cubrir las necesidades del cultivo. Este proceso consta de tres fases fundamentales:

1. Conocer el ciclo de desarrollo del cultivo en cuestión y la sensibilidad al estrés hídrico en cada una de sus etapas.
2. Calcular las necesidades hídricas del cultivo mediante la metodología más exacta disponible.
3. Establecer las pautas de aplicación de los aportes de agua de riego.

Además, es necesario manejar otros conceptos, observar otros elementos que componen un conjunto de buenas prácticas que deben ser aplicadas para tener el éxito esperado, a las que hacemos una aproximación.

- Uso legal del agua

La finca agrícola deberá contar con el correspondiente permiso, derecho o concesión de aguas emitida por la Administración Competente. Dicho docu-

mento debe especificar la finca o predio, superficie de la misma, cantidad de agua que puede ser usada por año, período de tiempo para el cual el permiso es válido y el origen de las aguas (subterráneas o superficiales)

- Conocimiento de las características del agua de riego

El agricultor o técnico deberá realizar, al menos una vez al año, un análisis de la calidad del agua de riego. Ese análisis se tomará de todas las extracciones existentes en la finca (pozo, embalse, río...). El análisis será realizado y aportará datos de pH, contenido en sales, cloruros y nitratos, además de información sobre la calidad bacteriológica del agua y demostrar que no existen residuos contaminantes, como por ejemplo metales pesados.

- Conocimiento de las características físicas del suelo

El agricultor o técnico deberá conocer las características físicas del suelo (capacidad de campo, punto de marchitez permanente, agua útil y agua fácilmente utilizable), además de la velocidad de infiltración del agua en el terreno, pendiente media.

Estos datos se podrán obtener mediante análisis en laboratorios, ejecución de calicatas y por la experiencia del técnico o el agricultor.

- Cálculo de las necesidades de agua de los cultivos

A la hora de regar el agricultor se enfrenta a una triple incógnita: cuándo, cómo y cuánto regar. Estos interrogantes se han resuelto tradicionalmente en base a la experiencia adquirida. Teniendo en cuenta que el agua es un recurso cada vez más valioso y con el que hay que procurar la máxima eficiencia de empleo, no es válido que decisiones tan importantes se tomen intuitivamente. Máxime cuando existen metodologías contrastadas para la toma de decisión de riego.

- Mantenimiento y reparación del sistema

Una práctica necesaria para conservar el estado técnico de los componentes del sistema de riego. Esta implica lavado de tuberías con agua a presión, reformar canales y obras, ajustes, aceitado en las partes que lo llevan, cambio de componentes dañados, etc. La periodicidad de cada trabajo depende de las características del sistema y de la calidad del agua. Un elemento importante en el mantenimiento es la atención a los componentes del fertirriego cuando este se aplica

## Sistema de Asesoramiento al Regante (SAR).

Los Sistemas de Asesoramiento al Regante (SAR) surgen en España en 1999; son sin duda una de las herramientas más interesantes para hacer del regadío una actividad sostenible, al tener como finalidad principal la mejora en la eficiencia en el uso y la gestión integral del agua de riego. Además de que aumentan las capacidades y la concienciación de los agricultores, disminuyendo los costos de producción y minimizando los impactos ambientales negativos del riego, contribuyendo así a la sostenibilidad de la agricultura de regadío.

En áreas donde el agua es escasa y cara es donde los SAR son más estrechamente seguidos por los agricultores y donde los resultados de la mejora de los regadíos son más significativas. Sin embargo existen limitaciones técnicas, sociales y económicas importantes que hay que superar para conseguir alcanzar los objetivos de un SAR.

Cuba que es un país con escasos recursos hídrico desarrolló en los años 80 y 90 del pasado ciclo una valiosa experiencia para la planificación del riego denominada Pronóstico de riego y para la cual se dispuso de equipamiento y capacitación suficientes. El citado pronóstico se basa en el análisis detallado del comportamiento de las variables climáticas como temperatura, lluvias, evaporación, entre otras, para conocer la cantidad de agua que diariamente egresaba del suelo y de esta cual no era cubierta por la lluvia para ser compensada con el riego.

En los primeros años del presente siglo se comienzan a establecer los primeros SAR en Cuba con experiencias en Empresas de Cultivos varios en Güines y Santa Clara

### Objetivos del SAR

- Responder a las demandas tecnológicas de los regantes ante la consolidación y mejora de los regadíos.
- Asesorar a los regantes sobre el manejo del riego en función de la tecnología existente, del sistema utilizado, del estado del cultivo y de los suelos.
- Crear y difundir una base de datos de necesidades de agua de los principales cultivos a nivel local y suministrar a los agricultores las bases para una programación óptima del riego.

- Mejorar el medio ambiente ligado a los regadíos y asegurar su adaptación a la normativa vigente.
- Apoyar la mejora en la gestión técnico-económica de las Comunidades de Regantes para favorecer el uso eficiente de los recursos agrarios, y principalmente del agua.

Estos objetivos deben alcanzarse actuando de modo integrado con el agricultor, haciéndole partícipe de las soluciones ofrecidas, suministrándole una información que le sea útil, y contribuyendo, en la medida de lo posible, a complementar su formación en aquellos temas que le sean necesarios, de modo que el agricultor disponga de las suficientes herramientas para tomar las decisión que le corresponde como empresario responsable de la gestión de su explotación.

Cabe destacar que este tipo de iniciativas contribuyen a preservar y mejorar el valor patrimonial de los recursos naturales, entre otros de los recursos hídricos, al Poner en marcha herramientas de gestión, de información, de educación y de sensibilización adecuadas para realizar un uso racional del agua en el regadío y atender la demanda creciente, tratando de no producir un freno en las actividades económicas, pero contemplando el regadío como una actividad sostenible.

Los SAR igualmente estimulan el fomento del intercambio de información y experiencias de buenas prácticas agrícolas que permitan disminuir, entre otros, la posible contaminación difusa de los regadíos por fertilizantes y otros agroquímicos, contribuyendo a la integración de políticas sectoriales, a reducir el exceso de explotación hidrológica, tanto por insuficiencia de recursos como por exceso de demanda y favorecen el acercamiento de los responsables de la gestión patrimonial y medioambiental (administraciones públicas, universidades, usuarios).

## Capítulo IV.

### Factores limitantes bióticos

Yhosvanni Pérez Rodríguez

Nelson Cristóbal Arzola Pina

#### 4.1. Plagas

Los seres vivos están rodeados de materia y energía que constituyen su ambiente y mediante los cuales satisfacen sus necesidades vitales, es por ello inevitable su estrecha relación con cuanto les rodea. Todo organismo vivo necesita incorporar energía del medio; incorporar diferentes materiales y eliminar los productos residuales.

Tal intercambio del organismo con el ambiente puede considerarse como una fisiología externa y tiene la misma importancia que el adecuado funcionamiento de los mecanismos fisiológicos internos.

La biota del suelo se mide en términos de masa microbiana total o se puede cuantificar al analizar la respiración total del suelo o por determinación de las poblaciones.

El estímulo del crecimiento del sistema radical se atribuye a sustancias estimulantes del crecimiento, movilización de nutrientes minerales, así como la fijación de nitrógeno atmosférico, etc. (*Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, etc).

Por otro lado, la acción del ambiente no está limitada al simple suministro de materia y energía a los seres vivos para satisfacer sus necesidades vitales. Es decir, los organismos vivos pueden recibir influencias desfavorables del medio circundante. Es la ecología la ciencia que estudia las relaciones anteriormente indicadas de los organismos vivos con su ambiente. Ahora bien, el grado de interés particular y sobretodo el nivel de detalle que se aplica en los estudios ecológicos, conducen a diferenciaciones en los mismos que van desde la consideración del organismo aislado, pasando por la asociación de varios individuos en una población, hasta llegar a las comunidades constituidas por poblaciones de diferentes especies.

Las únicas formas de vida existentes en determinados ambientes extremos

son exclusivamente procarióticas, seres vivos unicelulares, viviendo a pH muy ácidos o muy alcalinos, medrando en salmueras y salinas, reproduciéndose a temperaturas de más de 100°C y a grandes presiones. De subir la temperatura por encima de la óptima, se produce un descenso acusado de la tasa de crecimiento hasta alcanzar la temperatura máxima. Dicha temperatura refleja desnaturalización e inactivación de proteínas enzimáticas esenciales, colapsamiento de la membrana citoplásmica y a veces lisis térmica de la bacteria. Las únicas formas de vida capaces de vivir por encima de 65°C son todas procariotas.

Los termófilos presentan óptimos a 50-75°C y máximos entre 80 y 113°C. Dentro de esta categoría se suele distinguir las termófilas extremas (=hipertermófilas), pueden llegar a presentar óptimos cercanos a los 100°C, y que taxonómicamente pertenecen al dominio de las Archaea.

Ejemplos de medios permanentemente fríos son la mayor parte de las aguas oceánicas (cuya temperatura media es de unos 5°C, pero que en las profundidades alcanzan solo 1-2°C por encima de cero) y las áreas permanentemente heladas del Ártico y de la Antártica. En los medios helados existen pequeñas bolsas o microcavidades de agua líquida, donde pueden medrar algunos microorganismos. Un ejemplo no bacteriano característico es el alga de las nieves (*Chlamydomonas nivalis*), que llega a conferir color rojo a la nieve en algunas zonas de montaña a mitad de la estación estival.

El mundo bacteriano, como conjunto, exhibe una gigantesca versatilidad metabólica de uso de nutrientes: desde autótrofos que obtienen su carbono por reducción del CO<sub>2</sub> y los demás elementos a partir de fuentes igualmente inorgánicas, hasta heterótrofos capaces de usar amplia gama de fuentes orgánicas de carbono.

En general, se desconoce la magnitud de especies de microorganismos que habitan el planeta. Hasta el momento se conocen solo aquellos que afectan favorable o desfavorablemente la salud humana y la de los animales y las plantas; se estima un registro de 4.000 especies de virus, 4.000 de bacterias, 72.000 de hongos y 40.000 protozoarios. A pesar de estas cifras algunos autores se atreven a afirmar que se desconocen cerca del 99% de todos los microorganismos del planeta (Toro, 2004).

Muchos procesos que tienen que ver con la liberación o inmovilización de nu-

trientes dependen de la actividad de los microorganismos, de ahí, la necesidad de mantener las condiciones del suelo que propicien su desarrollo, para lo que es conveniente: mantener contenidos adecuados de materia orgánica, propiciar condiciones óptimas de humedad y aireación del suelo y evitar los efectos perjudiciales del fuego.

La ocurrencia de epidemias por enfermedades es más frecuentes en los cultivos que en la vegetación natural, lo que indica, que las epidemias son el resultado de alguna forma de interferencia humana con el *equilibrio de la naturaleza*. Las condiciones para la proliferación de los patógenos hasta alcanzar niveles epidémicos son especialmente favorecidas por el monocultivo. Las condiciones necesarias para el desarrollo a gran escala de una enfermedad perjudicial son las siguientes:

1. La raza virulenta del patógeno (hongo, bacteria o virus) debe estar presente en una baja frecuencia en el hospedero (cultivo).
2. El huésped (cultivo) que es susceptible a esta raza debe estar ampliamente distribuido en una región.
3. Las condiciones ambientales deben ser favorables para el desarrollo del patógeno.

Lutzenberger (1984), hace referencia a la teoría desarrollada por un biólogo francés llamado Francis Chaboussou que la nombró *trofobiosis*, según la cual, todos los organismos patógenos (hongos, bacterias, nematodos, insectos) carecen de enzimas para descomponer las proteínas en sus aminoácidos constituyentes y requieren de relativamente altos niveles de aminoácidos libres en la planta hospedera para sobrevivir. Esta condición se da cuando la descomposición de las proteínas predomina sobre su síntesis, entonces el hospedero contiene suficiente aminoácidos libres para que el patógeno se alimente de él y fabrique sus proteínas específicas. Las causas por las que puede acumularse un excesivo nivel de aminoácidos libres y es posible el ataque de un patógeno son:

Excesivas dosis de fertilizante nitrogenado, lo que se acentúa más en caso de insuficiencia de potasio.

*Baja conversión de aminoácidos libres a proteínas (síntesis proteica) debido a pobre nutrición (especialmente micronutrientes que activan enzimas), apli-*

*cación de pesticidas y carencia de agua.*

Esta teoría también explica por qué en una misma planta algunas hojas son atacadas y otras no. Las hojas viejas son atacadas porque la proteólisis toma lugar y la proteo síntesis casi cesa, mientras lo contrario ocurre en las hojas nuevas que se mantienen sanas.

Los fertilizantes nitrogenados sintéticos que comúnmente se utilizan son muy solubles y su empleo en altas dosis conlleva a una gran asimilación de nitrógeno por la planta en breve tiempo, se forma gran cantidad de aminoácidos que no pueden ser transformados en proteína y se crean así las condiciones para el ataque del patógeno.

Esta teoría sugiere, por una parte, que un desequilibrio nutricional de los cultivos podría originar la acumulación de compuestos nitrogenados solubles como nitratos y nitritos, los que estarían presentes en los alimentos que el hombre consume y deja abierta una pregunta ¿Será aplicable esta teoría a todos los organismos vivos, incluso el hombre?

En la naturaleza, como resultado de múltiples presiones selectivas ocurridas en el curso de miles de años, los organismos han desarrollado mecanismos de supervivencia y reproducción que explican su existencia actual. Pero, además de su presencia se advierte que existe cierto equilibrio en las cantidades de plantas, animales y microorganismos. Es decir, la acción combinada de múltiples factores abióticos y bióticos explica que los organismos muestren una abundancia que, aunque variable estacionalmente, se mantiene más o menos constante en torno a un valor promedio.

Los abonos orgánicos favorecen el control de plagas por aumentar el potencial anti patogénico del suelo. Esto representa una forma de ahorrar pesticidas y proteger el entorno de la contaminación (Reinmuth, 1963; Papavizas, et al., 1962).

En la naturaleza no existen plagas. Se habla de plaga cuando un animal, una planta o un microorganismo aumenta su densidad hasta niveles anormales y como consecuencia afecta directa o indirectamente a la especie, porque perjudique su salud, su comodidad o dañe las construcciones, los predios agrícolas, forestales, ganaderos, de los que el ser humano obtiene alimentos, forrajes, textiles, madera.

Las plagas difieren por la intensidad y frecuencia de aparición y el hombre las ha agrupado para su estudio.

- Plagas claves

Ocurren en forma permanente con altas poblaciones, son persistentes y muchas veces no pueden ser dominadas por las prácticas de control; pueden causar severos daños económicos. Solo pocas especies adquieren esta categoría dentro de los cultivos porque generalmente no poseen enemigos naturales eficientes. Sobre esta categoría de plagas se basan las estrategias de control en los cultivos. Las plagas claves más importantes en la región tropical son las moscas blancas, los áfidos y las larvas de lepidópteros, entre otros.

- Plagas ocasionales

Son especies cuyas poblaciones se presentan en cantidades perjudiciales solo en ciertas épocas.

- Plagas potenciales

La gran mayoría de especies que ocurren dentro de un cultivo, tienen poblaciones bajas sin afectar la cantidad y calidad de las cosechas. Pero si por alguna circunstancia, desaparecieran los factores de control natural, estas plagas potenciales pueden pasar a las categorías anteriores.

- Plagas migrantes

Son especies de insectos no residentes en los campos agrícolas cultivados, pero pueden llegar a ellos periódicamente debido a sus hábitos migratorios causando severos daños. Ejemplos son las migraciones de langostas.

#### 4.1.1. Situación actual del control fitosanitario

El avance del hombre sobre la naturaleza fue rompiendo el equilibrio que el planeta tardó milenios en construir. La degradación o destrucción de los recursos naturales se han convertido en uno de los fenómenos de nuestra civilización. Es necesario un gran esfuerzo, medir la gravedad de la contaminación, ver las consecuencias y provocar cambios para no seguir alterando la biosfera. La contaminación es un proceso de cambio indeseable que puede producirse en el aire, en el suelo, en el agua. Afecta la vida del hombre y

del resto de los seres vivos, pone en peligro el delicado equilibrio biológico.

Entre los contaminantes ambientales se encuentran los pesticidas, sustancias químicas que se usan para prevenir y destruir principalmente plagas agrícolas. Aunque su uso brinde beneficios como el control de la infestación de insectos y el incremento de la producción agrícola, al ser diseñados para afectar organismos vivos, también crean riesgos para la salud humana y animal. Estos pueden persistir en el ambiente mucho tiempo después de su aplicación y puede incrementarse su concentración (Gómez, 1982; Carlson, 1946).

En la actualidad se calcula que el 80% de las ventas globales de estos productos se consume en los países desarrollados; mientras que en los países subdesarrollados se consume el 20% restante. Lo curioso es que dentro de estos últimos se registra el 75% de muertes por contaminación de agroquímicos.

Esto demuestra las deficientes condiciones de higiene y seguridad bajo las cuales son usados estos productos en países desarrollados y subdesarrollados. Además de los efectos agudos, la exposición a bajos niveles de plaguicidas durante períodos prolongados también puede tener efectos crónicos tales como daños en el sistema nervioso central, malformaciones congénitas, efectos muta génicos y cáncer, daños en la piel, pulmones, ojos, sistema inmunológico y esterilidad masculina, entre otros (Kern & Vaagt, 1996; Gómez, 1982).

Los plaguicidas pueden desarrollar resistencia en insectos, bacterias, malezas y hongos, lo que conlleva a la aplicación de dosis cada vez más altas, con mayor riesgo de intoxicación y contaminación, por esto, es necesario experimentar una transformación de una agricultura convencional con altos insumos a una de bajos insumos y menos contaminantes, donde los bioplaguicidas contribuyan a ese fin.

Por estas razones la búsqueda de alternativas viables y seguras respecto a los plaguicidas convencionales ha contribuido a que se incremente el interés por la producción y empleo de los medios biológicos obtenidos a partir de hongos entomopatógenos y antagonistas, bacterias, nemátodos entomópa-

togenos, entomófagos y extractos naturales de plantas presentes en la flora nacional (APS Biological Control Committee, 2002; Fernández-Larrea, 2001; Gelernterç, 2000).

En la agricultura se evalúan tecnologías que forman parte de las necesidades de desarrollo como la introducción de materiales genéticos de plantas y animales para los programas científicos o para su generalización en la práctica agraria, la introducción de organismos benéficos para la polinización de las plantas o el control biológico de plagas, además de la importación de productos vegetales frescos o elaborados para el consumo de las personas y los animales (Vázquez, 2007).

En Cuba el modelo de agricultura al estilo de la revolución verde colapsó directamente como consecuencia de la crisis generada por el derrumbamiento del campo socialista y por todo el movimiento mundial que se venía desarrollando con fuerza en torno a la agricultura sostenible. Por lo tanto, la crisis obligó a adoptar sistemas de producción agrícola que han sido conceptualizados como sistemas alternativos, esto evidencia un tránsito de un modelo altamente tecnificado a otro más sustentable que probó a gran escala la posibilidad de producir alimentos a partir de un sistema de agricultura alternativa con limitantes en la disponibilidad de insumos.

El paradigma del desarrollo agrario sostenible supone un proceso de modernización integral del sector. La transformación tendrá que responder a ajustes macroeconómicos, a la participación e importancia de la agricultura en la economía nacional, competitividad, gestión empresarial, tecnológica, recursos humanos, financieros, internacionalización del sector agroalimentario y la sostenibilidad.

Desde la década de los 70 el gobierno cubano se percató de algunos de los problemas que confrontaba la actividad agropecuaria, por lo que en ese momento se comenzaron a implantar cambios que condujeran a una agricultura de menos insumos y más racional (Figura 18).



Figura 18. Utilización del deshierbe con bueyes en una finca cubana.

Los productos naturales tienen múltiples efectos que van desde la inhibición o estimulación de los procesos de crecimiento de las plantas vecinas, hasta la inhibición de la germinación de las semillas, o evitan la acción de insectos masticadores, así como los efectos dañinos de bacterias, hongos y virus. Los productos naturales conforman una parte muy importante de los sistemas de defensa de las plantas con la ventaja de ser biodegradables (Pérez, 2004; Fernández-Larrea, 2006).

Pueden considerarse sustancias naturales aquellas que se obtienen a partir de plantas con propiedades plaguicidas, el agricultor puede utilizarlas en cercas vivas o en otras áreas del organológico, huerto intensivo o finca agroecológica a fin de ser empleadas en la preparación del fitoplaguicida de forma artesanal.

La utilización de extractos vegetales para el control de plagas tiene la ventaja de no provocar contaminación debido a que las sustancias son degradadas rápidamente en el medio. Las plantas con potencial biocida constituyen un componente importante de control dentro del contexto de manejo integrado de plagas.

La relación de plagas y enfermedades que causan pérdidas en diferentes cultivos es muy extensa y no es propósito de este texto mencionarlas todas, solo se ilustra con algunas para que se comprenda la amplitud y complejidad de controlarlas por medios biológicos, no obstante, en el poco tiempo que tomó fuerza esta nueva concepción se han realizado notables avances (An-

dreus & Quesada, 1989).

*Aphis gossypii* Glover, el pulgón de los melones; *A. craccivora* Koch y *Brevicoryne brassicae* (L.) (Homoptera; Aphididae).

*Bemisia tabaci* (Genn.) (Figura 19).



Figura 19. Ataque foliar de moscas blancas en condiciones de invernadero.

*Liriomyza trifolii* Burgess (Diptera; Agromyzidae).

*Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera; Noctuidae), gusano de la mazorca.

*Diaphania hyalinata* (L.), gusano de los melones y *Diaphania nitidalis* (Stoll) (Lepidoptera; Pyralidae), gusano de los pepinos.

*Thrips palmi* Karny (Thysanoptera; Thripidae).

*Meloidogyne* sp. (Nematoda; Heteroderidae) nematodos formadores de agallas en las raíces.

Todas estas plagas y enfermedades causan pérdidas en estos cultivos, Existen posibilidades de combatir plagas y enfermedades de forma menos agresiva sobre el medio ambiente, que con productos químicos (Neal & Newton,

1999), por ejemplo, el árbol del nim no afecta a las arañas, mariposas e insectos tales como abejas (polinizan o fecundan cosechas o árboles), mariquitas (consumen pulgones) o avispas (actúan como parásitos sobre varias plagas de cultivos).

Ello se debe principalmente a que los productos del nim deben ser digeridos para ser efectivos. Así, perecen los insectos que se alimentan de los tejidos de las plantas mientras que los que se alimentan del néctar o de otros insectos raramente entran en contacto con concentraciones de productos del nim.

Desde que el hombre utilizó la nicotina del tabaco para el control de plagas se conoce que existen especies de plantas de las que se pueden extraer extractos para el control de insectos dañinos, por ejemplo, el nim, árbol que sus semillas molidas mezcladas con agua se puede aplicar con ese propósito a los cultivos o, el paraíso, árbol al que se le atribuye propiedades insecticidas debido a la presencia en las hojas y las semillas de sustancias biológicamente activas, entre las cuales se destacan Azadirachtina, que posee efecto antiapetitivo, regulador de crecimiento en los insectos y que provoca la muerte de estos por su acción tóxica.

Según los datos toxicológicos que se reportan internacionalmente la aplicación de los productos a base de nim y la sustancia activa azadirachtina, no conllevan riesgos mortales ni de salud al ser humano. No hay acumulación de los principios activos en la cadena alimenticia, ni de residuos en el suelo ni en los productos vegetales debido a su fácil degradación. Se ha comprobado que no afecta a la fauna benéfica.

Para combatir las plagas y enfermedades no se recomienda el empleo exclusivo de medios químicos, pues los patógenos incrementan su resistencia ante el uso continuado de determinado producto, sin embargo, combinados con adecuadas prácticas culturales se consigue el control integrado de estos.

En la actualidad la máxima contaminación del medio es causada por el vertimiento de numerosas combinaciones orgánicas que se usan para combatir insectos dañinos y en los últimos años debido al creciente empleo de productos químicos, la agricultura se ha convertido en un gran elemento contaminante de la biosfera, pues los pesticidas y fertilizantes químicos van a parar al desagadero (Vinogradov, 1981).

Una victoria alcanzada por el hombre fue el descubrimiento de insecticidas como el DDT que le permitieron controlar los insectos e incrementar la producción de las cosechas resistentes a los insecticidas y estos productos no distinguen entre los insectos beneficiosos y los dañinos. Por un proceso de selección genética, los insectos desarrollan familias resistentes a los productos químicos. Pero el problema más amplio es el hecho de que ese ataque químico está debilitando las defensas inherentes al propio medio ambiente, defensas encargadas de mantener limitadas a varias especies, cada vez que se abre brecha en tales defensas, penetran innumerables insectos dañinos (Carlson, 1946).

A diferencia de los métodos químicos, los biológicos no dañan el entorno, siempre que se realice previamente un adecuado estudio y en ese sentido los avances biotecnológicos han sido de gran utilidad (Altieri, 1995). La teoría de la trofobiosis relaciona el estado nutricional de las plantas con la posibilidad de daños con plagas y enfermedades, lo que está en correspondencia con ser en muchos casos innecesaria la aplicación de pesticidas y solo ocasionar efectos ambientalmente negativos.

*Toda circunstancia desfavorable a la formación de nueva cantidad de citoplasma, esto es, desfavorable al crecimiento, tiende a provocar en la solución vacuolar de las células una acumulación de compuestos solubles inutilizados, como azúcares y aminoácidos; esta acumulación de productos solubles parece favorecer la nutrición de microorganismos parásitos y, por tanto, disminuir la resistencia de la planta a las enfermedades parasitarias (Lutzenberger, 1984).*

Existen alternativas para sustituir a los métodos químicos, como por ejemplo el uso de biopesticidas (Guillon, 1997) enmiendas orgánicas, plantas resistentes a determinados patógenos, plantas micorrizadas, entre otras. Dichas alternativas no son excluyentes, por el contrario, una combinación de ellas de manera correcta podría llevar al control económicamente aceptable para la mayoría de los cultivos.

Con el auge y uso extensivo de los plaguicidas químicos después de la Segunda Guerra Mundial aparecieron nuevos problemas para el hombre como

la resistencia de las plagas principales, incremento de las plagas de importancia secundaria, destrucción de los enemigos naturales y aumento de la contaminación ambiental.

Hoy la mentalidad del productor ha cambiado, en muchos lugares no se buscan rendimientos máximos a corto plazo sino que el rendimiento óptimo se alcance en un plazo mayor utilizando todos los componentes del ecosistema que rodea a la unidad de producción. Esta integración de los servicios gratuitos que brinda el ecosistema a las prácticas agronómicas con la finalidad de disminuir o regular la incidencia de las plagas y obtener producciones más sanas se ha denominado Manejo Agroecológico de Plagas (MAP) o Manejo Ecológico de Plagas (MEP).

Se conoce que el establecimiento de un cultivo por largos períodos de tiempo puede provocar un incremento en las poblaciones de plagas, para evitar esto se recomienda rotar con otros cultivos de diferente familia botánica. Mientras mayores sean las diferencias botánicas entre los cultivos en una secuencia de rotación, mejor control cultural de plagas puede esperarse (Altieri, 1983).

#### 4.1.2. Manejo integrado de plagas

El manejo Integrado de plagas (MIP) surge como la alternativa más razonable para enfrentar el creciente empleo de productos químicos. El MIP integra los conocimientos del ecosistema, considerando a la planta, a las plagas y a los enemigos naturales presentes en el lugar, se utilizan los métodos de muestreo para la detección, el monitoreo y la estimación de las poblaciones de los insectos, los productos biológicos y químicos (Fravel, 1999).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (1996), considera que el MIP es un sistema de manipulaciones de plagas que en el contexto del ambiente relacionado y la dinámica de la población de la especie dañina, utiliza todas las técnicas y métodos apropiados de la manera más compatible posible y mantiene la población de la plaga a niveles inferiores a los que causaría daño económico

El MIP implica utilizar los plaguicidas según el nivel de las poblaciones y daños de las mismas. Además, favorece integrar las labores culturales, el

mejoramiento genético, el asocio de cultivos, entre otras prácticas agronómicas (Figura 20).

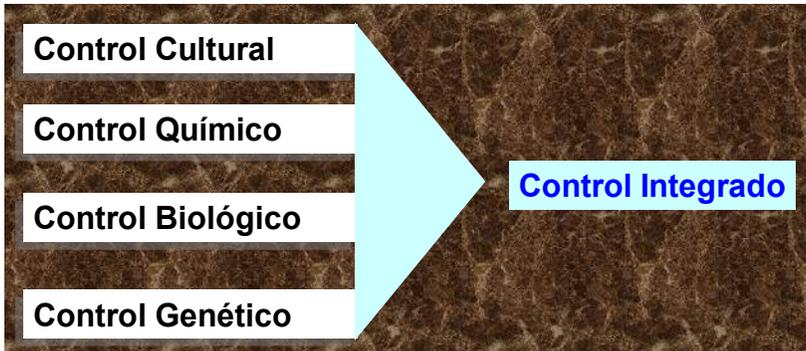


Figura 20. Componentes del manejo o control integrado de plagas.

El término MIP es sinónimo de otros calificativos utilizados como control integrado de plagas, combate Integral de plagas y lucha Integral; Sin embargo, una de las definiciones más recientes establece que dentro de la agricultura alternativa con criterio de sostenibilidad en Cuba, el MIP constituye una etapa superior en la protección de plantas.

La conversión de una agricultura quimizada hacia una agricultura sostenible, implica una etapa de tránsito, que es la etapa del manejo Integrado de plagas con la sustitución de insumos químicos por los biológicos; pero se persigue la autosustentabilidad en las producciones agrícolas a pequeña escala.

El MIP, es un sistema que trata de mantener las plagas de un cultivo a niveles que no causen daño económico, preferentemente utiliza los factores naturales adversos al desarrollo de las plagas, incluidos los factores de mortalidad natural y solo en última instancia, recurre al uso de plaguicidas químicos como medida de emergencia. El MIP viene siendo la optimización del control en forma económica y ecológicamente sensata.

La acción de control natural que ejercen los factores abióticos sobre las poblaciones de las plagas en los ecosistemas naturales es un conocimiento transferible al agroecosistema y el productor puede manejar sus cultivos teniendo en cuenta la acción negativa o positiva que pueda tener un determinado factor abiótico (entiéndase la época del año, las lluvias, los períodos se-

cos, la radiación solar, el rocío, la temperatura, la humedad relativa) o biótico sobre las plagas que se presentan en ese cultivo; a estos factores se suman las actividades agronómicas que se realizan en las unidades productivas y que no son otra cosa que la acción transformadora del hombre.

Aplicando el MIP no solo se trata de reducir la incidencia de las plagas y sus daños económicos sino que intenta revertir el concepto de inestabilidad del agroecosistema del que se ha estado hablando. Su utilización parte del manejo de las actividades que se realizan dentro del área productiva y para ello implementa una serie de prácticas que el productor integra durante el proceso productivo.

Incluso, algunos consideran que no es una tecnología sino una filosofía de trabajo, resulta una alternativa para solucionar los problemas fitosanitarios de los cultivos, que concibe el uso de estos productos sintéticos, pero de forma racional e integra nuevas estrategias como los medios biológicos (entomófagos, bioplaguicidas) (Vázquez, 2007).

Los enemigos naturales de plagas pueden ser artrópodos (insectos, ácaros, arañas, etc.), nematodos, hongos, bacterias, virus y otros donde todos son susceptibles en mayor o menor grado a los plaguicidas (insecticidas, acaricidas, nematicidas). Por tanto, los efectos de los plaguicidas no solo se manifiestan sobre los artrópodos (predadores o parasitoides), sino sobre los entomopatógenos y sobre la microfauna beneficiosa del suelo, especialmente los antagonistas de fitopatógenos (Vázquez, 2007).

Existe la tendencia a integrar el control biológico al MIP, lo cual es muy acertado porque se minimizan los efectos de plaguicidas sintéticos sobre estos organismos, además, se realizan prácticas agronómicas que favorecen su desarrollo y actividad, entre otras ventajas.

La asociación de cultivos, los policultivos y el uso de barreras es una práctica muy recomendada por su efecto repelente a las plagas, favorece el desarrollo, actividad reguladora de los enemigos naturales y aumenta la biodiversidad en los agroecosistemas. Las rotaciones pueden eliminar plagas pues rompe su ciclo y por lo general son más efectivas contra especies que tienen un rango de hospedantes más estrecho y margen limitado de dispersión.

Con un sistema de manejo integrado se ha demostrado que se obtienen me-

jores controles de plagas y enfermedades, con un efecto económico y ambiental superior.

El Manejo Integrado de Plagas debe incorporar diferentes tácticas para el control, sustentadas fundamentalmente en la utilización y manejo de los factores de control natural y en última instancia la utilización de plaguicidas químicos, por lo que cada vez más el MIP, en el marco de una agricultura sostenible, tiende hacia el desarrollo de un manejo ecológico de plagas (MEP).

De todas las definiciones se deriva que no puede haber un MIP donde no se dispongan de estudios agroecológicos profundos que contemplen:

- a) La microbiota útil en el cultivo.
- b) Cómo se mantiene el equilibrio del agroecosistema.
- c) Conocimiento de la bioecología de las plagas, enfermedades y malezas.
- d) Conocimiento de los enemigos naturales y su bioecología.
- e) Estudio de la dinámica de las poblaciones y los métodos de monitoreos más adecuados.
- f) Conocimiento de la fenología del cultivo.
- g) Conocimiento de los diferentes métodos de lucha.
- h) Conocimiento de los umbrales de daños de los principales agentes nocivos.

#### 4.1.3. Empleo de las plantas en el control fitosanitario

- Cultivos trampas

Se les llama así a las plantas que son altamente atractivas para los insectos y los desvían de los cultivos principales hacia ella. Estas pueden ser sembradas alrededor de los surcos o entre ellos, de modo que las plagas que allí se juntan puedan ser atrapadas y eliminadas fácilmente. Los cultivos trampas pueden servir como lugares de reproducción para parásitos y depredadores de las plagas.

- Empleo de plantas fitoplaguicidas y/o repelentes

Plantas repelentes: plantas de aroma fuerte que mantienen, alejados los insectos de los cultivos, protegen los mismos hasta 10 metros de distancia, algunas repelen un insecto específico y otras varias plagas, se siembran bor-

deando los extremos de cada surco del cultivo o alrededor del ellos para ejercer una barrera protectora.

Las plantas que se utilizan como repelentes tienen la característica principal de emanar olores producidos por moléculas volátiles contenidas en sus órganos y pueden ser más o menos intensas en dependencia de la fenología de la planta y de las condiciones climáticas (tienen efectos de repulsión sobre algunas especies de insectos plagas u otros).

Los extractos o zumos de plantas, como el *Capsicum frutescens* L. (ají picante), *Allium sativum* L. (ajo), *Eucalyptus* spp. (eucalipto), *Azadirachta indica* A. Juss (nim), *Coleus amboinicus* Lour. (orégano), *Ruta graveolens* L. (ruda) y otras., actúan como repelentes debido a su fuerte olor o como quemantes porque producen fuerte irritación sobre la piel de algunos insectos.

Vázquez (2007), refiere diez especies que tienen características de repelencia y señala cómo deben ser utilizadas. Ejemplos de algunas de ellas son *Ocimum basilicum* L., (albahaca blanca) debe sembrarse intercalada, en barreras o en las cabeceras de los canteros, controla diversos insectos.

*Tagetes* spp. L., (flor de muerto) se siembra intercalada y controla nematodos (*Meloidogyne incógnita* Kofoid White Chitwood), además puede utilizarse como barrera viva. *Coleus amboinicus* Lour. (orégano francés) debe sembrarse en los bordes de los canteros y cercas perimetrales de huertos pequeños, controla diversos insectos.

#### - Extractos de plantas en el control fitosanitario

En el mundo existen miles de plantas a las cuales se les atribuyen efectos insecticidas, acaricidas, nematocidas, molusquicidas, rodenticidas, fungicidas, bactericidas y herbicidas, así como algunas que inhiben el ataque de los virus. Las sustancias naturales más antiguas y de más amplio empleo en el mundo, algunas con vigencia actual, son la nicotina, rotenona, azadirachtina, el piretro, alcanfor y trementina.

La explotación de las propiedades semioquímicas de las plantas mediante la extracción de compuestos con características como plaguicidas es una práctica que ha adquirido importancia y se realiza en dos estrategias principales:

- Cultivo de plantas, elaboración y aplicación de preparados

Consiste en el cultivo, cosecha, elaboración y aplicación de preparados, mediante un proceso sencillo que realiza el agricultor bajo las condiciones de su finca.

- Aplicación de los plaguicidas bioquímicos

Los preparados botánicos, muchas veces llamados plaguicidas naturales, bioquímicos y otros, pueden ser extraídos y elaborados de forma semi-industrial, como productos con diferentes características de formulación.

En la actualidad el uso de extractos vegetales cobra gran importancia para el control de plagas. En el mundo se reportan varios cientos de plantas con acción biácida. Los productos a base de plantas con propiedades biocida, aplicados tanto preventivamente como para afrontar un ataque significativo de las plagas, respetan el principio de la no perturbación de los agroecosistemas mediante la aplicación de tecnologías convencionales de alto costo energético.

El uso de extractos vegetales es una de las técnicas que puede romper el círculo vicioso de los agroquímicos y de esa manera ayuda a recuperar la estabilidad de los agroecosistemas y eliminar la dependencia respecto a los insumos importados.

- Insecticidas botánico

Wendt & Vilatuña (1989), citados por Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (2004), del Ecuador sugiere el uso de una mezcla de semillas del árbol del nim (*Azadirachta indica* A. Juss) con serrín de madera o cáscara de arroz contra la plaga.

#### 4.1.4. Otras alternativas de control de plagas

*Nicotina o tabaquina*: la utilización de los residuos de tabaco para controlar algunos insectos pequeños en la agricultura es una actividad muy antigua. La elaboración de caldos a base de residuos de tabaco puede efectuarse en el laboratorio de forma tecnificada o artesanalmente en la agricultura. Cuando se obtiene el producto terminado en el laboratorio posee mayor concentración, por lo que se necesita menos producto por mochila y su almacenamiento en lugares adecuados puede durar hasta seis meses.

*Acción:* por asfixia y contacto por lo que el producto debe hacer contacto con el insecto.

- Efectúe los tratamientos en horas tempranas, cuando refresque la tarde o por la noche.
- Ejecute los tratamientos cuando la plaga se encuentre presente.
- Puede aplicarse en tabaco, tomate, ají, vegetales, papa, frijol, fruta bomba, etc.

*Control:* sobre insectos de cuerpo blando, mosca blanca, pulgones, thrips, etc.

*Dosis:* 750 ml por mochila (1 botella).

La importancia de este insecticida es que generalmente controla los insectos que inoculan los virus (amarilla miento, arrugamiento y mosaico de las plantas), el control provoca mayores rendimientos de los cultivos.

*Precauciones:*

- a) No mezclar el producto con otro plaguicida o medio biológico.
- b) Agréguele a la solución de taba quina 0,2% de adherente para mejorar el efecto del producto, puede utilizar agrar o miel de purga a razón de 1/5 de lata de compota por mochila de 15 litros.
- c) Pase el filtrado por un colador de tela fina, exprima el resto.

Añada 1 kg (2.2 libras) de óxido de cal al tanque para alcalinizar el medio. Después de esto debe comenzar a aplicarse porque sufren rápida degradación.

*Hidrato de cal:* desinfectante, fungicida, insecticida. Propiedades físicas y químicas del ingrediente activo:

- a) Estado físico y color: polvo blanco
- b) Solubilidad en agua: insoluble.

*Compatibilidad:* con ninguna plaguicida orgánico o biológico.

Se ha usado tradicionalmente como pesticida por no ser tóxica al hombre ni a los animales domésticos. A partir de la campaña de frío 1991-92 se instruyó su uso para los cultivos de ajo, cebolla, pimiento y tomate como fungicida preventivo. El costo de una tonelada de cal de primera suministrada en sacos

es menos de 100 pesos cubanos.

Para prevenir plagas y pudriciones en condiciones de almacenamiento a razón de 4kg/ t de semilla, espolvoreando además sacos, pasillos y espacios entre las estibas.

Para el control de las manchas blancas en los cultivos del ajo y la cebolla no pueden faltar las aplicaciones.

Para la confección de la pasta bordelesa durante la poda de árboles y en las curas de gomosis.

*Árbol del nim:* esta planta es repelente, produce efecto anti apetitivo, desorientador de la ovoposición, y actúa de forma indirecta sobre la metamorfosis del insecto. Se pueden obtener productos fácilmente a través de las hojas y frutos de la planta

Las semillas secas al sol bien esparcidas para que no enmohezcan y se echen a perder, póngala sobre un mantel y remuévala una que otra vez para que seque de forma pareja (3 a 4 horas al sol después a la sombra para que no se calienten mucho, mantenga secándolas de esa forma por varios días. Una vez seca las coloca en sacos, no en bolas de nylon. Manténgalas en un lugar seco y ventilado hasta que usted las necesite.

Ya las semillas secas se pueden moler en partículas entre 1-2 mm, este polvo lo puede utilizar para combatir insectos que penetran en el cogollo, si mezcla 3 partes de Nim y 1 de arena (aplicar 3 gramos por planta.)

En solución acuosa de 15 a 20 g de polvo por litro de agua, dejar en reposo, entre 4 a 6 horas. Antes de filtrar y aplicar.

Las semillas verdes partidas en un saco, se introducen en un barril con agua, se deja en reposo toda la noche y parte del día, se saca el saco y se riega un Te de nim sobre sus vegetales.

La aplicación del *insecticida natural* debe efectuarse en horas de la tarde. La duración del efecto de los ingredientes activos del Nim, es por lo general de 6 a 9 días, por lo que deben aplicarse semanal.

Los insecticidas nim teniendo en cuenta su uso en el MIP, se pueden dirigir al control de:

*Spodoptera frugiperda* (Palomilla del maíz).

*Bemisia tabaci* (Mosca blanca).

*Keiferia lycopersicella* (Gusano de alfiler o minador de la hoja del tomate).

*Plutella xylostella* (Polilla de la col).

*Heliothis virescens* (Cogollero del tabaco).

*Diaphania hyalinata* (Gusano del pepino).

*Cylas formicarius*. (Tetuán del boniato).

*Nezara viridula* Chinche verde hedionda).

*Tetranychus urticae* (Acaro de dos manchas).

*Panonychus citri* (Acaro rojo).

*Meloidogyne incógnita* (Nemátodos).

Es importante conocer que es compatible con medios biológicos excepto *Bacillus thurigiensis*.

#### 4.1.5. Otras plantas que se utilizan en el control de plagas

- Cardón:

Su acción es puramente para el control de áfidos, se ha logrado efectividad entre 46 y 50%.

Uso y preparación: se trituran 1kg de cardón y se le añade 4 litros de agua, se deja en reposo 24 horas, se adiciona cal (1kg) se filtra la mezcla y se aplica con una preparación de mitad concentrado, mitad agua.

- Semillas de girasol:

Tiene acción sobre larvas de lepidóptero y áfidos con buena efectividad.

Uso y preparación: se toman dos libras de semillas, se echan en dos litros de agua y se ponen a hervir, se enfrían y luego se toma un litro de la solución en una mochila de agua y se aplica.

- Marigol:

Tiene propiedades nematocidas e insecticidas.

Forma de prepararlo: se colocan 12 docenas de flores en un tanque de 55 galones de agua, se deja reposar 24 horas y después se aplica. También se puede utilizar triturando las plantas (1 en 2L de agua) se pone en reposo, se filtra con cuidado para la aplicación.

- Ajíes picantes:

Los ajíes picantes se pueden usar para controlar las plagas, alternativa útil para los agricultores y jardineros. Los ajíes picantes son todas variedades de un mismo género: *Capsicum annum*, *Capsicum frutescens*, *Capsicum chinense* y otros. Todas las especies y variedades se pueden usar, las mejores son las más picantes, El uso más común es para combatir plagas de follaje, tales como cochinillas, escamas, moscas blancas, áfidos, etc. Sirve también contra gusanos y otros insectos.

Para prepararlo se cosecha, alrededor de un cuarto de libra. Estos ajíes picantes se pican finos y se ponen a remojar un día en un litro de agua. Después se cuele la solución a través de un trapo, se agrega algún adherente, la solución está lista para rociar sobre las plantas afectadas con un pulverizador.

A nivel de cultivos se puede usar la misma proporción poniendo a remojar ajíes picantes en un barril de agua a razón de 1 kg por cubo de agua. Luego de colado se puede aplicar con mochila sobre el cultivo. Se puede preparar en polvo, para ello se cosechan ajíes picantes y se pone al sol para secar. Una vez bien seco se muele en polvo fino. Se mezcla el polvo con los granos que se quiere guardar. Con un libra de ajíes picantes molido se puede proteger eficazmente un quintal de granos. Si pulveriza sobre frutos, no olvide lavar las frutas después porque pueden tener sabor picante. Para repeler las plagas de granos almacenados, polillas o gorgojos, se puede usar el ají picante también.

#### 4.1.6. Plantas bactericidas y funguicidas

Albahaca (*Ocimum* sp).

Manzanilla (*Matricaria chamomilla*).

Orégano (*Origanum arborea*).

Romero (*Rosmaricus officinalis*).

Reina de la Noche (*Datura arbórea*).

#### 4.1.7. Otras plantas con uso fitosanitario

- Ruda: controla pulgones, bactericida preventivo y repelente.
- Flor de muerto (*Tagetes* o Marigol): controla pulgones, ácaros del tomate y nematocida.
- Ajo: actúa como bactericidas, acaricida e insecticida.
- Menta: es repelente de hormigas.
- Romero: se usa como fungicida e insecticida.

Estas plantas en sus huertos le sirven como barreras naturales, repelentes y sus productos se deben aplicar en horas de la tarde.

Albahaca, hierba buena, romero, orégano, espárrago, ajo, apasote, marigol o tagetes y el tomillo.

#### 4.1.8. Utilización de entomopatógenos

*Bioinsecticidas*: han sido los más estudiados de los biopesticidas (Glass, 1995). Estos pueden estar formulados a base de bacterias, virus, u hongos.

Bacterias: la mayoría de los productos están basados en diferentes cepas de la bacteria gram-positiva *Bacillus thuringiensis* Berliner, la cual produce toxinas específicas ( $\delta$ -endotoxinas) tóxicas para diferentes órdenes de insectos (Glass, 1995). Otros tipos de productos se basan en la extracción de la  $\delta$ -endotoxina que es incorporada a un plásmido que se inserta a un aislado de *Pseudomonas fluorescens* Migula (Gaertner, 1990; Gaertner, et al., 1993). Su toxina es efectiva en el control de palomilla dorso de diamante, los gusanos falso medidor, elotero y de la yema del tabaco así como de una amplia gama de larvas. Se utiliza el *Bacillus thuringiensis* para el control de larvas del género lepidóptera y otras plagas defoliadoras de frutas, hortalizas, césped y especies forestales.

A nivel comercial, las bacterias se multiplican generalmente en un tanque de fermentación líquida. El producto puede ser formulado en estado de dormancia o ser metabólicamente activo. Las formulaciones que contienen células activas son menos tolerantes a fluctuaciones ambientales, menos compati-

bles con productos químicos, de vida más corta y requieren un empaquetamiento que permita el intercambio de gases y humedad. Sus ventajas son que al estar activas, empiezan actuar en el momento de su aplicación.

Los mecanismos creados por las bacterias para sobrevivir han sido perfeccionados a través de su evolución durante millones de años, por ejemplo, las cianobacterias son el organismo vivo más antiguo del planeta, fijan  $\text{CO}_2$  y  $\text{N}_2$ ; y liberan  $\text{O}_2$

*Virus*: diferentes virus poseen una elevada especificidad en sus huéspedes. Estos productos no han tenido el éxito que cabría esperar, debido a un bajo nivel de virulencia, poca estabilidad a la luz UV, dificultades en la producción y una pobre persistencia en el entorno (Boyetchko, et al., 1998; Glass, 1995).

*Hongos*: de entre ellos destacan *Beauveria bassiana*, para el control de la mosca blanca, *Verticillium lecanii* (Zimmermann) para áfidos, y *Metarrhizium anisopilae*. Estos productos se aplican directamente sobre el insecto en forma de polvo, emulsión o polvo mojable. En condiciones de campo pueden aplicarse mezclados con aceites a volúmenes ultra bajos a fin de incrementar su eficacia y proteger el ACB de la radiación solar.

*Biofungicidas*: muchos han sido los organismos que de manera experimental han sido aislados y se ha probado su actividad fungicida, aunque no todos han desarrollado un producto comercial. En general son productos formulados a base de bacterias o hongos, es posible encontrar en el mercado distintos productos de origen bacteriano para el control de hongos de raíz, le atribuyen además un efecto nematicida. (Backman, et al., 1997; Boyetchko, et al., 1998). En los hongos existe un considerable trabajo realizado con trichoderma y gliocladium debido a su fácil aislamiento, cultivo y fermentación a gran escala.

*Bionematicidas*: pocos son los productos bionematicidas que se comercializan. La mayoría de organismos estudiados son de tipo fúngico aunque también existen algunas bacterias (Rodríguez-Kabana, et al., 1987).

La clasificación taxonómica de los nemátodos entomopatógenos los ubica en el Orden *Rhabditida* Suborden: *Rhabditina* Superfamilia *Rhabditoidea*. Pertenecen a las familias *Steinernematidae* y *Heterorhabditidae* Se encontró en asociación simbiótica con bacterias de la familia *Enterobacteriaceae*.

Ellos infestan selectivamente muchos insectos y otros pequeños artrópodos, no afectan otras formas de vida, lo cual, es favorable para su uso, pues son inocuos al hombre, a los mamíferos y a las plantas. La relativa rapidez con que causan la muerte a los insectos hospedantes (24-48 horas) y la alta variabilidad de su acción ha despertado gran interés en su uso en el control biológico como agente en el manejo integrado de plagas.

a) *Bacillus thuringiensis*

Ubicación taxonómica

suprareino: bacteria

reino: procaryotae

división: ii firmibacteria

orden: eubacteria

familia: bacillaceae

género: bacillus

especie: *Bacillus thuringiensis* (Berliner)

*Características:* Colonias grandes, de color blanco-grisáceo, planas, opacas, de consistencia ligeramente costrosa y de bordes irregulares, lobulados, ramificados.

*Modo de acción:* el mecanismo de acción es por ingestión (cristales) y provoca parálisis intestinal y cese de la alimentación. Posteriormente y producto de una septicemia provocada por la multiplicación de la bacteria ocurre la muerte de las larvas, las cuales se tornan flácidas y con un exudado lechoso estas larvas pueden posteriormente desintegrarse.

*Utilización:* para el control de un grupo importante de lepidópteros defoliadores, además se obtienen productos para el control de algunos ácaros en los cultivos de cítricos y el plátano.

*Momento de aplicación:* con presencia de la plaga siempre en los primeros instares (larvas pequeñas). Para *Diaphania* spp. enfatizar durante el período de floración- fructificación, cuando hay abejas polinizando.

*Determinación de la efectividad técnica:* recorrer el campo entre los 3 y 5 días de aplicado el bioproducto en diagonal determinando nivel de larvas presentes y hallar efectividad técnica.

Las orientaciones para su control por cultivo aparecen en la tabla 4.

Tabla 4. Orientaciones para el control por cultivo del *Bacillus thuringiensis*.

Plaga	Cepa	Cultivo	Dosis
<i>Spodoptera</i> spp (Mantequillas)	LBT-24		
<i>Plutella xylostella</i> (Polilla de la Col)	LBT-24 LBT-1		
<i>Trichoplusia ni</i> (Falso medidor)	LBT-24	Berro, Hortalizas y viandas	1 Kg/ha
<i>Mocis latipes</i> (Falso medidor)	LBT-1	Pastizales	1 – 2 Kg/ha
<i>Spodoptera frugiperda</i> . (Palomilla del maíz)	LBT-24	Maíz, Arroz y Hortalizas	1-2 Kg/ha
<i>Heliothis zea</i> , (Gusano del fruto)	LBT-24	Hortalizas	1 Kg/ha
<i>Polyphagotarsonemus latus</i> . (Acaro Blanco)	LBT-13	Hortalizas, Citricos y Papa	1-2 Kg/ha
<i>Diaphania</i> spp. (Gusano de las cucurbitáceas)	LBT-24	Cucurbitáceas	1 Kg/ha
<i>Erinnys ello</i> (Primavera de la yuca)	LBT-24	Yuca	1-2 L/ha
<i>Heliothis virescens</i> (Cogollero del Tabaco)	LBT-21	Tabaco,	1 Kg/ha
<i>Manduca sexta</i> (Primavera del Tabaco)	LBT-21		
<i>Liriomyza trifolii</i> , (Minador)	LBT-24	Papa	1 Kg/ha
<i>Trichoplusia brassicae</i> (Falso medidor)	LBT-24		
<i>Tetranychus tumidus</i> (Acaro rojo)	LBT-13	Banano y Plátano	5–10 Kg/ha
<i>Phyllocoptruta oleivora</i> , (Acaro del moho)	LBT-13	Cítricos	20 l/ha
<i>Phyllocnistis citrella</i> (Minador de la Hoja de los citricos)	LBT-24		

*Lecanicillium lecanii*

Ubicación taxonómica

División Eumycota

Subdivisión: Deuteromycotina

Clase: Hyphomycetes

Orden: Moniliales

Familia: Moniliaceae

Género: *Verticillium*

Especie: *Lecanicillium lecanii* (Zimmermann) Viegas).

*Modo de acción:* las producciones sólidas se realiza en tarrinas o en bandejas. Su acción es por contacto y la muerte del insecto ocurre generalmente antes que el hongo colonice al insecto, lo cual en parte ocurre por la acción de sustancias tóxicas segregadas por el hongo, el insecto muere cuando es totalmente invadido y se observa recubierto por la masa miceliar del hongo, la cual puede producir conidios. Utilización: se aplica con éxito en el control de afidos y moscas blancas, las dosis para cada plaga por cultivo se encuentran en el Tabla 5.

Tabla 5. Dosis para cada plaga por cultivo *Lecanicillium lecanii*.

Plaga	Cultivo	Dosis	Momento de aplicación
<i>Bemisia tabaci</i> (moscas blancas)	Tomate, frijol, papa, pimiento, pepino	1 Kg/ha	Muestreos semanales para determinar presencia, realizándose las aplicaciones en la primera etapa del cultivo.
<i>Afidos</i> ( <i>Aphis gossypii</i> ) Pulgón	Fruta bomba y otros	1 Kg/ha	
<i>Myzus persicae</i> (Pulgón verde)	Tabaco y otros	1Kg/ha	
<i>Brevicoryne brassica</i> (Pulgón de la Col)	Repollo	1Kg/ha	
<i>Lipaphis erizini</i> (Pulgón de la Col)	Repollo	1Kg/ha	
<i>Thrips palmi</i>	Hortalizas	1Kg/ha	

#### b) *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin

Ubicación taxonómica

Reino: Myceteae

División: Amástigomycota

Sub división: Deuteromycotina

Clase de forma: Hyphomycetidae

Orden de forma: Moniliales

Familia de forma: Moniliaceae

Género: *Beauveria*

Especie: *Beauveria bassiana*

*Modo de acción:* comienza por la adhesión del tegumento y la germinación de los conidios o esporas sobre este. Luego se produce la penetración a través de la cutícula del insecto, la multiplicación del hongo en el hemocele y la producción de toxinas (en ciertos hongos y cepas). Sobreviene la muerte del insecto y el hongo coloniza todo el interior del hospedante.

Posteriormente, el micelio sale hacia el exterior pasando a través del tegumento, esporula sobre la superficie del insecto y finalmente los propágulos son diseminados al medio.

Utilización: que se obtiene se aplica con éxito en el control del picudo negro del plátano, el picudo verde-azul de los cítricos, el tetuán del boniato, y se han obtenido buenos resultados contra el bórer de la caña de azúcar, varios lepidópteros y otras plagas que pueden apreciarse en la tabla 6.

Tabla 6. Dosis a emplear por cultivo y plaga para el control con *Beauveria bassiana*.

Plaga	Cultivo	Dosis
Afidos ( <i>Aphis gossypii</i> ) Pulgón	Fruta bomba y otros	1 Kg/ha
<i>Myzus persicae</i> (Pulgón verde)	Tabaco y otros	1Kg/ha
<i>Brevicoryne brassica</i> (Pulgón de la Col)	Repollo	1Kg/ha
<i>Lipaphis erizini</i> (Pulgón de la Col)	Repollo	1Kg/ha
Thrips palmi	Hortalizas	1Kg/ha

### c) *Trichoderma*

El hongo *Trichoderma harzianum* que es un bio-regulador y antagonista natural de los fitopatógenos *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium rosseum*, *Botrytis cinerea*, *Sclerotium rolfsii*, *Sclerotinia* spp, *Phythium* spp, *Alternaria* spp, *Armillaria mellea*, *Rosellinia* sp. El hongo *Trichoderma* actúa como agente de control biológico, disminuyendo o eliminando la necesidad de tratar con fungicidas químicos (Fernández-Larrea, 1993; Sandoval & López, 2001).

**Biología:** la mayoría de las células poseen numerosos núcleos (heterocarióticas), algunas células pueden llegar a tener más de 100. Varios factores genéticos asexuales, como la combinación parasexual, mutación y otros procesos contribuyen a la variación de este género.

Especies de *Trichoderma*, ampliamente difundidas en la comunidad microbiana de los suelos y con marcadas propiedades antagonistas, poseen representantes caracterizados por su alta producción de sustancias gaseosas, aseguran que se permite diferenciar a estas últimas, es un pronunciado aroma a coco que se desprende del cultivo. *Trichoderma* spp. Toma nutrientes de los hongos (a los cuales degrada) y de materiales orgánicos ayudando

a su descomposición, por lo cual las incorporaciones de materia orgánica y compostaje lo favorecen; también requiere de humedad para poder germinar, la velocidad de crecimiento de este organismo es bastante alta, por esto es capaz de establecerse en el suelo y controlar enfermedades (Esposita & Da-Silva, 1998; Papavizas, 1985).

- Mecanismos de acción parte de su facilidad para colonizar las raíces de las plantas, *Trichoderma* ha desarrollado mecanismos para atacar y parasitar a otros hongos y así, aprovechar una fuente nutricional adicional. Harman (2001), plantea que mecanismos demostrados recientemente, *Trichoderma* actúa como biocontrolador y como colonizador de las raíces, como son:
  - Micoparasitismo:
  - Antibiosis: esta ocurre cuando hay producción de metabolitos tóxicos o antibióticos de un organismo con acción directa sobre otro. Muchos microorganismos tienen la capacidad de producir antibióticos en cultivos puros, lo cual es la más fuerte evidencia de la posible acción de este tipo de compuestos como mecanismo de ataque de *Trichoderma* spp. bajo condiciones de campo. No obstante, para este hongo en particular la producción de metabolitos está fuertemente ligada a la producción de enzimas propias del proceso de micoparasitismo (Tronsmo & Hhjeljord, 1998).
  - Competencia

Esta ocurre cuando dos o más organismos demandan un mismo recurso vital. La competencia entre agentes de control biológico y el fitopatógeno puede resultar en control biológico por aniquilación de la población perjudicial y puede darse favor de *Trichoderma* spp. Debido a su alta frecuencia de crecimiento y desarrollo (Tronsmo & Hhjeljord, 1998).

Desactivación de las enzimas de los patógenos.

Tolerancia al estrés por parte de la planta al ayudar al desarrollo del sistema radicular.

Solubilización y absorción de nutrientes inorgánicos.

- Resistencia inducida:

De estos, los primeros cuatro mecanismos mencionados tienen acción hongo fitopatógeno, los otros son indirectos, ya que su acción es elicitar o impulsar

mecanismos de defensa fisiológicos y bioquímicos de la planta. Todos los estados de vida de los patógenos y se ha encontrado una clara correlación entre la producción de enzimas y la actividad antifungal.

- Control biológico por medio de trichoderma en diferentes ambientes agrícolas.

Control biológico de patógenos foliares.

Se consideran las siguientes condicionantes para que un organismo sea utilizado como controlador biológico de enfermedades fungosas:

- 1) Eficaz: requiere alcanzar un grado de control a lo menos similar al obtenido con productos químicos, es decir, superior al 90%.
- 2) Inofensivo: tanto para el hombre como para el organismo vegetal en que se aplica.
- 3) Estable: que pueda conservar su actividad biológica a temperatura ambiente por el tiempo necesario hasta que sea utilizado.
- 4) Concentrado: que contenga a lo menos  $10^{10}$  conidias de *T. harzianum* por gramo de materia seca de formulación, con el fin de utilizar entre 1 a 10 kilos de producto por hectárea tratada.
- 5) Asperjable: que pueda ser aplicado sobre el organismo vegetal con métodos tradicionales de aplicación de productos químicos. Para ello el producto debe tener un diámetro de partícula inferior a los 150  $\mu\text{m}$ .

El tiempo de aplicación para el tratamiento es importante, ya que la frecuencia de aplicaciones determina la acción del controlador biológico sobre los ciclos de vida del patógeno, por lo cual se recomienda utilizar aislamientos con resistencia a fungicidas para mezclas de tanque *Trichoderma -fungicida*, con el fin de obtener un control eficiente.

- Consideraciones para la aplicación de *trichoderma* spp. para control de enfermedades de las plantas.

El control biológico, más específicamente el control microbiológico, el cual usa microorganismos para controlar otros organismos, requiere de algunas consideraciones acerca del organismo aplicado, en este caso *Trichoderma* spp. puesto que este es un organismo vivo. Esto hace que su modo de acción sea diferente respecto al control con pesticidas, pero igualmente efectivo.

El *Trichoderma* spp. tiene dos funciones importantes en la agricultura, el mayor uso ha sido basado en su función como biocontrolador de patógenos, pero existen evidencias de que posee un efecto de estimulación de crecimiento que puede ser positivo o negativo en las diferentes especies vegetales, aunque la supervivencia del hongo es directamente proporcional a la presencia de organismos antagonistas.

Numerosos autores e investigadores han informado sobre la actividad de *Trichoderma* spp, *Ante Rhizoctonia solani*, causante de daños severos en semilleros y plantaciones de muchos cultivos, así como otros hongos del suelo de interés fitopatológico, que pueden aparecer conjuntamente con este, es este antagonista un interactuante activo en la rizosfera de muchas especies de plantas cultivables.

*Trichoderma* spp es uno de los hongos del suelo más utilizados como control biológico de diversos hongos fitopatógenos este microorganismo emite antibióticos y enzimas que destruyen las hifas de los hongos fitopatógenos, es muy efectivo en tratamientos al suelo y a las semillas indicándose además como un estimulante en el crecimiento de las plantas, es una alternativa de combate en la lucha fitosanitaria integrada en las condiciones actuales.

El control biológico se presenta como una alternativa de manejo de bajo costo de las enfermedades ocasionadas por patógenos del suelo, con mínima interferencia con el medio ambiente.

#### 4.1.9. Control biológico de patógenos radiculares

*Trichoderma* spp. Se utiliza frecuentemente para el control de patógenos radiculares en enmiendas orgánicas, gránulos, polvos mojables o como cobertura de semillas. Este tipo de formulaciones son realizadas con aislamientos de *Trichoderma* spp. Lavados competentes, capaces de colonizar totalmente las raíces del cultivo en particular

La intención de aplicar *Trichoderma* en raíces o adicionada a semillas es el establecimiento localizado del agente en la rizosfera, más si se trata de cultivos que hay que trasplantar como tabaco o tomate, lo cual permite que el hongo, esté preestablecido en las raicillas de la planta haciéndolas más resistentes al estrés del trasplante y al ataque de *Fusarium* spp. Este tipo de aplicaciones también son ventajosas ya que la aplicación del biocontrolador

en un semillero es más rápida que en un sembrado ya establecidos.

#### 4.1.10. Control biológico de enfermedades en poscosecha

Existen pocos reportes acerca de la aplicación de control biológico para problemas fitosanitarios en poscosecha, ya que el estado de sanidad de un producto de poscosecha es la consecuencia directa de las prácticas empleadas durante el tiempo de permanencia en campo. Además, las condiciones de temperatura baja en esta fase obligan a utilizar aislamientos tolerantes al frío. Esto se ha logrado en el control de *Rhizoctonia carotae* en zanahoria con algunos aislamientos de *T. Harziamtm*

#### 4.1.11. Atrayentes de plagas e insectos beneficiosos

El uso de atrayentes en el control de plagas de insectos es preciso, específico y ecológicamente correcto. Hoy día ya es un hecho perfectamente establecido que muchas fases del comportamiento de los insectos para la búsqueda de alimentos, sitios de oviposición y cópula son estimuladas y reguladas por sustancias químicas. Las sustancias químicas que envían mensajes etológicos reciben el nombre de semioquímicos, que provienen del griego *semeon* que significa señal.

Muchas bacterias secretan unas moléculas de bajo peso molecular llamadas en general sideróforos, que son capaces de formar quelatos (complejos) con el hierro férrico. Por ejemplo, *Escherichia coli* secreta, un sideróforo llamado enterobactina.

Las medidas biocorrectivas o sistemas de biorremediación consisten principalmente en el uso de los microorganismos naturales (levaduras, hongos o bacterias) existentes en el medio para descomponer o degradar sustancias peligrosas en sustancias de carácter menos tóxico o bien inocuas para el medio ambiente y la salud humana. Las medidas biocorrectoras se emplean en la descontaminación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos desde hace décadas con importante éxito. Estas técnicas biológicas pueden ser de tipo aerobio, si se producen en condiciones aerobias (presencia de un medio oxidante), o bien de tipo anaerobio, en condiciones anaerobias (medio reductor).

Las feromonas se originan a partir de glándulas exocrinas, ubicadas en la hipodermis del insecto, es decir, son glándulas hipodérmicas que vierten su contenido al exterior del cuerpo a diferencias de las hormonas que son

producidas en glándulas endocrinas y son vertidas al interior del cuerpo del insecto.

El beneficio anterior es por controlar plagas, mientras otros insectos, vulnerables a los pesticidas químicos, resultan beneficiosos por favorecer la polinización de las flores, así a las abejas se le atribuye alrededor de la tercera parte de la producción de los cultivos.

Insecticidas, herbicidas y prácticas de cultivo han reducido o eliminado las poblaciones silvestres de insectos hasta el punto de hacerlos insuficientes para la polinización de plantaciones comerciales. Los productores de cultivos hortícolas y frutales, prácticamente dependen de la abeja melífera para cumplir con los requerimientos de polinización de sus huertas y sembradíos.

Los granos de polen son pesados y pegajosos, no están adaptados al transporte por el viento, es la polinización necesariamente entomófila. Las abejas (*Apis mellifera*) son los principales insectos que intervienen en la polinización de cultivos comerciales (Zaccari, 2004).

Según Zaccari (2004), las abejas constituyen los agentes más eficientes en la polinización de las cucurbitáceas. Cuando las abejas visitan las flores para acopiar néctar y polen transfieren este último entre las estructuras reproductivas y así iniciar el proceso de formación de semillas o frutos. La polinización por insectos es un requisito para la producción de muchos cultivos, pero en los ecosistemas agrícolas los polinizadores silvestres son escasos para asegurar la adecuada polinización.

En general, la polinización por las abejas no solo incrementa la producción de los cultivos sino también mejora la calidad. Las abejas aseguran el máximo tamaño y rendimiento si se llevan suficientes colmenas, si hay bastante polen disponible y las condiciones de clima no afectan el pecoreo (Reyes & Cano, 2005). En Cuba, el uso de las abejas para incrementar las producciones agrícolas es una novedad, por ello el objetivo de esta experiencia fue evaluar la influencia de la abeja melífera en el rendimiento del cultivo de la calabaza.

Reyes & Cano (2005), señalaron que las abejas melíferas son los más eficientes polinizadores, pues visitan muchas flores de la misma especie en sucesión, se mueven frecuentemente de una flor a otra, llenan sus cuerpos peludos de polen y lo llevan a otras flores efectuando así una transferencia muy efectiva.

Una práctica común en algunos cultivos, que elimina plagas, pero también insectos beneficiosos, como las abejas, es quemar los rastrojos, por ejemplo, para cosechar la caña de azúcar, lo que aumenta la productividad y disminuye el riesgo de animales dañinos se quema frecuentemente la plantación, por ejemplo, en el caso de la caña de azúcar, pero esta práctica no distingue entre insectos dañinos o beneficiosos y causa otros problemas al cultivo, incluso después de la quema se requeman los restos orgánicos (Figura 21).

### Requema Valle Verde

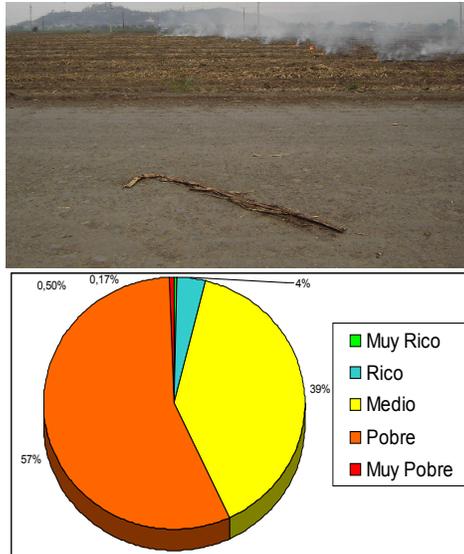


Figura 21. Efectos de la quema en el ingenio EL REFUGIO, México.

### Efectos de la quema

1. Pérdida de humedad del suelo y mayor incidencia de malezas
2. Incremento del proceso de erosión
3. Contaminación del medio ambiente
4. Más rápido deterioro de la caña
5. Disminución de la materia orgánica y pérdida de nitrógeno del suelo

## 4.2. Malezas

En un ecosistema la diversidad de plantas y organismos vivos se distribuyen de acuerdo con la variabilidad de condiciones y de sus exigencias o aptitudes para vivir en las diferentes condiciones del ambiente, gracias a esa biodiversidad estos aprovechan toda la humedad, los nutrientes y la luz, pero cuando el hombre elimina la vegetación natural y establece un monocultivo quedan espacios que no resultan muy adecuados o aptos para el cultivo sembrado pero sí para otras especies de plantas denominadas malezas.

Las malezas pueden habitar los nichos ecológicos abiertos que son dejados en las tierras de cultivo y el estudio de la condiciones que posibilitan que las mismas pueblen exitosamente los agroecosistemas, podría conducir al empleo de métodos de control menos agresivos sobre el ambiente, por otra parte, antes de eliminar una maleza en particular, se debe aclarar si es dañina o no para un cultivo determinado en una localidad.

Las malezas interactúan ecológicamente con todos los otros subsistemas de un agrosistema, son un elemento valioso en el control de la erosión, mantienen la humedad del suelo, estructuración de la materia orgánica y del nitrógeno en el suelo, preservan insectos benéficos y la vida silvestre. Las malezas dentro de un sistema de cultivo pueden reducir la incidencia de plagas. Por ejemplo, los escarabajos, *Phyllotreta cruciferae*, concentran su alimentación en la maleza *Brassica campestris*, en vez de los repollos, debido a que esta especie tiene una concentración más alta de sustancias químicas que atraen a escarabajuelos adultos y por tanto los desvían de los cultivos. Igualmente ocurre en Tlaxcala, México, la presencia de *Lupinus spp.* en floración en campos de maíz, desvía el ataque del escarabajo frailecillo, *Macrodactylus sp.* desde las flores del maíz femeninas hacia las flores del lupino (Altieri & Gliessman, 1983).

Los plaguicidas en general son una valiosa herramienta para lograr altos rendimientos en los cultivos, sin embargo su uso indiscriminado y poco racional ha provocado en forma paralela una alerta por el riesgo potencial de contaminación ambiental que estos pueden ofrecer con su uso (Alfaro, 2016).

Los herbicidas representan la principal clase de plaguicidas responsable de la contaminación del agua subterránea (Huertas, 2014). Esto se debe a que a) son los plaguicidas más utilizados (44% del mercado total mundial), b) en general presentan mayor solubilidad en agua y menor Koc (coeficiente

de partición en carbono orgánico) que el resto de los plaguicidas, c) la mayor parte de ellos se aplican al suelo o en momentos de baja cobertura del mismo, coincidentemente con la época de mayor ocurrencia de lluvias, y d) en general presentan elevada persistencia en el suelo. Por tal razón, no es sorprendente, por ejemplo, que el 76% de los plaguicidas detectados en el agua en Alemania sean herbicidas.

El problema radica desde el punto de vista ambiental en que se estima que tan solo un 1 % del total de un plaguicida aplicado al ambiente logra alcanzar al organismo de interés, mientras que aproximadamente el 25 % se queda retenido en el follaje, un 30 % llega al suelo y el 45 % es exportado directamente a la atmósfera por volatilización y a los sistemas acuáticos por escorrentía y lixiviación (Alfaro, 2016) (Figura 22).

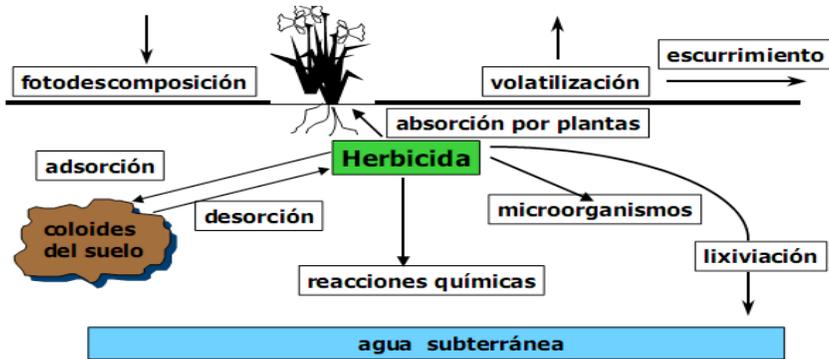


Figura 22. Comportamiento de los herbicidas en el suelo.(Fuente: Bedmar (2006).

Generalmente los suelos con mayor contenido de arcillas y/o materia orgánica poseen mayor potencial para retener a los herbicidas a las partículas del mismo, por lo cual menor cantidad de herbicida estará disponible en la solución del suelo para ser absorbida por las plantas. La materia orgánica del suelo ha sido citada como la propiedad más relevante del mismo que regula la sorción de varios herbicidas (Alister, 2011).

La distribución en profundidad de la materia orgánica del suelo por lo general indica la zona en la cual los herbicidas no iónicos son más fuertemente adsorbidos (Sonon, 1992). Por tal razón los herbicidas por lo general se adsorben con más fuerza a las capas superficiales del suelo. Los horizontes

del suelo más profundos contienen menos materia orgánica y poblaciones microbianas, y por lo tanto son menos adsorbidos o degradados (Jenks, et al., 1998) (Figura 23).

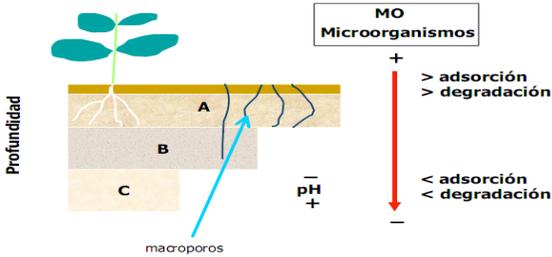


Figura 23. Distribución de algunas propiedades del suelo. (Fuente: Jenks, et al. (1998).

La persistencia o residualidad de un herbicida en el suelo puede definirse como el período o longitud de tiempo durante el que permanece en forma activa. La persistencia posee particular importancia debido a que determina el período de tiempo en que pueden esperarse efectos fitotóxicos.

La integración de la aplicación de herbicidas con otros métodos de control como las coberturas o acolchados de residuos, labores de cultivo entre surcos, las distancias estrechas entre surcos, la preparación adecuada del terreno y las rotaciones de cultivos permiten una mayor economía en el consumo de herbicida.

En general puede establecerse que los factores más importantes que controlan la degradación y por tanto la persistencia, varían drásticamente con la profundidad del perfil de suelo. Los horizontes más profundos poseen menor capacidad de degradación de los plaguicidas y por lo tanto la persistencia de los mismos suele incrementarse en gran medida con la profundidad (Bedmar, 2015).

Son amplias las posibilidades de usar diferentes alternativas para lograr conducir la lucha contra las malezas hacia la predominancia del control cultural y no a favor de otras variantes más costosas y dañinas al ambiente como las actuales, sin embargo, aún falta conocimientos y cultura ecológica para aprovechar eficazmente esas tecnologías y no continuar considerando a los herbicidas como la única solución posible.

Se considera que cultivos como el centeno, la cebada, el trigo y el tabaco liberan sustancias tóxicas al ambiente, ya sea a través de la exudación de las raíces o debido a los residuos de sus cosechas (sustancias alelopáticas) las cuales pueden afectar el crecimiento de las malezas (Altieri & Whitcomb, 1979).

Se puede afirmar que las excreciones radiculares son sustancias biológicas activas que producen efectos favorables o de represión en determinados patógenos. Algunos son de efecto alelopático, es decir, influyen en el desarrollo de las plantas vecinas debido a sus excreciones o productos metabólicos (solución o gas). En solución, el efecto es a través de las hojas o raíces, en forma gaseosa es a través de los estomas. En ambos casos, pudo ser el efecto de activación e inhibición. Durante la germinación cada semilla libera por la radícula diversas fitohormonas, entre ellas las auxinas, que regulan el crecimiento y que pueden desempeñar un papel importante en el control de las malezas. Diversas investigaciones muestran que tales auxinas pueden llegar hasta un radio de 3 cm alrededor y actuar como inhibidores de las semillas de estas malezas que se encuentran en el suelo.

Parece que alentando la presencia de algunas malezas específicas en los cultivos es posible mejorar el control biológico de ciertas plagas. La alelopatía puede ser utilizada en la agricultura de diferentes formas como son: aislar e identificar esas sustancias para sintetizarlas y utilizarlas para eliminar malezas o controlar plagas y enfermedades, utilizar la cobertura del suelo con restos de cultivos que posean propiedades alelopáticas o incorporar genes con esas propiedades a los cultivos (Kolmans & Vásquez, 1995).

Sustancias excretadas por una especie de planta (conocidas como fitoncidas), pueden tener un efecto tóxico o estimulante sobre otras especies, incluso se utilizan extractos de determinadas plantas contra plagas y enfermedades, por ello el efecto de las malezas debe analizarse desde diferentes puntos de vista.

La alelopatía puede llegar a ser un medio real para controlar las malezas si estas características se manifiestan en tipos silvestres de especies cultivadas y puedan transferirse a los cultivos deseados. Al lograr un control de malezas de este modo, se evitan gastos, contaminaciones, y aplicaciones extras de herbicidas. Existen diversas alternativas para explotar la alelopatía en la agricultura:

Sintetizar estos productos, o sus análogos para usarlos como herbicidas, aislando e identificando los productos tóxicos naturales.

Incorporar el mecanismo tóxico en los cultivos mediante una manipulación genética.

Utilizar mulch, residuos y cultivos de cobertura alelopáticos.

Manipular el comportamiento de las semillas de las malezas usando los componentes de las plantas para adelantar la germinación de estas semillas.

### 4.3. Reguladores del crecimiento

Algunos productos orgánicos que son tratados en este texto contienen reguladores del crecimiento vegetal, además, por su influencia positiva en el crecimiento vegetal y no ser contaminantes ambientales, se ha incluido un resumen sobre los mismos en este texto.

Un regulador del crecimiento fitoregulator es cualquier compuesto con la propiedad de modificar el crecimiento, desarrollo y otras funciones de los vegetales. Comprende 7 grupos de fitohormonas reconocidos: auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico, ácido jasmónico, ácido salicílico y etileno, sus antagonistas y análogos sintéticos. Incluye, además, a poliaminas y brasinosteroides, aunque no han sido todavía aceptados como fitohormonas, pues no se conoce que tengan un efecto fisiológico definido y exclusivo (Taiz & Zieger, 2007).

Se define un bioestimulador como el producto que contiene células vivas o latentes de cepas microbianas previamente seleccionadas, que se caracterizan por producir sustancias fisiológicamente activas (auxinas, giberelinas, citocininas, aminoácidos, péptidos y vitaminas) que al interactuar con la planta promueven o desencadenan diferentes eventos metabólicos en función de estimular el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento de cultivos económicos.

A diferencia de los biofertilizantes, los bioestimuladores no están directamente asociados a la sustitución de dosis de fertilizantes químicos (N y P) en los cultivos, sino que se emplean independientemente de la aplicación o no de estos insumos.

Las hormonas y las enzimas cumplen funciones de control químico en los organismos multicelulares (Figura 24).

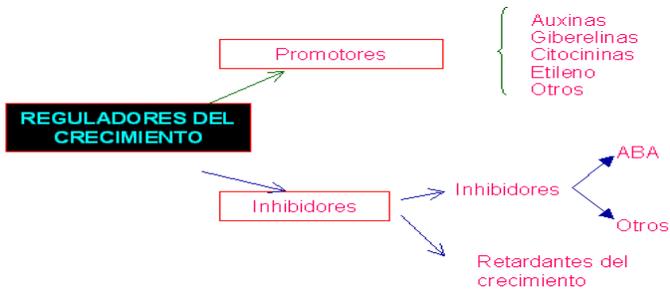


Figura 24. Reguladores del crecimiento de las plantas.

Dentro de las que promueven una respuesta existen cuatro grupos principales de compuestos que ocurren en forma natural, cada uno de los cuales exhibe fuertes propiedades de regulación del crecimiento en plantas. Se incluyen grupos principales: auxinas, giberelinas, citocininas y etileno

El descubrimiento de la auxina (AIA), se consideró una gran esperanza para incrementar el rendimiento de los cultivos y posteriormente aparecieron gran número de auxinas sintéticas. Estos productos crean las bases fisiológicas de la modulación del crecimiento y desarrollo, especialmente ante la necesidad actual de buscar prácticas no contaminantes y más económicas desde un punto de vista energético.

El etileno favorece la floración de los frutos y adelanta su maduración, el ácido absicico (ABA) tiene un efecto similar cuando ocurre estrés hídrico; el ácido indolbutírico acelera la iniciación y el enraizamiento de esquejes, lo que es de particular importancia para la producción de vitroplantas en las biofabricas. El ácido naftalenacético, una auxina, fue el primer agente comercial que se utilizó para inducir floración en la piña. La hidrazida maleica fue usada para la supresión de la brotación de tubérculos de papa y bulbos del ajo y para inhibir el crecimiento de los céspedes en plazas, jardines, campos de golf, etc.

Ampliamente usado fue el CCC (cloromequat, cycocel, cloruro de clorocolina) el cual acorta la altura del trigo sin cambiar el tamaño y calidad de las es-

pigas y con el beneficioso efecto de prevenir el acamado por efecto de las lluvias y los vientos fuertes, especialmente bajo alta fertilización nitrogenada. Este caso no incrementa el rendimiento pero sí previene las pérdidas.

Al principio de la década de 1980 el mayor mercado de los reguladores del crecimiento en EE.UU fue con el objetivo de defoliación para la cosecha del algodón. El mayor uso de los reguladores del crecimiento fuera de EE.UU fue el ethephon sobre plantaciones de caucho de Malasia y del Sudeste Asiático y como madurador de la caña de azúcar en los trópicos.

El uso del ethephon, un agente liberador de etileno, para elevar los rendimientos del látex del árbol del caucho se ha convertido en una práctica standard en las plantaciones. Este compuesto incrementa la longitud del período de tiempo para que fluya el látex entre las heridas, ello representa, un aumento del 100% del rendimiento del caucho seco de importantes variedades comerciales.

En 1980 se registró un solo producto madurador para la caña de azúcar en los EE.UU. que fue la glifosina. Su derivado monosustituido, el herbicida glifosato, fue registrado un tiempo después para usarlo como madurador y sustituir la glifosina en muchas áreas cañeras. En Sudáfrica y Zimbague se utiliza comercialmente el ethephon, un compuesto generador de etileno, para la maduración de la caña de azúcar.

El ácido absísico (ABA) es un promotor de senescencia al cual son sensibles un amplio rango de especies de plantas. Las cito quininas son la clase de reguladores del crecimiento más efectivos en el retardo de la senescencia. Las aplicaciones de giberelinas o auxinas retardan la senescencia de algunas especies como por ejemplo las naranjas. Los efectos del etileno sobre la floración son la promoción, la inhibición y el cambio de sexo.

La floración decrece los rendimientos de ciertos cultivos, como la caña de azúcar. La prevención de la floración en este cultivo puede ser afectada por la interrupción de la noche con iluminación, disminución de la temperatura, cortar las hojas y tallos principales o aplicando ciertos productos químicos y retirando el agua de riego. El primer producto químico potencialmente útil para prevenir la floración en la caña de azúcar fue la hidracida maleica.

El rápido desarrollo permitió el uso de herbicidas como el monourón, des-

pués el diurón y en el presente el dicuat. El uso del dicuat es más efectivo económicamente que el monourón o el diurón. Una aplicación adecuada puede lograr un 100% de control. En Cuba se han utilizado el Flordimex o etefón para prevenir la floración.

#### 4.4. Rotación y asociación de cultivos

En experimentos, que han tomado más de cien años y llevados a cabo en la Estación Experimental Agrícola de Rothamsted, Inglaterra y también en los campos de la Estación Experimental Agrícola Morrow, en Illinois, han proporcionado datos importantes sobre la rotación de cultivos.

Las evidencias indican que las rotaciones juegan un rol sobre la producción de las plantas al influir sobre la fertilidad del suelo, sus propiedades físicas, su comportamiento frente a los agentes responsables de la erosión y su microbiología; afectan la supervivencia de los patógenos de las plantas, los nemátodos, insectos, gorgojos, malezas, lombrices y fitotoxinas (Summer, 1982).

La rotación de cultivo influye sobre las propiedades del suelo, la erosión, biota del suelo, supervivencia de insectos, nematodos, hongos, otros organismos del suelo, fitotoxinas y malezas. Dado lo complejas que resultan las interacciones que se presentan en los agrosistemas es necesario el estudio de estas para evitar lo que frecuentemente ha sucedido hasta ahora, por desconocimiento se han adoptado prácticas en la agricultura moderna que han ocasionado más daños que beneficios.

Los abonos verdes generalmente son leguminosos que se incorporan al suelo con alguno o todos los propósitos de aumentar el contenido de materia orgánica, de nitrógeno o de otros nutrientes que los cultivos suelen tomar de formas poco asimilables o de capas más profundas del suelo y cuando se incorporan enriquecen con ellos los horizontes superficiales.

Se reportan por su incorporación de nitrógeno al suelo buenos resultados con el uso de crotalaria: 75 y 88 KgN.ha<sup>-1</sup> para los suelos turén y el sombrero, respectivamente, aunque en general la incorporación de residuos orgánicos es una práctica de alto potencial de uso en los suelos agrícolas venezolanos por el aporte de nitrógeno al suelo (Torres y Rivero, 2001).

La asociación consiste en la convivencia de dos o más cultivos en un mismo

campo, los cuales deben presentar características diferentes que les permita aprovechar mejor la disponibilidad de nutrientes y humedad en los diferentes estratos del suelo, sin competir entre sí. La parte aérea de la planta debe permitir el mejor aprovechamiento de la luz así como del espacio disponible en lo vertical y en lo horizontal, mientras que el ordenamiento estructural del sistema radical debe buscar una máxima cobertura dentro del suelo (Kolmans & Vázquez, 1995).

En Honduras el frijol terciopelo (*Mucuna pruriens*), en asociación con maíz ha mejorado el rendimiento, ha disminuido la erosión, las malezas y los costos por labranza. Los agricultores siembran el maíz y al transcurrir de 1 a 2 meses siembran el frijol terciopelo. Después de la cosecha de maíz sus tallos son doblados y dejados sobre el campo y el frijol terciopelo comienza a rastrear hasta cubrir los tallos y el suelo. La cantidad de follaje producido por esta leguminosa está entre 50 y 70 t/há con un espesor de más de 20 cm. Esta cobertura del frijol terciopelo reprime las malezas creando condiciones adecuadas para la siembra directa del maíz en la próxima campaña.

En el segundo año, el frijol terciopelo del año anterior germina espontáneamente y continúa su ciclo con la siembra nueva del maíz. Sin ningún uso de fertilizantes obtienen 2700 a 3250 Kg. /há de maíz (esto es ampliamente más del doble del promedio nacional).

En la asociación maíz, frijol, calabaza: el maíz aprovecha la luz en la parte más alta, le sigue el frijol en la parte media y la calabaza con menor requerimiento de luz en la parte inferior. Igualmente, el enraizamiento se realiza a diferentes profundidades lo que origina un mejor aprovechamiento de los nutrientes y la humedad del suelo (Kolmans & Vázquez, 1995).

La rizósfera es la parte del suelo inmediata a las raíces, tal que, al extraer una raíz, es aquella porción de tierra que queda adherida a la misma; se considera también como la porción del suelo en la que están las raíces de las plantas. Este medio es una región de intensa actividad biológica (Kleupfel, 1993).

En un estudio realizado en Perú se encontró en la rizósfera de *Phaseolus lunatus* mayor número de hongos saprofitos que potencialmente patógenos, esto es corroborado por algunos autores que sostienen que los saprofitos tienen más amplia distribución y mayor tolerancia a condiciones ambientales extremas, en conclusión, el género *Aspergillus* mostró la mayor presencia

de toda la flora fúngica rizosférica; el género *Cladosporium* fue el que mayor número de UFC/g presentó en las muestras de rizósfera analizadas y los hongos potencialmente patógenos como *Fusarium* y *Alternaria* fueron aislados en bajas proporciones.

Por otra parte, el aporte de múltiples excreciones en la rizósfera de la raíz favorece la vida del suelo y la fijación de nitrógeno por la leguminosa y los restos de la cosecha benefician las reservas orgánicas y de nitrógeno del suelo. La cobertura del suelo lo protege de la erosión, conserva la humedad, la materia orgánica y disminuye las malezas, mientras que la asociación de cultivos ocasiona mayor diversidad en el agrosistema. Cada especie de planta exuda por sus raíces diferentes sustancias que favorecen o perjudican determinadas poblaciones de organismos en el suelo; el monocultivo hace que se establezca determinada biota en el suelo en correspondencia con las características de sus exudados, por tal razón, para incrementar la biodiversidad en el suelo se requiere de la rotación y la asociación de cultivos.

Se pueden listar una serie de criterios operativos para evaluar la sustentabilidad de la agricultura, proporcionan conocimiento del aprovechamiento que el agro ecosistema ideal o sostenible haría de las funciones que le aporta el medio ambiente y de las que depende su pervivencia. Gliessman (1998), establece los principios siguientes:

La sostenibilidad es indisoluble de la autonomía, de modo que podemos caracterizarla observando el grado mayor o menor de dependencia de inputs externos (energía, materiales o información). Cuanto más baja sea la dependencia y más alto el nivel de autosuficiencia mayor será el grado de autonomía y auto dependencia del agroecosistema.

La producción depende además de la renovabilidad de los recursos que utiliza. Quiere esto decir que la mayor o menor sostenibilidad es función del grado mayor o menor de utilización de recursos renovables que sean además localmente accesibles.

La productividad es la capacidad de un agroecosistema para satisfacer necesidades y servicios ambientales, por lo que la aceptación de los límites y potencialidades locales, es una condición de la sostenibilidad. De lo contrario, una intensa modificación de las condiciones locales aumenta la fragilidad y causa efectos no deseables sobre la productividad.

Una forma de aproximarse a la biodiversidad existente en los ecosistemas naturales es emplear la rotación de cultivos, los cultivos intercalados y todo aquello que restablezca en alguna medida las condiciones existentes en la vegetación natural; otra forma es la producción en laboratorios de controles biológicos como entomófagos y entomopatógenos, la inoculación de leguminosas con *Rhizobium* o la reproducción en fermentadores de microorganismos fijadores de nitrógeno como *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Acetobacter* que pueden aplicarse a los cultivos.

La fijación biológica de nitrógeno (FBN) es una adaptación de las plantas a una situación de carencia de N. A causa del elevado costo energético que demanda este proceso, que alcanza de 16 a 18 moles de ATP por molécula de N reducida, la abundancia de N en el suelo afecta drásticamente la FBN, la disminuye o la anula. Restricciones en el crecimiento y en la fotosíntesis provocan reducciones en la FBN que a su vez restringen más el crecimiento, afectándose así el rendimiento de los cultivos.

Por otra parte, la disponibilidad de agua afecta el establecimiento de los nódulos. Si la emergencia se retarda por escasez de humedad, la zona de infección se desplaza hacia los extremos de la raíz principal y las raíces laterales. Estos nódulos al disponer de menor flujo de carbohidratos provenientes de la fotosíntesis son poco eficientes en fijar N. Por último, períodos prolongados de sequía durante la etapa reproductiva pueden provocar un cese temporáneo o permanente de la actividad fijadora de los nódulos (Racca, 2002).

La caña de azúcar se ha beneficiado significativamente por la asociación con bacterias fijadoras de nitrógeno, atribuyéndose a ello, que no disminuyeran las reservas de nitrógeno del suelo, en lugares donde se ha establecido este cultivo durante décadas, esta asociación se ha reportado en muchos cultivos y cada día cobra mayor importancia por su magnitud y por abarcar un mayor número de especies.

Desde hace algunos años se reporta la FBN en la palma de aceite africana, cultivo en que diferentes especies de bacterias diazotóxicas se han encontrado en su rizosfera, lo que sugiere un potencial para beneficiar la FBN (Sui Yang, et al., 2009).

Se conoce que el establecimiento de un cultivo por largos períodos de tiempo

puede provocar un incremento en las poblaciones de plagas, para evitar esto se recomienda rotar con otros cultivos de diferente familia botánica. Mientras mayores sean las diferencias botánicas entre los cultivos en una secuencia de rotación, mejor control cultural de plagas puede esperarse (Latiera, 1983).

El diagnóstico de la necesidad de fertilizantes requiere tomar en consideración los componentes del agrosistema con el propósito de alcanzar los mejores resultados económicos, ecológicos y sociales.

Los nuevos sistemas que protegen el medio ambiente y los recursos naturales son necesarios, sin caer en extremos conservacionistas, que harían recordar aquella frase del generalísimo Máximo Gómez que con propósitos militares y solo en el contexto cubano, decía Los cubanos o no llegan o se pasan, en otras palabras, no se puede regresar a las cavernas, pero los sistemas que se empleen deben combinar una elevada eficiencia productiva y económica con la protección del medio ambiente.

En la agricultura moderna, desde el punto de vista de la fertilidad del suelo, la necesidad de rotar los cultivos ha disminuido debido a la disponibilidad de fertilizantes inorgánicos. El gran incremento en la aplicación de nitrógeno que se dio en los EE.UU. en los años cincuenta promovió bastante interés en el cultivo continuo. Pero las rotaciones pueden nuevamente volverse efectivas en términos de costos a medida que los precios de la energía y de los fertilizantes químicos se eleven y es seguro que de allí seguirán sustanciales ahorros de energía.

El manejo agroecológico debe tratar de optimizar el reciclaje de nutrientes y de la materia orgánica, cerrar los flujos de energía, conservar el agua y el suelo y balancear las poblaciones de plagas y enemigos naturales. La estrategia explota las complementariedades y sinergismos que resultan de varias combinaciones de cultivos, árboles y animales, en arreglos espaciales y temporales diversos (Altieri, 1994).

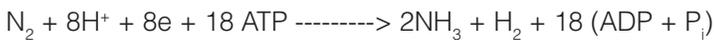
Como las actividades agrícolas comienzan con la preparación del suelo y terminan en la cosecha, se hace necesario tratar cada una de ellas, con el propósito de que contribuyan a mejorar la fertilidad y capacidad productiva de los suelos, disminuir los daños por plagas, malezas, alcanzar elevados

rendimientos, calidad del producto agrícola, proteger el entorno de la contaminación y preservar recursos naturales.

#### 4.5. Biofertilizantes

Las transformaciones del nitrógeno en el suelo la realizan los microorganismos, lamentablemente las plantas solo aprovechan la tercera parte de lo que se aplica con los fertilizantes nitrogenados, es decir de cada 3 sacos, dos se pierden por distintas vías y contaminan el entorno, lo que evidencia la importancia de buscar alternativas para mejorar el aprovechamiento por las plantas de este nutriente. La gran reserva de nitrógeno se encuentra en la atmósfera, pues el 78 % de la misma es dinitrógeno ( $N_2$ ), y mediante su combinación con el hidrógeno procedente de la nafta o del gas, se sintetiza el amoníaco y se elaboran a partir de este, diferentes fertilizantes nitrogenados. Esta síntesis artificial implica un gran gasto energético, aunque diferentes microorganismos pueden utilizar el nitrógeno atmosférico y hacerlo utilizable por los cultivos (fijación) con poco gasto energético.

Los biofertilizantes se definen como preparados que contienen células vivas o latentes de cepas microbianas eficientes fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo o potenciadoras de diversos nutrientes; se utilizan para aplicar a las semillas o al suelo con el objetivo de incrementar el número de estos microorganismos en el medio y acelerar los procesos microbianos, de tal forma que se aumenten las cantidades de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas o se hagan más rápidos los procesos fisiológicos que influyen sobre el desarrollo y el rendimiento de los cultivos. La fijación del  $N_2$  es un proceso de reducción que convierte el nitrógeno molecular en amoníaco, según la siguiente ecuación:



Esta reacción está catalizada por un complejo enzimático denominado nitrogenasa o dinitrogenasa. Los efectos beneficiosos de los biofertilizantes se resumen en la Figura 25.

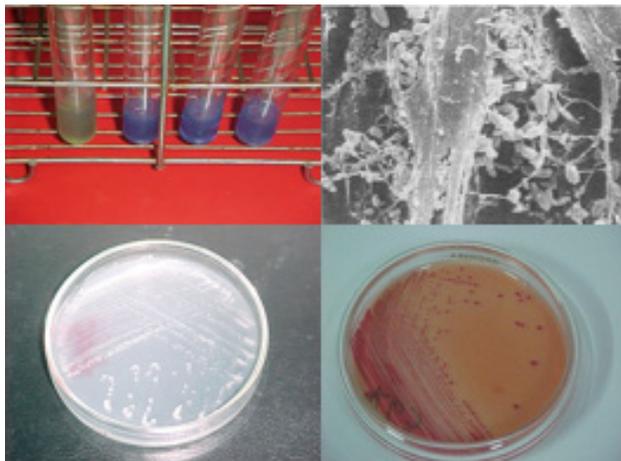


Figura 25. Efectos beneficiosos de los biofertilizantes y bioestimuladores.

## Biofertilizantes

Preparados que contienen células vivas y latentes de grupos microbianos que:

- Fijan Nitrógeno (FBN)
- Solubilizan fosfatos
- Potencian la asimilación de nutrientes
- Producen sustancias activas que influyen en el desarrollo y rendimiento de los cultivos

Los éxitos alcanzados con la utilización de los biofertilizantes en Cuba motivaron su validación e introducción en otros países interesados en aplicar los métodos sostenibles en su desarrollo agrícola. Entre los años 1998 y 2001 se probaron en Turquía, México y Colombia los siguientes biopreparados: DIMARGON (a base de las cepas INIFAT 9, INIFAT 12 e INIFAT 17 de *Azotobacter chroococcum*), dimazos (a base de las cepas INIFAT-17 de *A chroococcum* e INIFAT 6 de *Azospirillum brasilensis*) y FOSFOSOL (a base de la cepa INIFAT 2 del hongo solubilizador del fósforo del suelo *Penicillium bilaii*).

El *Azotobacter* son bacterias que viven asociadas a las zonas periféricas de las raíces, fijan nitrógeno atmosférico, y han mostrado buenos resultados en vegetales y hortalizas (Figura 26).

## Distintas cepas autóctonas de Azotobacter

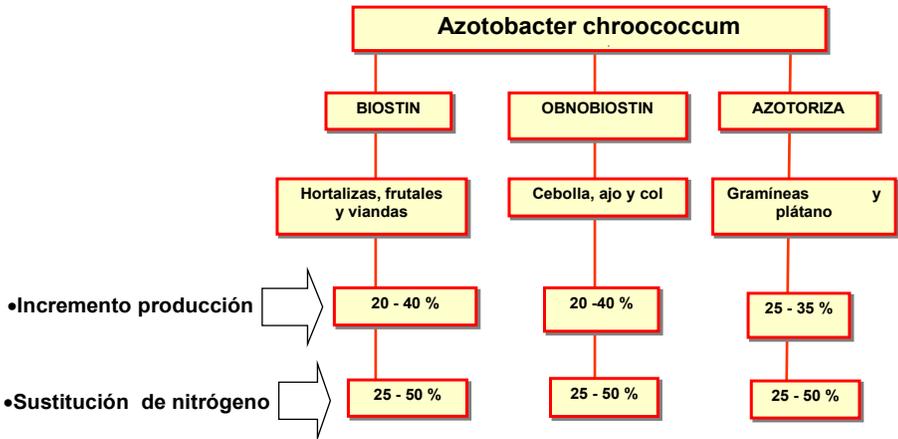


Figura 26. El Azotobacter beneficia diferentes especies de plantas. (Fuente: Martínez, et al., 2001).

En Turquía se lograron incrementos del rendimiento entre 21 y 45% con sustitución del 50% de fertilizante nitrogenado en tomate, pimiento, berenjena, maíz, soya, algodón y remolacha azucarera, aumentándose en esta última la concentración de azúcar. En México se lograron incrementos del rendimiento entre 23 y 38% en tomate, pimiento, maíz convencional y orgánico, brócoli y mango. En Colombia se lograron incrementos del rendimiento entre 55 y 62% en algodón y entre 7 y 18% en arroz, con sustitución del 50% de NPK (Martínez, et al., 2001).

Entre los biofertilizantes más utilizados en Cuba se encuentran aquellos que se preparan a base de bacterias fijadoras de nitrógeno de forma asociativa y de microorganismos solubilizadores del fósforo del suelo, los cuales sintetizan también aminoácidos, vitaminas, citocininas, auxinas, giberelinas y otras sustancias que actúan como estimuladoras del crecimiento vegetal (Elmerich, 1984; Martínez Viera & Dibut, 1999; Martínez, et al., 2001c). Algunos de los resultados obtenidos se exponen a continuación, con el propósito de ilustrar lo mencionado en los párrafos anteriores (Tabla 7).

Tabla 7. Efecto de la aplicación de DIMARGON (*A. chroococcum*) sobre el rendimiento de distintos cultivos económicos en Izmir (Turquía).

Especie	Variante	Rendimiento (t/ha)	Incremento (%)
Tomate	100% fertilizante DIMARGON	36.43	-
		45.87	26
Pimiento	100% fertilizante DIMARGON	18.92	-
		24.93	32
Berenjena	100 % fertilizante DIMARGON	91.20	-
		127.28	39
Maíz	100 % fertilizante DIMARGON	10.32	-
		12.53	21
Soya	100 % fertilizante DIMARGON	4.82	-
		6.13	27
Algodón	% fertilizante DIMARGON	3.62	-
		5.25	45

El incremento de los rendimientos osciló entre 20 y 45 % en las distintas especies que se aplicaron, a pesar de la reducción a la mitad del fertilizante nitrogenado, lo cual representa un elevado beneficio económico si se toman en cuenta los altos rendimientos que se obtienen en los controles y, a partir de ellos, los importantes aumentos que se logran con la utilización del biofertilizante. En México y Colombia existen numerosos resultados que coinciden con el efecto positivo de los biofertilizantes sobre el rendimiento y la reducción de la necesidad de fertilizante nitrogenado.

El CBFert es un producto obtenido a partir de cianobacteria y enriquecido con elementos minerales, aporta a las células de las plantas un complejo estimulador, formado por 17 aminoácidos, 11 variedades de vitaminas, macronutrientes, micronutrientes y oligopéptidos. La aplicación del CBFert acentuó la disminución de los contenidos de nitrato en la papa, aumentó el contenido de materia seca y mejoró las relaciones entre los elementos de la nutrición con respecto a la variante de fertilización edáfica (Arias, 2001).

La cepa 8 INICA de *Azospirillum* spp., proviene del cepario del INICA, y fue aislada en la rizosfera de la variedad de caña de azúcar Ja60-5 en suelo oscuro plástico. Esta cepa fue evaluada en un grupo de experimentos (28), los rendimientos alcanzados fueron muy superiores (Tabla 8), pues se obtiene una respuesta equiparable al empleo del 100% de nitrógeno mineral recomendado, de donde se puede inferir que 1Kg de nitrógeno resultó igual a inocular 1L del biopreparado.

Tratamientos	t de caña. ha-1	Rendimientos Relativos
N 0 + PK	50.12 b	1.00 b
N 100 % + PK	64.31 a	1.28 a
<i>Azospirillum</i> 100 L.ha-1 + PK	62.08 a	1.24 a

Tabla 8. Resultados de la cosecha de 28 experimentos de Azospirillum en forma líquida.

Tratamientos	t de caña. ha-1	Rendimientos Relativos N 0 + PK
50.12 b	1.00 b N 100 % + PK	64.31 a
1.28 a Azospirillum 100 L.ha-1 + PK	62.08 a	1.24 a

Fuente: Roldós, et al. (2000).

Letras iguales no difieren los tratamiento al 5% de probabilidad por la docima de Duncan (Lerch, 1977).

Este resultado además de las ventajas agronómicas y ecológicas que trae aparejadas, confirma su factibilidad económica, ya que 1L de este inoculante de Azospirillum cuesta 0.09 USD, mientras que 1 Kg. de N cuesta entre 0.50 - 0.60 USD (Roldós, et al., 2000). Buenos resultados se han obtenido con el Azospirillum en caña de azúcar (Figura 27).

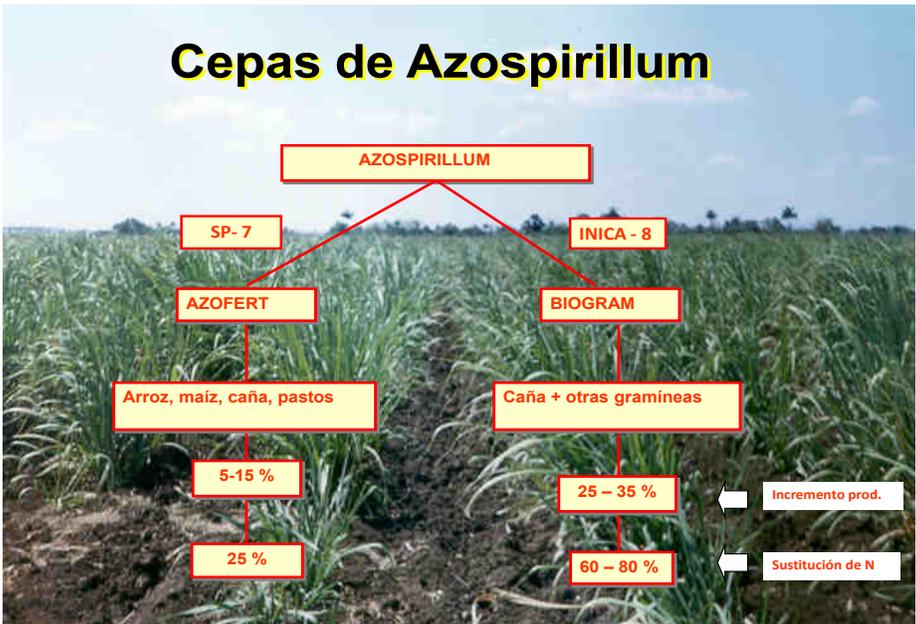


Figura 27. El Azospirillum como aportador de nitrógeno a la caña de azúcar (Fuente: Roldós, et al., 2000).

Existen biofertilizantes que solubilizan fósforo insoluble del suelo, con ello no se enriquece el suelo en ese nutriente, pues actúan sobre las reservas. Este proceso puede ser de importancia en aquellas condiciones en que las reservas sean elevadas pero el fósforo este en forma insoluble.

Con frecuencia existen suelos que contienen cada día mayor cantidad de fósforo no soluble, acumulado a través de los años por la aplicación excesiva de fertilizantes fosfóricos de origen químico y que es posible aprovecharlos mediante la acción de microorganismos solubilizadores.

La solubilización se desarrolla sobre el fósforo inorgánico y orgánico presente en el suelo. En el caso de la solubilización del fósforo inorgánico el principal mecanismo microbiológico por el cual los compuestos insolubles son movilizados en la producción de ácidos orgánicos, convierte, por ejemplo el  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  a fosfatos di y monobásicos, resultando en un aumento en la disponibilidad del elemento para las plantas. La cantidad solubilizada varía con el consumo de carbohidratos por los microorganismos y generalmente la transformación solo se lleva a cabo si el sustrato carbonado es convertido a ácidos orgánicos.

El fósforo también puede estar más disponible para la asimilación de las plantas por la acción de ciertas bacterias que liberan sulfuro de hidrógeno, producto que reacciona con el fosfato férrico para producir sulfuro ferroso, liberando el fosfato. Otra vía que predomina en los suelos inundados (arrozales) es la de reducir el hierro de los fosfatos férricos, proceso que origina la formación de hierro soluble con una liberación concomitante del fosfato en la solución. Este aumento en la disponibilidad del fósforo en suelos anegados puede explicar por qué el arroz cultivado bajo aniego requiere frecuentemente una cantidad menor de fertilizante fosfórico que el mismo cultivo que crece en terrenos agrícolas secos.

En el caso de la solubilización del fósforo orgánico la presencia en el suelo de un gran depósito de este elemento que no puede ser utilizado por las plantas, pone de manifiesto la importancia del papel de los microorganismos en la conversión del fósforo orgánico como elemento combinado en los restos vegetales y en la materia orgánica del suelo, a formas inorgánicas aprovechables por las plantas. Este proceso se desarrolla mediante enzimas que separan al fósforo de los sustratos orgánicos y que se denominan fosfatasa.

Como regla general una sola fosfatasa puede actuar en muchos sustratos diferentes y con esta actividad los microorganismos pueden aportar a las plantas entre el 30-60% de su necesidades de fósforo (Kusey, et al., 1989).

El dimazos produce un ligero incremento del rendimiento con la reducción del 50 % del fertilizante nitrogenado. Este incremento es mayor cuando se combinan las bacterias fijadoras del nitrógeno con el hongo solubilizador del fósforo del suelo, alcanzando a 18 %, a pesar de que se redujo a la mitad el fertilizante nitrogenado y el fosfórico (Tabla 9).

Tabla 9. Efecto de la aplicación de dimazos y fosfosol sobre el rendimiento del arroz en el Departamento de Tolima (Colombia).

Lugar	Variante	Rendimiento (kg/ha)	Incremento (%)
Hacienda "La Pilar"	100 % fertilizante dimazos dimazos+fosfosol	6437	-
		6937	8
		7625	18
Hacienda "San Lorenzo"	100 % fertilizante dimazos	7812	-
		8125	4

#### 4.6. Micorrizas

La simbiosis mutualista microbio-planta en ecosistemas naturales establece las micorrizas (del griego: micos, hongo y rizo, raíz) las plantas superiores como son las ectomicorrizas, endomicorrizas y entendomicorrizas y, en los sistemas fijadores de  $N_2$ , diferenciados en nódulos de leguminosa como el *Rhizobium*, *Frankia* actinorriza en las no leguminosa y por último plantas inferiores y cianobacterias (Barea, 2011). El efecto beneficioso de las micorrizas se ha reportado en diversos cultivos (Figura 28).



Figura 28. Efecto de las micorrizas en aguacate, fruta bomba y plátano. Fuente: Barea (2011).

Las micorrizas son asociaciones entre ciertos hongos del suelo y las raíces de las plantas y se han agrupado sobre la base de la anatomía de las raíces que colonizan:

- Ectomicorrizas: se caracterizan por la penetración intercelular del micelio fúngico en la corteza radical, que forma la llamada red de Hartich y el manto

que se desenvuelve alrededor de los segmentos de raíces colonizadas, provocando cambios anatómicos evidentes que producen el crecimiento dicotómico de esas raíces. El hongo es una seta o una trufa.

- Ectendomicorizas: son generalmente ectomicorizas con penetración intracelular. Existen diferencias anatómicas en función de las plantas hospederas, de manera que se diferencian los subgrupos de acuerdo con los géneros de plantas.
- Endomicorizas: la más antigua simbiosis microbio-planta del planeta, se caracterizan por la penetración inter o intracelular, pero sin formación de manto ni modificaciones evidentes en las raíces. Cumplen con esas condiciones algunos tipos de micorizas, son las de amplia distribución, las versículo-arbusculares (MVA) por su capacidad biofertilizadora.
- Las micorizas arbusculares (MA) incrementan de forma directa la nutrición de las plantas. Sin embargo las MA también benefician de forma indirecta la planta huésped mejorando la estructura del suelo mediante la formación y estabilización de los agregados (Bethlenfalvai, et al., 1999). Se nutren con fuentes de C procedentes de la fotosíntesis

Las micorizas están presentes en la generalidad de las plantas y agroecosistemas, se ha llegado a plantear que las plantas no tienen raíces, sino micorizas (las plantas toman sus nutrientes a través de las hifas de un hongo) que benefician a los cultivos en su enraizamiento, nutrición del cultivo, protección de las plantas frente a estreses bióticos y abióticos (mejoran la resiliencia de las plantas y de la comunidad), conservación del suelo, diversidad y sucesión vegetal. Una ilustración sobre el efecto de las micorizas (Barea, 2011) en el desarrollo y crecimiento de un cultivo se muestra en la Figura 29.



Figura 29. Primera fila a la izquierda control, segunda dos filas a la derecha plantas micorizadas de fruta bomba.

Fuente: Barea (2011).

Las MA puede desempeñar un papel importante en fitoremediación de suelos contaminados con metales pesados porque favorecen el establecimiento y desarrollo de las plantas, por lo que estas resultan más tolerantes a los MP.

Se seleccionaron dos agroecosistemas situados en las localidades de Bauta y Guanajay, ambos cultivados con frijol de soya, sobre suelo ferralítico rojo, y pardo sialítico respectivamente. Los muestreos se realizaron tres veces durante el ciclo de vida de la planta: antes de la floración (5 semanas), floración (10 semanas), y senescencia (16 semanas).

En cada muestreo fueron determinados el peso seco de raicillas, las micomasas de micelio externo e interno y la densidad visual de las MA, en los macroagregados mayores y menores de 2 mm. Los resultados muestran que en general las cantidades de micomasa de micelio externo de las MA fueron mayores en la fracción mayor de 2mm. En ambas localidades (3.4 veces y 2.1 veces para Guanajay y Bauta respectivamente). Este hecho sugiere que el micelio externo de las MA en uno de los principales contribuyentes en la formación de los macroagregados del suelo en las dos áreas estudiadas (Orozco, et al., 2001).

Desde los primeros trabajos se reportó una estrecha relación entre la efectividad de la simbiosis y los incrementos en la absorción de P, con la finalidad de conocer si los hongos micorrícico arbusculares son capaces de mejorar la absorción de P por el maíz, así como la producción de materia seca en presencia de una fuente de fósforo de baja solubilidad, se realizó un experimento en condiciones controladas, donde se utilizó un suelo Plinthic Paleustult, ácido, bajo en P y cuatro líneas de maíz, tres tolerantes a toxicidad por aluminio y una adaptada a suelos calcáreos. Los tratamientos fueron inoculación con hongos micorrícico arbusculares *Gigaspora margarita* (Gm) y un testigo sin inoculación (N) y cuatro líneas de maíz fertilizadas con 80 mg kg<sup>-1</sup> a partir de roca fosfórica. Después de 35 días se determinó materia seca del vástago y P absorbido por las plantas de maíz.

Los resultados demostraron que el hongo Gm fue más eficiente que los nativos, para la producción de materia seca y absorción de P, en condiciones de suelos ácido con baja disponibilidad de P y sugieren que el implemento del uso de la roca fosfórica en la producción agrícola de maíces tolerantes y no tolerantes a toxicidad por aluminio puede ser favorecida por la aplicación de hongos micorrícico arbusculares (Mendoza & Ramírez, 2001).

En un estudio realizado resultó que la absorción de los tres elementos mayores primarios estuvo relacionada con la micorrización al presentar siempre la plantas micorrizadas contenidos superiores, de cualesquiera de los elementos que en las no micorrizadas; los efectos fueron diferentes sobre los tres nutrientes dependientes del tipo de cultivo y suelo (Rivera, et al., 2001).

Las plantas micorrizadas presentan índices de absorción superiores a las no micorrizadas, lo cual conlleva a disminuciones en los requerimientos de fertilizantes, cuya magnitud depende del cultivo y tipo de suelo (Tabla 10), (Rivera, et al., 2001).

Tabla 10. Requerimientos de fertilizantes NPK para lograr una micorrización efectiva en diferentes cultivos, en suelos cambisoles en t.ha<sup>-1</sup> (Rivera, et al., 2001).

TRATAMIENTO	Grupo 1	Grupo 2		Grupo 3		
	Yuca	Boniato	Malanga	Pepino	Papa	Tomate
TESTIGO	36.3 c	23.0 c	27.3 c	6.5 c	19.3 d	19.5 e
HMA	40.7 b	26.7 bc	30.0 bc	9.03 bc	25.4 c	27.8 d
HMA +25%NPK	50.7 a	30.8 b	33.7 b	11.24 b	27.27 bc	31.3 c
HMA+ 50%NPK	51.1 a	38.1 a	38.8 a	14.3 a	29.3 b	37.2 b
HMA+ 75%NPK	51.4 a	38.7 a	40.0 a	14.3 a	33.0 a	41.4 a
100 %NPK	51.2 a	38.8 a	39.9 a	14.5 a	33.7 a	41.5 a
Es x	1.3	1.1	1.04	0.8	1.22	0.78
CV %	9.9	5.7	5.3	4.5	8.1	4.6

Letras diferentes indican diferencias entre tratamientos al 5% de probabilidad según dócima de Duncan (Lerch, 1977).

Las micorrizas ayudaron a las plantas a prosperar en un ambiente hostil, previo a su origen y durante su evolución y siguen desempeñando actualmente ese papel, ayudan a las plantas a vivir en ambientes sometidos a los estreses más extremos.

Existen determinadas consideraciones para el empleo de las micorrizas en los cultivos (Barea, 2011):

- El hongo micorrízico seleccionado debe inocularse al iniciarse la formación de raíces tróficas.
- Algunas turbas, componentes habituales de los substratos de producción, no son favorables a la micorrización.
- Dosis “agronómicas” de fertilizantes, fundamentalmente fosforados, reducen, e incluso eliminan, la micorrización.
- Determinados productos fitosanitarios, especialmente fungicidas, antagonizan a los hongos micorrízicos.

#### 4.7. Lombricultura

El análisis de una base de datos global (Proyecto IBOY) muestra que los tres grupos de invertebrados más importantes de la macro fauna de suelos tropicales son los llamados ingenieros del ecosistema: las lombrices de tierra, las hormigas y las termitas. Estudios recientes en México señalan que los dos primeros grupos predominan tanto por su diversidad como por su abundancia.

- Lombrices epigeas que no pueden hacer madrigueras en los estratos del suelo. Solo pueden moverse a través de las grietas de la superficie.
- Endógenos son los habitantes del subsuelo que se encuentran en la región más profunda del suelo.
- Lombrices de tierra anécica se encuentran en el suelo, que no es frecuentemente perturbado.

Especies de lombriz de tierra epigeas aumentan la tasa de producción de abono orgánico, mediante biodegradación / mineralización en comparación con otras especies. La categoría ideal de epigeas de lombriz de tierra utilizadas para Vermicomposting son la *Eudrillus eugeniae*, *foetidae Eisenia*, *excavatus Perionyx*, *mauritii Lampito* y *willsil Dravida* (Rajendran, et al., 2008).

Tres diferentes especies de lombrices *Eisenia fetida*, *Eugeniae Eudrilus* y *Excavatus Perionyx* en individuales (monocultivos) y combinaciones (policultivos) se utilizaron para comparar la idoneidad de especies para vermicompostaje, así como la calidad del producto final. Cachaza mezclada con polvo de sierra se puede convertir directamente en fertilizante de buena calidad (vermicompost). El humus de lombriz es de color marrón oscuro (hacia ne-

gruzco) y homogéneo después de 45 días de actividad de las lombrices (Khwairakpam & Bhargava, 2009).

Existen especies de lombrices que tienen características peculiares en la degradación de los materiales orgánicos como alta voracidad, alta capacidad reproductiva, capacidad de adaptación a diferentes altitudes y son de fácil manejo, lo que permite criarlas en cautiverio.

Del manejo de lombrices en cautiverio en sustratos orgánicos se obtienen por una parte, la propia lombriz (contiene hasta 70% de proteínas b.s.) que sirve como alimento a los animales de la granja e incluso al propio hombre, pues existen productos enlatados enriquecidos con ella y por otra parte, el humus de lombriz que se caracteriza como fuente de humus, nutrientes y sobre todo microorganismos; dentro de estos existen fijadores de nitrógeno, controladores de patógenos, etc., por esa razón, el humus de lombriz resulta un excelente abono.

En un estudio en que se estableció la lombricultura a partir de la gallinaza y se utilizó la lombriz roja (*Eisenia* spp) como suplemento a razón de 50 g/ave/día en la alimentación de aves (contenido de proteína 63.2%), se encontró un aumento significativo en la producción de carne y huevo de las gallinas (Monterrubio, et al., 2001).

Aunque las lombrices pueden digerir una amplia gama de residuos orgánicos y producir vermicompost es mejor utilizar residuos orgánicos pre-digeridos por actuar más rápido y producir compost de alta calidad. Los residuos pre-digeridos son un medio ideal. El material previamente digerido se convierte en vermi-compost en 30 días. Estiércol de vaca fresca, la que es rociada sobre las varias capas de la pila. El montón tiene que ser mantenido húmedo por el riego regular y tendrá que ser volteado dos a tres veces en un intervalo de diez días (Rajendran, et al., 2008).

Las lombrices de tierra constituyen más del 80 por ciento de la biomasa de invertebrados del suelo. Se alimentan de una variedad de materiales de residuos orgánicos y contienen más microorganismos, materia orgánica y minerales inorgánicos, en la forma que pueden ser utilizada por las plantas (Rajendran, et al., 2008).

Yepis, et al. (2001), estudiaron diferentes dosis y combinaciones de humus

de lombriz aplicado localizado en el tomate, reportan los mejores resultados con 4.5 t/ha de humus más 75 % de la fertilización mineral recomendada.

Los posibles beneficios ambientales de la vermicología incluyen la reducción de las cualidades nocivas de los residuos orgánicos, la eliminación / reducción de microorganismos nocivos, la conversión de los agro-residuos en fertilizante de alto valor y la producción de alimentos y piensos procedentes de desechos de alimentos. Vermicompost mejora la fertilidad del suelo durante años sin afectar la calidad de los alimentos. El contenido de NPK de vermicompost es superior al de los residuos de corral (Rajendran, et al., 2008).

Estudios en México señalan que los ingenieros edáficos se han limitado al grupo de las lombrices. Se discute el potencial del manejo “in situ” de los ingenieros edáficos, en agro ecosistemas con prácticas agrícolas conservadoras y de bajos insumos (Fragoso & Rojas, 2001). La degradación de los suelos podría ser tan acelerada con la agricultura actual que el pesimismo de un experto de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura sería una realidad (Figura 30).

Organización de las Naciones Unidas  
para la Alimentación y la Agricultura



- “Nos quedan 60 años de suelo en la tierra”
- La degradación de los suelos nos va a acabar antes del cambio climático
- “El 66% de las tierras del mundo son degradadas”
- 100% de las tierras cultivadas son degradadas?



Figura 30. El futuro con la agricultura actual y la producción de alimentos.

Una de las causas a que actualmente se atribuye en gran medida la degradación de los suelos es la labranza, mientras menos se mueva el suelo mayor será la conservación de la materia orgánica, lo que lleva al concepto de cero labranza para conservar importantes propiedades de los suelos como

la formación y conservación de los agregados. El ciclo de formación y destrucción de un agregado comienza cuando se forma un agregado, luego se hace inestable y eventualmente es destruido. La perturbación ocurrida por la labranza, acorta el “ciclo de vida” de un macroagregado disminuyendo la formación de nuevos microagregados y la captura de C dentro de ellos (Six, et al., 2000).

La degradación del suelo puede tener causas naturales y antropogénicas, siendo estas últimas las que mayores efectos negativos provocan, esto debido a la actividad humana en el mundo. Entre los factores provocantes de degradación física del suelo se encuentra la compactación, la cual ha sido considerada como la principal causa de degradación.

La degradación de los suelos disminuye la producción de alimentos, significa hambre y pobreza. El hambre es una violación de la dignidad humana y al mismo tiempo un obstáculo para el progreso social, político y económico. El hambre perpetúa, la pobreza impiden que las personas desarrollen sus potencialidades y contribuyan al progreso de sus sociedades.

## Capítulo V.

### Aprovechamiento agrícola de residuos en la agricultura

Nelson Cristóbal Arzola Pina  
Hipólito Pérez Iglesias  
Irán Rodríguez Castro

#### 5.1. El suelo y las plantas como sumidero de carbono

Los gases de efecto invernadero son principalmente el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), ( $\text{O}_3$ ) y el vapor de agua (Villalobos, 2005). Mientras mayor cantidad de carbono se almacene en el suelo, mejor será la fertilidad y capacidad productiva del suelo, menor el efecto invernadero, por pasar menos carbono a la atmósfera, y menor la contaminación de las aguas con residuos orgánicos. La alteración antropógena de los ciclos biogeoquímicos del C, N, O, H amenaza con llegar al límite, en que se crearon las condiciones que hicieron posible la aparición de la vida del hombre en el planeta y los esfuerzos por revertir esa situación, depende de actitud de cada persona, que deberá actuar en su lugar y a su nivel de forma positiva. El metano ( $\text{CH}_4$ ), el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), los clorofluorocarbonos (CFC), el ozono

Un ecosistema es una entidad natural (o sistema) con estructuras y relaciones características que entrelazan a las comunidades bióticas (de plantas, animales y microorganismos) entre sí y con su medio ambiente abiótico. Los ecosistemas forman grandes sistemas naturales, como las praderas, los manglares, los arrecifes coralíferos y los bosques tropicales, pero también los agroecosistemas, cuya existencia y mantenimiento dependen mucho de las actividades humanas (Campbell, 1996).

La materia orgánica es una mezcla de residuos orgánicos sin descomponer y de sustancias húmicas sintetizadas por vía química y biológica, así como de la ruptura de estos materiales, de los productos metabólicos y de los residuos de descomposición de microorganismos y de la fauna del suelo. Como el 58% de la materia orgánica se considera carbono orgánico del suelo (COS), dividiendo el contenido de materia orgánica por el factor 1.724 se podría conocer el contenido del mismo (Arzola, et al., 2008).

El COS se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas afectando las propiedades del suelo relacionadas con el rendimiento sostenido de

los cultivos. El COS se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, al aportar elementos como el N cuyo aporte mineral es normalmente deficitario. Además, al modificar la acidez y la alcalinidad hacia valores cercanos a la neutralidad, el COS aumenta la solubilidad de varios nutrientes. El COS asociado a la materia orgánica del suelo proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico. Su efecto en las propiedades físicas se manifiesta mediante la modificación de la estructura y la distribución del espacio poroso del suelo (Martínez, et al., 2008).

La Sociedad Internacional de las Sustancias Húmicas ha estandarizado los métodos de aislamiento y fraccionamiento de las SH, considera: 1. Ácidos Húmicos; como la fracción no soluble en agua bajo condiciones acidas (pH menor de 2) pero soluble a mayor pH; 2. Ácidos Fulvicos; la fracción que es soluble en agua a cualquier pH; y 3. Huminas; la fracción que no es soluble en agua en ningún pH.

Dentro de la fracción húmica, las huminas son el componente más abundante. Las huminas incluyen una amplia gama de compuestos químicos insolubles en medio acuoso y contienen, además, compuestos no húmicos como largas cadenas de hidrocarburos, ésteres, ácidos y estructuras polares, que pueden ser de origen microbiano, como polisacáridos y glomalina, íntimamente asociados a los minerales del suelo (Hayes & Clapp, 2001). Las huminas representan más del 50% del COS en suelos minerales (Kononova, 1966) y más del 70 % del COS en sedimentos litificados (Hedges, et al., 1995). En un estudio de un suelo de Irlanda manejado con pradera y trigo en labranza convencional Simpson, et al. (2007), encontraron cinco clases de los principales compuestos de las huminas.

La relación C orgánico lábil: C orgánico total es un indicador del efecto de diferentes sistemas productivos sobre la fracción orgánica del suelo (Galantini, 2002; Neufeldt. et al, 1999). Este indicador se utiliza para evaluar los cambios de MOS asociados a sistemas de labranza, uso y capacidad productiva de los suelos. La razón entre la concentración de C en la fracción arcilla-limo y el C orgánico total, o factor de enriquecimiento de C, es otro indicador que permite estudiar el almacenamiento de C en suelos con distinto historial de manejo (Matus, 2003). La "razón de estratificación" de la MOS es un indicador de calidad de suelos propuesto por Franzluebbbers (2001), basado en el hecho que los suelos naturales de pradera o forestales tienen sus propieda-

des estratificadas en profundidad.

La MOS puede ser protegida de descomposición acelerada mediante: 1) estabilización física por la microagregación; 2) estabilización físico-química mediante asociación con partículas de arcilla; y 3) estabilización bioquímica mediante la formación de compuestos altamente recalcitrantes (Six, et al., 2002).

Parece ampliamente aceptado que un umbral importante es el 2% de carbono orgánico total del suelo (COT) (3,4% MO), por debajo del cual puede ser grave la disminución de la calidad del suelo para producir (Loveland & Web, 2003).

Muchos suelos en el oeste de Estados Unidos y de Canadá sufrieron disminución significativa en la estabilidad estructural cuando el carbono orgánico total del suelo (COT) era menos de 2%, de manera similar. Greenland, et al. (1975) llegaron a la conclusión de que los suelos de Inglaterra y Gales con <2% COT eran propensos al deterioro estructural. Sin embargo, este umbral del 2% es una regla de oro para indicar la estabilidad estructural del suelo, no una medida de las propiedades físicas del suelo en el campo (Departamento de Medio Ambiente, 1997; Loveland & Web, 2003).

Sin embargo, este valor de 2% del COT (equivalente a 3,4% MO) se toma a menudo como un umbral por debajo del cual el suelo se vuelve físicamente inestable, más susceptibles a los daños, al cultivo y a la erosión. La sociedad debe preocuparse cuando una proporción significativa de los suelos están por debajo de este valor (Pretty, 1998). El rendimiento de los cultivos podría sufrir debido a la reducción en la capacidad del suelo de reciclar los nutrientes. La Comisión Real sobre Contaminación Ambiental (CRPE), en su informe sobre Uso sostenible del suelo (Departamento de Medio Ambiente, 1997), comentó sobre la inconveniencia de permitir disminuir demasiado, la MO, aunque evitó la recomendación de valores límite.

Estudios realizados en una amplia gama de tipos de suelo, cultivos y regiones; sugieren de forma *muy provisional* (esto no puede ser suficientemente enfatizado) que, *independientemente del tipo de suelo*, si el COT disminuye por debajo a 1% puede que no sea posible obtener rendimiento alguno, probablemente debido a las reducciones en N-mineralizable, incluso con adición de fertilizantes (Loveland & Web, 2003).

Atendiendo a los resultados obtenidos en condiciones de clima templado, se proponen a modo de orientación (hasta que se disponga de mayor información), los rangos siguientes (Tabla 11).

Tabla 11. Rangos de abastecimiento para el contenido de carbono orgánico total del suelo.

Rango de abastecimiento	% de C	% de MO
Muy pobre	<1	<1.7
Pobre	2-1	3.4-1.7
Rico	>2	>3.4

Fuente: Adaptado de Loveland & Web (2003).

La calidad de la MO puede diferir ampliamente bajo diferentes condiciones, el método analítico determina el carbono orgánico total, por lo que un mismo contenido de carbono total podría variar en su calidad y efecto sobre las propiedades del suelo y el rendimiento del cultivo, por ejemplo, en la bahía de Cienfuegos la contaminación con hidrocarburos ocasiona que estos sean los mayores contribuyentes a la materia orgánica, incluso la concentración de carbono orgánico puede ser un indicador de la contaminación con petróleo en la zona (Tolosa, et al., 2009, 2010); esto, aunque poco probable en los suelos, podría ilustrar por qué el carbono orgánico total no es un indicador absoluto e independiente de la calidad de la materia orgánica en el suelo.

Un método estudiado por Marinarim et al. (2010), para determinar el carbono en el suelo es la extracción del carbono orgánico soluble (solución acuosa con baja concentración iónica a menudo conocida como WEOC). La relación de los contenidos determinados con ese método se correlacionan con la relación C/N  $r=-0.47^{**}$ . El método convencional de determinar el carbono orgánico total (COT) mostró mayor relación con el contenido de nitrógeno total del suelo ( $r=0.69^{***}$ ), con la relación C/N ( $r=0.88^{**}$ ), con el índice de humificación ( $r=0.70^{***}$ ) y otros indicadores.

La contaminación de las aguas potables del manto freático es un importante aspecto a tener en cuenta con los residuos orgánicos. El dejarlos expuestos superficialmente en el suelo, parece ser la peor opción, pues por escorrentía mayor cantidad de la materia orgánica que ellos contienen pueden llegar a presas y ríos, mientras que de aprovecharlos como abonos incorporándolos a los suelos son beneficiosos para los cultivos y se protegen las aguas superficiales.

En una información completa de la DQO de de las aguas potables de la provincia de Cienfuegos (brindada por el instituto nacional de recursos hidráulicos, INRH) se encontró que en esta provincia, eran poco frecuentes valores de DQO por encima de las normas establecidas para el consumo del agua potable, no obstante, frecuentemente el agua de los pozos en comparación con la de las presas era menos afectada (Arzola, 2015).

En condiciones naturales se establece un sistema casi cerrado entre el suelo y la vegetación que sobre él se desarrolla, pues la vegetación toma nutrimentos del suelo, forma biomasa, sus restos orgánicos se incorporan de nuevo y suministra nutrimentos y humus. Cuando el hombre elimina esa vegetación y cultiva el suelo, altera ese equilibrio, en la cosecha se lleva parte de los nutrimentos y de la materia orgánica que anteriormente se incorporaba, además, los cultivos generalmente son menos eficientes en absorber la radiación solar que los bosques, esta situación es más aguda en el trópico y origina:

- a) Una menor formación de biomasa y aporte de materia orgánica al suelo
- b) Mayor temperatura del suelo lo que provoca mayor tasa de descomposición de la materia orgánica y mayor evaporación del agua.

Bajo condiciones de laboreo en el trópico el menor aporte de restos orgánicos y la mayor descomposición de estos en el suelo no solo por la mayor radiación solar, sino también por la mejor aireación, origina que aumente la tasa de descomposición de la materia orgánica. Para conservarla es necesario dirigir permanentemente el proceso de transformación de los restos orgánicos hacia la formación de sustancias húmicas estables, lo que significa disminuir la emisión de gases a la atmósfera, contribuye ello a atenuar el efecto invernadero y a elevar la productividad de los ecosistemas terrestres (Martínez, et al., 2001).

Al comparar áreas plantadas con e caña de azúcar con las de un bosque del Jardín Botánico de Cienfuegos que corresponde a un tipo de bosque semi-deciduo mesófilo, se encontró; que en la actualidad existen rasgos originales de la flora y fisonomía que lo caracterizan, pero también variaciones en las características del suelo de acuerdo al uso de la tierra (Castañeda, 2002).

El contenido de COT del suelo se favorece cuando se mantiene sin laboreo como sucede en un bosque y mediante el empleo de abonos orgánicos,

como se ejemplifica con la aplicación de los residuos del procesamiento agroindustrial de la caña de azúcar, lo que está en correspondencia con la necesidad de reciclar los mismos dada las mejoras que de esta forma se obtiene en el suelo y el daño que se deja de hacer a las aguas y a la atmósfera (Tabla 12).

Tabla 12. Influencia de la aplicación de residuos del procesamiento agroindustrial de la caña de azúcar sobre el contenido orgánico del suelo (Arzola, 2006b).

Abono Orgánico	Variación Del C.O.T. en el suelo (%)	Variación en t de COT.ha-1	Condición
Cachaza	0,89	19.94	Incorporada en suelo húmico calcimórfico
Residuo de Elaboración de levadura torula	1,18	26,43	Riego 7 años en suelo ferralítico amarillo gleysado
Riego con cachaza disuelta en agua	0.26	5.85	Riego más de diez años en suelo ferralítico rojo hidratado y compactado
Cachaza	0.30	6.63	60t/ha de cachaza incorporada en la preparación de un suelo pardo sin carbonatos típico.

En general, los componentes fácilmente oxidables de la MO tienen una vida media <1 año, mientras que las formas asociadas con la acumulación a largo plazo de la MO tienen una vida media de 25 años o más (Tisdall & Oades, 1982). La relación entre la corta vida de la MO y la vida a largo plazo de la MO a menudo se supone que es relativamente constante una vez que la MO está en o cerca del equilibrio, y esta suposición se basa en muchos modelos matemáticos (Smith, et al., 1996).

Prácticas agrícolas comparadas en microparcels por Arzola (2005, 2007) en el estudio conocido como TSBF (Tropical soil biological fertility), que incluyeron labranza, barbecho, abono orgánico y cultivo de caña de azúcar, demuestran (como promedio de todos los muestreos realizados) que con el empleo de cachaza se alcanzan los mayores contenidos de COT, los más bajos en el suelo que se mantuvo bajo laboreo (Tabla 13).

Tabla 13. Contenido de carbono en el suelo pardo sin carbonatos sometido a diferentes manejos agronómicos (promedio de todos los muestreos).

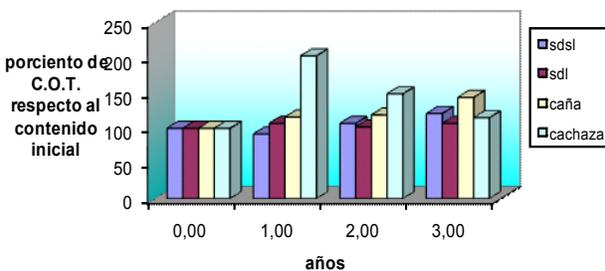
Indicador			Caña de azúcar	Cachaza 100 t .ha-1.
	Sin labrar (sdsl)	Labrado (sdl)		
Carbono orgánico Total (%)	1,78	1,66	2,01	2,14
t de carbono orgánico total/ha	39.87	37.18	45.02	47.94
*Relación CFL/CFG	9.81	10.19	12.59	8.51

Fuente: Arzola (2005, 2007).

Esto se puede explicar por el elevado aporte de carbono de la cachaza, en contraste con el pobre aporte de carbono en el suelo bajo laboreo y existir una mayor tasa de descomposición de los compuestos orgánicos en el suelo bajo laboreo (Sánchez, 1976).

El efecto de la cachaza aplicada sobre el COT decrece con el tiempo a partir de su aplicación, en tanto que con el cultivo de la caña aumenta este indicador al transcurrir el tiempo, por ello de forma sostenida solo se logran incrementos de COT con el cultivo de la caña de azúcar (sin quemas), lo que puede atribuirse al aporte de paja, raíces y otros restos orgánicos que enriquecen el suelo. El suelo cultivado de caña de azúcar mostró la mayor relación de fracción ligera de carbono / fracción gruesa de carbono, lo que se considera podría servir de indicador sobre la calidad de la materia orgánica.

De forma sostenida solo el cultivo de la caña de azúcar (sin quemas ) incrementa el contenido de COT del suelo, pues al transcurrir tres años presenta los mayores valores de ese indicador (Arzola, 2005, 2007), lo que puede atribuirse al aporte de paja, raíces y otros restos orgánicos que parecen formar compuestos estables en el suelo (humus) (Figura 31).



sdsl: suelo denudo sin labrar; sdl: suelo desnudo lavado.

Figura 31. Comparación de la variación del COT del suelo en los diferentes tratamientos a través del tiempo.

Fuente: Arzola (2005, 2007).

Dejar el suelo sin sembrar disminuye el contenido de COT con respecto a cuando permanece plantado de caña de azúcar, en otras palabras, el suelo debe permanecer el mayor tiempo posible con caña de azúcar y se podría esperar que un mayor rendimiento y aporte de restos orgánicos de este cultivo beneficiaría en mayor medida el contenido orgánico del suelo.

El menor contenido de COT se presentó en el suelo bajo laboreo, esto sugiere que es beneficioso mover el suelo durante su preparación lo menos posible y el menor tiempo posible, para disminuir de esa forma la tasa de mineralización de los compuestos orgánicos del suelo y las pérdidas por erosión. Como en la materia orgánica se encuentra más del 95% del nitrógeno total del suelo, estas variaciones del COT tienen gran influencia sobre las reservas de este nutriente y la nutrición nitrogenada de los cultivos.

## 5.2. Residuo líquido de la elaboración de azúcar

El reciclaje de los residuos del procesamiento agroindustrial de la caña de azúcar, ha mostrado generalmente efectos positivos sobre la producción de caña. Aquellos casos en que se han encontrado efectos negativos se han asociado a un elevado vertimiento de azúcares al embalse o un gran tiempo de retención en el mismo, lo que ha ocasionado que los azúcares se transformen en ácidos orgánicos tóxicos para las raíces de las plantas y se presente una fuerte acidez del residuo, también se reportan daños, cuando el ácido clorhídrico y el hidróxido de sodio de las limpiezas no se excluyen del residuo y cuando no existen trampas de grasa (Arzola, et al., 1986; Arzola & Yera, 1995b).

Los residuos de producción de azúcar crudo (RC) son pobres en nutrientes (0,036, 0.033 y 0.064 kg/m<sup>3</sup> de N, P y K respectivamente), al igual que el efluente líquido del almacenamiento de bagazo para elaborar papel (se lava con agua la pila de bagazo y drena un efluente ácido y pobre en nutrientes) y es conocido como patio de bagazo (PB). Al comparar ambos residuos con un control que recibió fertilización mineral completa y una norma total de riego con agua igual a la utilizada para ambos residuos; resultó que los rendimientos del RC y del PB fueron similares al control (que recibió riegos y fertilización mineral completa) sin diferencia significativa entre ellos. Ello sugiere que cualquiera de estos residuos utilizados en normas como si de agua de riego se tratara sustituyen la fertilización mineral y el agua de riego (Arzola & Yera, 1995b) (Tabla 14).

Tabla 14. Influencia en diferentes proporciones con el RC y del PB sobre el rendimiento de la caña de azúcar

Tratamiento (m3/ha/cosecha)	Toneladas de pol ha-1		
	Caña planta	1er retoño	2do retoño
I. Riego con agua con norma de 1 750 m3 ha-1	1929	19.71	21.59
II. Riego con RC con norma de 1 750 m3 ha-1	22.12	20.11	16.27
III. Riego con PB con norma de 1 750 m3 ha-1	21.71	20.88	20.25
IV. Mezcla de 290m3 de PB y 1 460 m3 ha-1 de RC	23.93	22.32	18.42
V. 160 m3 ha-1 de PB y 1590 m3 ha-1 de RC	23.12	21.98	17.28
VI. 110 m3 ha-1 de PB y 1640 m3 ha-1 de RC	20.81	20.56	18.02
VII. 85 m3 ha-1 de PB y 1665 m3 ha-1 de RC	20.64	20.86	18.43
Sx	2.18	1.37	3.77

### 5.3. Residuos de la elaboración de alcohol y levadura torula

En la actualidad las materias primas empleadas para la síntesis biológica de etanol a partir de la caña de azúcar son las mieles y el jugo de la caña. En la agroindustria de la caña de azúcar las vinazas constituyen el principal residuo líquido de la fermentación de la fabricación de alcohol.

Las vinazas de destilería son los residuales de mayor agresividad y carga orgánica que genera la agroindustria de la caña de azúcar en su conjunto, los que son muy agresivos por su elevada carga orgánica que varía entre 60 000 a 150 000 mg DQO/L, casi mil veces mayor que lo permitido por las normas ambientales vigentes.

#### - Vinaza

Las vinazas constituyen el principal residual líquido de la fermentación de los azúcares para obtener alcohol. Aunque no contienen virus o bacteria patógenos su gran efecto negativo cuando se vierte a las aguas, se debe a la materia orgánica que ocasiona una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

En Brasil uno de los factores que se considera importante para definir la dosis de vinaza a emplear es la materia prima utilizada en la fabricación del alcohol, con ella varía el aporte de nutrimentos y en particular, de potasio de la vinaza (miel o guarapo).

El potasio no se requiere como complemento de la vinaza para su uso como abono y en general se acepta como indicador para diagnosticar la necesidad

de continuar aplicando la misma en las áreas cañeras, lo que se explica por las elevadas cifras que de este nutrimento se suministran al suelo (Filho, et al., 1983).

Las dosis de vinaza que se aplican con camiones tanques a las áreas cañeras de Brasil varían entre 50 y 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> dependiendo esto de la concentración de potasio. Arzola, et al. (2013), propusieron un sistema racional para utilizar la vinaza en la caña de azúcar con camiones cisternas, al igual que se realiza en Brasil; integraron para definir la dosis a emplear, el contenido de potasio del suelo, de la vinaza y el rendimiento esperado.

#### - Levadura torula

La vinaza de la destilería se utiliza con buenos resultados para sustituir la miel en la elaboración de la levadura torula, que es un microorganismo unicelular que en presencia de oxígeno puede reproducirse rápidamente consumiendo azúcares reductores contenidos en la miel final o en la vinaza.

Para este consumo se hacen aportes de nitrógeno y de fósforo asimilables mediante sales nutrientes (fosfato de amonio, sulfato de amonio y urea). El producto final es un sólido pulverulento de color beige claro con un contenido de proteína bruta base seca de 47.8 % mínimo.

La torula es un microorganismo que posee un elevado contenido de proteínas, una fuente de gran valor alimenticio, que mezclada con otros alimentos, brinda pienso que sirve de alimento a la masa avícola y al ganado porcino. Aproximadamente 4,5 toneladas de miel de purga más sulfato y fosfato de amonio y urea producen una tonelada de levadura seca, con valor proteico entre 46 y 52 %.

En Cuba existen raciones para diferentes especies de animales en las cuales la levadura torula representa una importante fuente de proteínas y vitaminas; de esta forma cuando se utiliza la vinaza como materia prima en sustitución de la miel para fabricar la levadura torula, esta se convierte de un residuo muy agresivo y contaminante, en materia prima para la producción de alimentos.

De la elaboración de levadura torula también queda un residuo líquido (RLT), menos agresivo y contaminante que la vinaza, además se puede utilizar en mayores normas de riego que la vinaza, sin perjuicio para los suelos y en beneficio de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Arzola 1989 y

2000; y Arzola & Yera ,1995a).

La miel subproducto de la industria azucarera, en la cual se concentra casi todo el potasio que llega al ingenio, es la materia prima fundamental para la obtención de alcohol, cuyo residuo es la vinaza y cuando esta última se emplea para producir levadura torula, queda un residuo líquido ácido y rico en nutrientes, en correspondencia con las materias primas empleadas.

Los resultados obtenidos por Arzola (1989, 2000); y Arzola & Yera (1995a), con el empleo del residuo de torula en el cultivo de la caña de azúcar muestran que incrementa el nivel de materia orgánica, los agregados estables, el contenido de nitrógeno, de fósforo y en especial de potasio cambiante del suelo, mientras que el suelo no se acidificó a pesar de su reacción ácida.

Con ese propósito, bien podría utilizarse el contenido de potasio cambiante del suelo, nutriente que en mayor medida aporta este residuo y el más sensible a sufrir cambios antes de que algún efecto negativo secundario pueda aparecer. Para el primer ciclo de cosecha se obtuvo la ecuación:  $t \text{ ha}^{-1} \text{ de pol} = 78,88 + 0,0000035 (\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ de residuo})^2$ ,  $R^2 = 0,95$  y para el segundo ciclo de cosecha:  $t \text{ ha}^{-1} \text{ de pol} = 60,17 + 0,005 (\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ de residuo}) + 0,00000041 (\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ de residuo})^2$ ,  $R^2 = 0,94$ . A partir de esas ecuaciones es posible establecer la tabla 15, para diferentes normas de empleo del RLT (Arzola & Yera, 1995a).

Tabla 15. Toneladas de pol  $\text{ha}^{-1}$  acumuladas en tres cosechas con diferentes normas totales de aplicación de RLT, para un primer ciclo con aplicación y un segundo ciclo con el efecto residual del primero (suelo ferralítico rojo de la UEB Antonio Sánchez) (Arzola & Yera, 1995a).

Ciclo	$\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de RLT			
	0	500	1000	1500
Primero	78.8	79.7	82.3	86.7
Segundo	60.1	62.7	65.5	68.6
Diferencia	18.7	16.9	16.8	18.1

Debe destacarse que el nivel cero recibió una norma de riego con agua de pozo igual a la utilizada en cada tratamiento con RLT y también la fertilización mineral completa recomendada para esa condición. Como con cualquier norma de empleo de RLT se alcanzó mayor rendimiento que con el empleo de riego con agua de pozo más fertilización mineral completa, puede afirmarse que el fertirriego con RLT sustituye a ambas y podría superarlas.

Entre los factores beneficiosos de este residuo se mencionan los contenidos

de materia orgánica y nutriente, la población de microorganismos incrementa con respecto al control con agua y fertilización mineral cuando se aplicó RLT (Arzola & Yera, 1995a).

Paneque, et al. (1989), reportan que la aplicación de RLT en un vertisuelo, incrementó significativamente los contenidos de potasio, fósforo y materia orgánica, mientras que prácticamente no modificó el contenido de sales solubles.

Arzola & Cairo (1985b), reportaron beneficios de este residuo sobre las propiedades físicas, químicas y físico-químicas del suelo en estudios, realizados en un suelo ferralítico amarillento en áreas de producción en Cuba; se destaca que su empleo sistemático, mediante riego por gravedad con elevadas normas totales, durante casi 10 años, en áreas de producción, originó incrementos de la materia orgánica, nutrientes (en especial el potasio), acidificación del suelo, disminución del contenido de calcio y magnesio cambiabile.

En evaluaciones realizadas con los residuos líquidos obtenidos en la producción de azúcar crudo en los ingenios se ha encontrado que, el embalse es favorable para homogeneizar y enfriar el residuo, pero un tiempo de retención superior al necesario para ese propósito, origina disminución de su contenido orgánico y facilita que los azúcares formen ácidos orgánicos tóxicos para las raíces de las plantas (Arzola, 2000).

#### **5.4. Residuos sólidos de la agroindustria de la caña de azúcar**

##### **- Cachaza**

La cachaza está formada por un conjunto de sólidos que sedimentan durante la clarificación del guarapo y que incluyen fibra, cera, grasa, materia terrosa, azúcares, fosfatos de calcio y compuestos nitrogenados.

##### **- Composición**

En su composición elemental se presentan una gran variedad de nutrimentos requeridos por el cultivo y que abarca tanto macro como microelementos (Bejottes, 1988) (Tabla 16).

Tabla 16. Contenido de C orgánico y nutrientes de la cachaza proveniente de diferentes lugares (% en base seca) (Bejottes.1988)

Componentes	Tomada en los filtros	Tomada en los camiones	Almacenada (Cachaza vieja)
C orgánico	28.23	26.40	24.83
N	2.35	3.30	2.18
Relacion C/N	12.01	8.00	11.38
K <sub>2</sub> O (K)	0.37 (0.31)	0.43 (0.36)	1.04 (0.86)
Ca (Ca)	4.94 (3.53)	4.67 (3.34)	8.08 (5.77)
MgO (Mg)	0.57 (0.83)	0.62 (0.41)	0.09 (0.06)
SO <sub>3</sub>	0.47	0.73	0.92
Cl	0.07	0.10	0.16
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.03	0.19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.40	0.06	0.30
Sílice	11.53	11.45	17.72

- Efectos de la cachaza sobre propiedades del suelo

Con la aplicación de cachaza se incrementa el contenido de materia orgánica, fósforo asimilable, nitrógeno total, calcio cambiante y potasio acuoso, en tanto que disminuye la acidez del suelo (Arzola & Monomou, 1981) (Tabla 17 y 18).

Tabla 17. Efecto de la aplicación de cachaza sobre algunas características del suelo ferralítico rojo (diferencia cachaza-testigo).

Característica	Tiempo de aplicación(meses)		
	1	2	6
Materia orgánica (%)	0.78 **	0.78**	1.43 **
Valor T (cmol(+) kg-1)	-0.8	0.5	1.8
pH CIK	-0.1	0.0	0.1
Nitrógeno hidrolizable (mg N kg-1)	6	34**	75**
Fósforo asimilable por Olsen (mg P kg-1)	64.9**	64.3**	20.5**
Potasio acuoso (mg K kg-1)	131**	136**	195**
Potasio cambiante (mg K kg-1)	0.6*	0.8*	1.1**
Calcio cambiante (mg Ca kg-1)	24.9**	7.7	20.0**
Magnesio cambiante (mg Mg kg-1)	7.0	16.2	15.9
Sodio cambiante (mg Na kg-1)	0.6**	0.2	0.6**

\*Diferencia significativa entre tratamientos al 5% de probabilidad (Lerch, 1977).

\*\*Diferencia significativa entre tratamientos al 1% de probabilidad (Lerch, 1977).

Tabla 18. Efecto de la aplicación de cachaza sobre algunas características del suelo pardo grisáceo (diferencia cachaza–testigo).

Característica	Tiempo transcurrido desde la aplicación(meses)		
	1	2	6
Materia orgánica (%)	0.82 **	0.74 **	1.08 **
Valor T (cmol <sup>(+)</sup> .kg <sup>-1</sup> )	2.2	1.8	1.3
Nitrógeno hidrolizable (mgN.kg <sup>-1</sup> )	63	51	122
pH CIK	0.5**	0.6**	0.4**
Fósforo asimilable por Olsen (mg P.kg <sup>-1</sup> )	82.3*	99.1**	41.7**
Potasio acuoso soluble (mg K.kg <sup>-1</sup> )	8.9**	9.4**	6.9**
Potasio cambiabile (mg K.kg <sup>-1</sup> )	-0.5	0.6**	0.2
Calcio cambiabile (mg Ca.kg <sup>-1</sup> )	23.8**	52.7**	16.1
Magnesio cambiabile (mg Mg.kg <sup>-1</sup> )	21.0	-4.4	3.8
Sodio cambiabile (mg Na.kg <sup>-1</sup> )	0.0	1.6*	0.1

\*Diferencia significativa entre tratamientos al 5% de probabilidad (Lerch, 1977).

\*\*Diferencia significativa entre tratamientos al 1% de probabilidad (Lerch, 1977).

#### - Composición foliar

La cachaza incorporada con toda la masa del suelo antes de la plantación aumenta en primer lugar los contenidos de fósforo, en segundo, los de nitrógeno y solo ocasionalmente los de potasio (Arzola & Cairo, 1985a) (Tabla 1|9).

Tabla 19. Influencia de la aplicación de cachaza sobre la composición del tejido foliar.

t de cachaza/ha	% N	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% K <sub>2</sub> O	Relación N:K <sub>2</sub> O
0	1.70	0.515	1.37	1.24
45	1.80	0.596	1.31	1.37
60	1.83	0.569	1.23	1.49
75	1.82	0.631*	1.35	1.35
81	1.99*	0.701*	1.09	1.83
162	1.97*	0.740*	1.22	1.61
243	1.98*	0.730*	1.12	1.77

\*Significativamente superior al testigo al 5 % de probabilidad (Lerch, 1977).

#### - Germinación

La cachaza fresca posee 70 % de humedad y su temperatura es elevada, factores estos que conjuntamente con las mejoras que su empleo ocasiona en diferentes propiedades del suelo, podría explicar la mayor y más rápida germinación que ocurre con su empleo (Tabla 20) .Este efecto resulta de gran importancia para la futura plantación, pues una mayor población es básica para alcanzar más producción de caña e invertir menos recursos en el con-

trol de malezas (Arzola, 1986; Arzola, et al., 1996; Arzola, 2000).

Tabla 20. Efecto de dos métodos de aplicación de cachaza (incorporada antes de la plantación y localizada que consiste en tapar en la plantación el esqueje de caña con la propia cachaza) sobre la germinación (plantas/parcela) (Suelo gley ferralítico laterizado, variedad Ja60-5).

Tratamiento	Conteo		
	1er.	2do.	3er.
I.-Sin cachaza	25 c	94 d	106 d
II.-75 t de cachaza incorporada/ha	38 bc	128 bcd	144 cd
III.-150 t de cachaza incorporada/ha	56 bc	123 cd	152 abc
IV.-225 t de cachaza incorporada/ha	104 a	164 b	183 ab
V.-25 t de cachaza localizada/ha	70 d	153 abc	149 bc
VI.-50t de cachaza localizada/ha	86 ab	153 abc	168 ab
VII.-75 t de cachaza localizada/ha	102 a	169 a	189 a
VIII.-Fertilización mineral completa	11 c	108 d	

Tratamientos con letras iguales no difieren significativamente entre sí por la prueba de rango múltiple de Duncan (Lerch, 1977).

#### - Rendimiento del cultivo

La cachaza beneficia propiedades físicas, físico-químicas, químicas y biológicas del suelo, razón por la cual se presentan incrementos de rendimiento con su aplicación dentro de un amplio rango de variación de características de los suelos.

En ocasiones los incrementos de rendimiento con el empleo de la cachaza pueden superar el 100 %, lo que significa que esta enmienda es imprescindible si se desea producir caña de azúcar en tales localidades, aunque por lo general los incrementos se encuentran alrededor del 25 %.

Las dosis de cachaza necesarias para alcanzar máximos rendimientos varían con el método de aplicación, con el método de incorporarla antes de la plantación, resultan dosis muy elevadas, aunque variables dentro de ciertos límites (120-250 t ha<sup>-1</sup>) atendiendo a las características de cada lugar (Arzola, 1989). De taparse la semilla con cachaza, lo que se denomina método localizado, las ventajas consisten en requerirse solo la mitad o la tercera parte de la dosis del incorporado para alcanzar similar rendimiento, lo que a la vez que disminuye gastos de transporte y aplicación, permite beneficiar mayor área con la cachaza que se obtiene en una zafra.

Con los dos métodos de aplicación de cachaza se obtienen ganancias, lo

que demuestra lo ventajoso que resulta el aprovechamiento de este residuo de la agroindustria de la caña de azúcar como abono orgánico, incluso en áreas alejadas apreciablemente del ingenio, siendo las ganancias del método localizado en todos los casos mucho mayores, lo que confirma su ventaja sobre el incorporado (Arzola, 1986; Arzola et al., 1996).

Las dosis con la que se obtiene el mayor provecho económico (óptimas) así como las ganancias disminuyen al aumentar la distancia hasta el lugar de aplicación, no obstante, el empleo de 50 t de cachaza localizada por ha, resulta generalmente una buena opción. Con esa dosis, debido a la alta retención de agua de la cachaza, es posible realizar la plantación en lugares sin regadío, aun cuando falte algo más de un mes para el comienzo de la época de lluvia.

Otro método de aplicación utilizado ha sido disolver la cachaza en agua y aplicarla como agua de cachaza, lo cual tiene como desventaja que no existe un estricto control de la dosis y la homogeneidad de la aplicación varía con la homogeneidad del riego y como ventaja que se ahorra el costo del traslado y la aplicación.

Arzola & Carrandi (1982), reportan que el empleo de la cachaza disuelta en agua, en un suelo ferralítico rojo hidratado en áreas de abasto de caña del ingenio Antonio Sánchez incrementó significativamente el contenido de materia orgánica, nitrógeno hidrolizable, fósforo asimilable, CIC, bases cambiables, factor de estructura, rendimiento agrícola y disminución de la acidez del suelo.

A partir de la aplicación de cachaza aumenta el contenido de materia orgánica y de nutrientes del suelo (Arzolla & Monomio, 1981), los rendimientos agrícolas bajo diferentes condiciones (Arzola, 1968; Arzola, 1976; Arzola & Paneque, 1990) y se alcanza provecho económico (Arzola, 1986; Arzola, et al., 1996).

#### - Ceniza

Durante la combustión del bagazo y de la paja de la caña se pierde el C y el N; desaparece el carácter orgánico de este material así como los efectos favorables que se asocian a esa característica. El principal componente de la ceniza es el óxido de sílice, seguido en proporción comparativamente pequeña por compuestos de potasio, fósforo, aluminio, hierro, calcio y mag-

nesio. Al caracterizar la ceniza de 90 centros de beneficio de caña de la provincia de Camagüey, García (1997) encontró un promedio en base seca de 0,41 % de  $P_2O_5$  y 1,46 % de  $K_2O$ .

Los efectos beneficiosos de la ceniza sobre el rendimiento de la caña de azúcar se atribuyen a mejoras en las propiedades físicas del suelo, como aireación y drenaje (Lee & Chang, 1965) y al aporte de elementos como potasio, fósforo, calcio, en suelos insuficientes en esos nutrientes (Arzola, 1989).

Arzola, et al. (1982), reportan en un suelo ferráltico rojo típico, insuficiente en potasio ( $0.1 \text{ cmol}^{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$  de K en el suelo, en el que se compararon diferentes abonos orgánicos con la ceniza de los hornos del ingenio, mayores rendimientos con esta última. Esto se asoció con ser la ceniza la que originó los mayores incrementos en los contenidos de potasio cambiabile del suelo y los más bajos de la relación Ca/K cambiabiles (Figura 32).

### Variación de la relación Ca/K cambiabiles del suelo al emplear diferentes abonos orgánicos y ceniza y su influencia sobre el rendimiento de la caña de azúcar

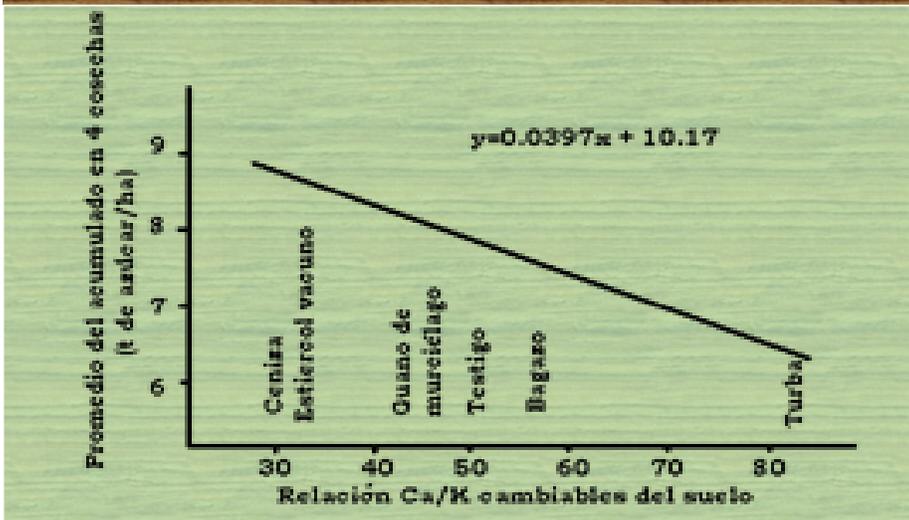


Figura 32. Variación de la relación Ca/K cambiabiles de un suelo ferráltico rojo al emplear diferentes abonos orgánicos y ceniza y su influencia sobre el rendimiento de la caña de azúcar. Fuente: Arzola, et al. (1982).

Lee & Chang (1965), reportaron que al aplicar ceniza de los hornos, en los primeros 15 cm de espesor del suelo, el rendimiento de la caña de azúcar incrementó entre 11 y 28 % en caña planta e incluso algo más en los retoños sucesivos, lo que se atribuye en primer término a mejoras en las propiedades físicas, como por ejemplo, el aumento en la porosidad de aireación del suelo.

La ceniza por su abundancia de sílice podría ser de interés por sus efectos beneficioso en diferentes aspectos, por ejemplo en la solubilización del fósforo del suelo; el anión silicato puede desplazar los aniones del ácido orto fosfórico ( $\text{PO}_4\text{H}^{2-}$ ,  $\text{PO}_4\text{H}_2^-$ ) de las posiciones en que este se encuentre retenido en el complejo de cambio del suelo. Por otra parte, las posiciones con cargas positivas donde la fijación del fósforo puede ocurrir son bloqueadas por los aniones silicato, lo que favorece la solubilidad de fertilizante fosfórico que se aplique posteriormente.

Pan, et al. (1978), compararon en un suelo fuertemente ácido de Malasia las cenizas de los hornos y las escorias silíceas, se obtuvieron mejores rendimientos con la aplicación de  $48 \text{ t ha}^{-1}$  de ceniza de los hornos que con  $2.5 \text{ t ha}^{-1}$  de escoria.

#### - COMPOST

El proceso de compostaje acelera las transformaciones que ocurren en los materiales orgánicos, se obtienen finalmente productos con mejores propiedades que los iniciales, por tal razón, su empleo favorece tanto la fertilidad de los suelos como el rendimiento de los cultivos, con respecto a otras fuentes orgánicas. La agroindustria de la caña de azúcar brinda una serie de residuos o subproductos que pueden utilizarse para el proceso de compostaje, como son cachaza, ceniza, residuos agrícolas (cogollo y paja), residuos líquidos de diferentes tipos, así como excretas animales.

La tecnología y las diferentes variantes a utilizar con el propósito de elaborar compost en cualquier lugar en que se disponga de residuos como los mencionados, están establecidas en un instructivo elaborado al respecto (Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, 1991). El proceso de compostaje se desarrolla con una flora microbiana muy compleja, variada y característica de cada una de las etapas. Se plantean cuatro etapas fundamentales: mesofílica, termofílica, enfriamiento y maduración.

Con la aplicación de compost incluso en dosis bajas se encontró un efecto beneficioso sobre la formación de agregados en el suelo, lo que origina mayor aireación, mayor permeabilidad y menor compactación del suelo. Estas condiciones permiten un mejor crecimiento del sistema radical del cultivo y menor erosión del suelo (Arzola, 2000) (Tabla 21).

Tabla 21. Comparación del efecto del compost y los fertilizantes minerales sobre las propiedades físicas de un ferralsol (CAI Manuel Fajardo. La Habana).

Tratamientos (NPK y compost)	Agregados de mayor importancia agronómica (%)	Fracción de agregados más estables en agua (%)	Coefficiente de estructuración
I - 0-0-0	6.57	5.42	7.31
II - 75-50-120	6.68	5.31	7.04
III - 4 t ha <sup>-1</sup> de compost + 40-10-108	10.82	9.58	9.43
IV -4 t ha <sup>-1</sup> de compost	8.00	6.52	10.87

Los beneficios del compost pueden ser diferentes atendiendo a la calidad del mismo y por esa razón existen normas para su empleo (Tabla 22).

Tabla 22. Normas para considerar un producto orgánico elaborado como compost.

Indicador	Contenido
Materia orgánica (sobre materia seca)	> 25 %
Nitrógeno orgánico (sobre materia seca)	> 1 %
Humedad	< 40%
Granulometría	90 % pasa por malla de 25 mm
Metales pesados , límites máximos (mg kg <sup>-1</sup> )	
Cadmio	40
Cinc	4 000
Mercurio	25
Cobre	1 750
Cromo	750
Níquel	900
Plomo	1 200

Fuente: Del Val (1997).

## 5.5. Ciclo cerrado en la agroindustria de la caña de azúcar

Los residuos orgánicos son biodegradables, contienen materia orgánica, nutrientes y agua (de ser líquidos), son un excelente abono y nueva fuente de agua, siempre que se empleen atendiendo a normas establecidas por

la investigación. En ese caso, mejoran la fertilidad de los suelos, sustituyen recursos naturales y constituyen un elemento necesario para establecer un sistema cerrado, de esta forma disminuye la contaminación del entorno (Arzola, et al., 2013) (Figura 33).



Figura 33. Ciclo cerrado de la producción de la agroindustria de la caña de azúcar (Arzola et al., 2013).

La utilización de los residuos orgánicos en la agricultura (agua, materia orgánica, etc.) permite establecer un ciclo cerrado, similar al que de forma natural ocurre en la naturaleza con los ciclos biogeoquímicos, de esa forma se beneficia el hombre tanto en lo económico como en lo ambiental.

Una opción para obtener energía a partir de los residuos orgánicos es obtener biogás (Figura 34), proceso que deja un lodo residual que puede ser aplicado a los suelos agrícolas. Figura 34. Biodigestor plástico de bajo costo modelo Taiwán.

## 5.6. Estiércoles como abono

El estiércol está constituido por los excrementos sólidos y líquidos de los animales y por los materiales vegetales que se emplean como cama, los cuales, al mismo tiempo que le proporcionan lecho al ganado, retienen sus deyecciones. El estiércol puede variar ampliamente en composición atendiendo a la especie de animal de que provenga.

La gran cantidad de factores externos que influyen en la composición del estiércol y principalmente la especie animal de que provenga origina las grandes variaciones que en su composición se reportan. De todos los estiércoles,

el más comúnmente utilizado como abono orgánico es el vacuno, pero el ovino se caracteriza por una mayor riqueza nutricional (Arzola, 1985).

Estos materiales residuales de carácter sólido mezclados normalmente con la cama del ganado produce el estiércol. La clasificación de los estiércoles se puede realizar en función de su origen y temperatura de fermentación:

- Estiércoles calientes: caballo, oveja, cabra y aves de corral.
- Estiércoles fríos: vaca, cerdo.

En la tabla 23 figuran algunas características agronómicas de estos materiales, atendiendo a la materia seca y contenido en los nutrientes mayores (Alcántara, 1993).

Tabla 23. Composición nutritiva de estiércoles en materia fresca.

Estiércol	MS (%)	N kg t <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg t <sup>-1</sup>	K <sub>2</sub> O kg t <sup>-1</sup>	MgO kg t <sup>-1</sup>	S kg t <sup>-1</sup>
Vacuno	32	7	6	8	4	-
Oveja	35	14	5	12	3	0.9
Cerdo	25	5	3	5	1.3	1.4
Gallinaza	28	15	16	9	4.5	-
Purines	8	2	0.5	3	0.4	-

La gallinaza y el estiércol de ovino son generalmente más ricos, son productos muy apreciados en hortofruticultura con buenas respuestas agronómicas.

### 5.6.1. Estiércol vacuno

En un suelo pardo grisáceo típico con el empleo de estiércol vacuno de un centro estabulado se encontró incremento en el contenido de materia orgánica, fósforo asimilable y bases cambiables del suelo (Arzola, 1985a, 2006b). (Tabla 24).

Tabla 24 Efecto de la aplicación de estiércol vacuno de un centro estabulado sobre algunas características de un suelo pardo grisáceo típico sobre corteza de granodiorita (20 g de estiércol en base seco/kg de suelo).

Indicador	Estiércol	Testigo	Diferencia
Materia orgánica (%)	3.01	2.45	0.56**
Valor T (cmol(+).kg-1)	18.2	17.7	0.5
Fósforo asimilable por Bray y Kurtz (mg de P2O5 kg -1 de suelo)	2.49	1.14	1.35**
Acidez hidrolítica (cmol(+) kg-1)	3.15	3.83	-0.68**
pH en KCl	5.32	4.89	0.43**
Ca cambiable (cmol(+) kg-1)	8.75	7.75	1.00**
Mg cambiable (cmol(+) kg-1)	8.53	6.65	1.88**
Na cambiable (cmol(+) kg-1)	0.45	0.45	0.0
K cambiable (cmol(+) kg-1)	0.27	0.11	0.16**

### 5.6.2. Estiércol porcino

El efecto del estiércol porcino (porción sólida) sobre algunas características del suelo y rendimiento en materia seca del maíz se ilustra con resultados obtenidos en maceta en un suelo ferralítico rojo lixiviado (Tabla 25). Con la mayor dosis comparada el incremento con relación al testigo resultó altamente significativo (Arzola, 2006a).

Tabla 25. Efecto de la aplicación de estiércol porcino sobre algunas características de un suelo ferralítico rojo lixiviado (cosecha: a los 47 días).

Tratamiento	Materia orgánica (%)	Valor T (cmol(+) kg-1)	pH en KCl	Materia seca de las plantas (g/maceta)
Testigo	2.49	13.5	6.48	1.15
10 g de estiércol porcino/kg de suelo	3.46**	15.5**	7.08**	1.28
20 g de estiércol porcino /kg de suelo	3.51**	16.3**	6.95**	2.78**

\*\*Diferencia significativa entre tratamientos al 1% de probabilidad (Lerch, 1977).

Verduras tratadas con estiércol de cerdo dieron mayor producción que las que recibieron fertilizante mineral, también presentaron menor contenido de metales pesados (Wong, 1990).

### 5.6.3. Gallinaza

El efecto de la gallinaza sobre algunas características del suelo se ilustra con los resultados obtenidos en maceta con un suelo ferralítico rojo lixiviado (Tabla 26), el incremento con relación al testigo resultó altamente significativo en todos los casos (Arzola & Yera, 2006).

Tabla 26. Efecto de la aplicación de gallinaza sobre algunas características del suelo ferralítico rojo lixiviado (cosecha: 47 días).

Tratamiento	Materia orgánica (%)	Valor T (cmol(+) kg-1)	pH en KCl	Materia seca de las plantas (g/maceta)
Testigo	2.49	13.5	6.48	1.15
10 g de estiércol porcino/kg de suelo	3.46**	15.5**	7.08**	1.28
20 g de estiércol porcino /kg de suelo	3.51**	16.3**	6.95**	2.78**

\*\*Diferencia altamente significativa con el testigo al 1% de probabilidad (Lerch, 1977).

### 5.6.4. Influencia de los abonos orgánicos pecuarios sobre propiedades del suelo

En los estudios en maceta realizados se encontró que con la aplicación de un abono orgánico, incremento el contenido de materia orgánica y la CIC, lo que permitía conocer la relación de la CIC por unidad de materia orgánica, la que multiplicada por 100 sería el valor de la CIC de la materia orgánica expresado en  $\text{cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$ .

En la Figura 35 se expone la CIC o valor T de la materia orgánica, cuando se han aplicado diferentes abonos orgánicos. Los valores varían entre 255 y 285  $\text{cmol}^{(+)}/\text{kg}$  de M.O o sea prácticamente duplican el valor T de las arcillas más destacadas en esta característica como la montmorillonita y la vermiculita.

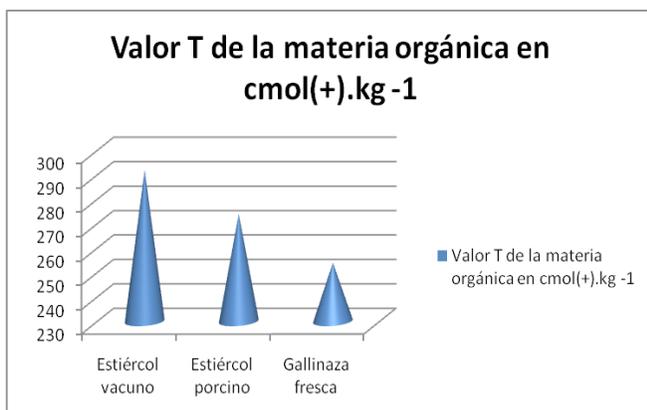


Figura 35. Valor T de la materia orgánica del suelo originada por la aplicación de diferentes excretas animales (47 días después de la aplicación).

Con el incremento de la actividad humana, también lo ha sido la concentración de algunos gases en la atmósfera que son responsables del aumento de la temperatura efecto de invernadero, por esa razón, se requiere de un medio de la atmósfera, los cuales originan el manejo agronómico que permita captar la mayor cantidad posible de  $\text{CO}_2$  del aire mediante la fotosíntesis de las plantas y secuestrarlo en el suelo o utilizar la biomasa formada para sustituir combustibles fósiles.

La eficiencia de la materia orgánica del suelo derivada de la aplicación de un abono orgánico (por ejemplo, gallinaza) sobre la CIC o valor T, disminuye con

la dosis de abono orgánico aplicado al suelo (Figura 36).

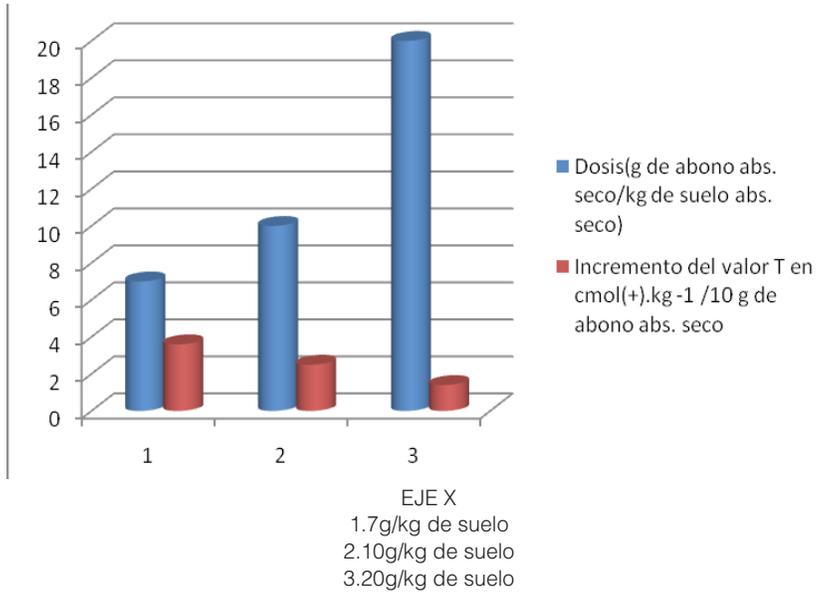


Figura 36. Variación del valor T al aumentar la dosis de gallinaza aplicada en un suelo ferralítico rojo lixiviado.

Los principales factores que actúan sobre la transformación de la materia orgánica conciernen a: -la vegetación, ingreso de residuos y composición de ambos.; factores climáticos -condiciones de temperatura y humedad- y las propiedades del suelo -textura, contenido y mineralogía de la arcilla, acidez.

En los suelos tiende a ser estable la relación C/N, valores mayores -a las del testigo de este estudio- provocan inmovilización del nitrógeno del suelo y se requiere complementar el abono orgánico empleado con fertilizantes minerales, para que la planta no sufra en sus etapas iniciales de insuficiencia de nitrógeno; mientras que por debajo de ese valor debe esperarse mineralización y aporte nitrógeno asimilable para el cultivo del abono orgánico aplicado (Figura 37).

## Relación C/N

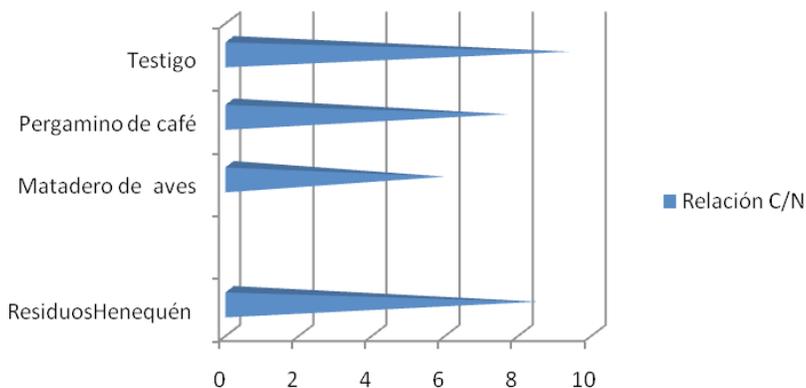


Figura 37. Relación C/N de un suelo ferralítico rojo hidratado y lixiviado donde se han aplicado diferentes residuos (20 g del abono en base seca incorporado por kg de suelo seco).

Las características de los restos de origen vegetal o animal aplicados como abonos orgánicos pueden explicar los resultados obtenidos en la relación C/N del suelo en el estudio anterior.

La tasa de descomposición de los tejidos vegetales depende de su contenido de nitrógeno, siendo metabolizados más rápidamente los sustratos ricos en proteínas. Un bajo contenido de nitrógeno o una amplia relación C/N se asocia con la utilización por los microorganismos del nitrógeno mineral del suelo, lo que se conoce como inmovilización del nitrógeno.

Las células de las plantas, tienen pared celular, la que está formada entre otras sustancias por celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que explica la mayor relación C/N de los suelos donde se aplican restos vegetales, por ser estos compuestos requeridos para formar humus en el suelo.

Los restos de origen animal no poseen pared celular y si mayor cantidad de nitrógeno que el necesario para formar la biomasa de los microorganismos del suelo, por ello queda nitrógeno mineral en exceso (residuos como el del matadero de aves), el cual queda en el suelo disponible para las plantas (mineralización del nitrógeno) pues en poco tiempo se mineralizan y dejan nutrientes asimilables al cultivo.

## Referencias bibliográficas

- Acevedo, E. & Martínez, E. (2003). Sistema de labranza y productividad de los suelos. Serie Ciencias Agronómicas, (8), 13-25.
- Acevedo, E. & Silva, P. (2003). Agronomía de la Cero Labranza. Serie Ciencias Agronómicas, (10), 132.
- Adriano, D.C.:Introduction. In: Trace elements in the terrestrial environment. Ed.
- agregados de suelo bajo cero labranzas. XV Congreso Latinoamericano de la
- Ahmad, N.A.Review of salinity alkalinity status of irrigated soils of West-Pakistan.Agrochem.und Bodenk. (14)(1965)p.117-154.
- Alcántara, A.F. (1993). Residuos agrícolas, forestales, ganaderos e industriales: Instituto de Investigaciones Ecológicas.
- Alfaro, R. (2016). Herbicidas asociados a la caña de azúcar y su potencial de contaminación al medio ambiente. Costa Rica: LAICA. Recuperado de <https://www.laica.co.cr/biblioteca/verSubcategoria.do?=18C=4438S=2884>
- Altieri, M. (1983). Agroecología, Bases Científicas de la Agricultura Alternativa. Valparaíso, Chile: CETAL.
- Altieri, M. A. & Gliessman, S.R. (1983). Effects of plant diversity on the density and herbivory of the flea beetle, *Phyllotreta cruciferae* Goeze, in California collard (*Brassica oleracea*) cropping systems. *Crop Protection*, (21), 497-501.
- Altieri, M.A. (1994). Biodiversity and pest management in agroecosystems. New York: Hayworth Press.
- Altieri, M.A. & Whitcomb, W. H. (1979). The potential use of weeds in the manipulation of beneficial insect. *HortScience* 14 p.12-18.
- Anónimo 3. Ciclo del carbono. ciencias de la Tierra y del medio ambiente. Recuperado de [www.tecnun.es/.04Ecosis/131CicC.htm](http://www.tecnun.es/.04Ecosis/131CicC.htm)
- APS Biological Control Committee. Commercial Biocontrol Products Available in the U.S.A. for Use against Plant Pathogens. (2002). Recuperado de <http://www.oardc.ohio-state.edu/apsbcc/product-list2003USA.htm>

- Arévalo, R. (2000). Manejo sostenible de malezas en *Saccharum* spp. Disertación del Académico Correspondiente, Argentina: Academia de Ciencias.
- Arzola, N. (1989). Aprovechamiento de residuos de origen orgánico en la agricultura. Curso de postgrado impartidos en el ISACA. Ciego de Ávila.
- Arzola, N. C. (2006b). Diagnóstico de la necesidad de fertilizante nitrogenado en caña de azúcar. Parte II. Nuevo Enfoque. Tomo I. En: ATALAC. 6to Congreso de la Asociación de Técnicos Latinoamericanos y del Caribe. Guayaquil. Ecuador.
- Arzola, N. C. & Paneque, V. M. (1990). La cachaza como enmienda orgánica y fertilizante de la caña de azúcar. La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Arzola, N. C. & Yera, B. (1995a). Perspectivas para el aprovechamiento del residuo de la papelera "Sergio González" en la irrigación de la caña de azúcar. *Revista Centro Azúcar*, 22 (2), 23-30.
- Arzola, N. C., Blanco, C. & Martín, J. (1996). Mayores ganancias mediante el empleo de cachaza en los cañaverales. *Revista Cuba & Caña*. Publicación del Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Cuba (INICA), (1), 20-23.
- Arzola, N. C., Machado, J. & Hernández, L. B. (1991a). Comparación de la zeolita cargada y sin cargar con fertilizante nitrogenado mineral. 3rd. International Conference on the occurrence, properties and utilization of natural zeolites. La Habana.
- Arzola, N. C., Machado, J. & Vázquez, A. (1991b). Selección de la granulometría y carga de la zeolita para uso agrícola. 3rd. International Conference on the occurrence, properties and utilization of natural zeolites. La Habana.
- Arzola, N. C., Pérez, L. & Santana, B. (1985). Estudio sobre la posibilidad de aprovechamiento del desecho del matadero avícola como abono. *Revista Centro Agrícola*, 12 (1), 45-49.
- Arzola, N. C., Reyes, C. & González, S. (1986). Caracterización en la zafra de las aguas residuales de varios centrales de la provincia Cienfuegos. *Boletín INICA*, (1), 31-42.

- Arzola, N. (1985a). Comparación del estiércol vacuno y el ovino como abono orgánico. *Revista Centro Agrícola*, 12 (2), 89-96.
- Arzola, N. (2006a). Diagnóstico de la necesidad de fertilizante nitrogenado en caña de azúcar. Parte I: Enfoque tradicional. 6to Congreso de la Asociación de Técnicos Latinoamericanos y del Caribe. Guayaquil, Ecuador.
- Arzola, N. (1986). Efecto de dos métodos de aplicación de la cachaza sobre algunas características del suelo. *Boletín INICA*, (3), 38-49.
- Arzola, N. (2000). Empleo de fuentes alternativas de nutrientes en caña de azúcar. *Revista Cuba-Azúcar*, 29 (4), 48-51.
- Arzola, N. (2005). Influencia del cultivo continuado de la caña de azúcar sobre el contenido total de carbono orgánico del suelo. *Revista ATAC*, (2), 49-54.
- Arzola, N. (1976). La cachaza como fertilizante en suelos ferralíticos rojos. *Serie Caña de Azúcar*, (64).
- Arzola, N. (2007). Manejo agrícola de las áreas cañeras en armonía con el ciclo biogeoquímico del carbono y el nitrógeno y la fertilidad de los suelos. VIII Taller Nacional del Medio Ambiente. Bayamo.
- Arzola, N. (2015). Reflexiones sobre el cáncer. Recuperado de <http://www.bubok.es/libro/portadaLibro/238533/1/portada.jpg>
- Arzola, N. (1968). Utilización de la cachaza en el cultivo de la caña de azúcar. *Serie Caña de Azúcar*, (10).
- Arzola, N. (1991). Utilización de los fertilizantes convencionales y no convencionales en la agricultura cañera cubana. II Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba. La Habana.
- Arzola, N. & Cairo, P. (1985a). Monografía sobre los suelos y la fertilización de la caña de azúcar. *Revista Centro Agrícola*, 12 (1), 1-131.
- Arzola, N. & Carrandi, J. A. (1982). Evaluación de la aplicación de agua de cachaza en condiciones de producción. *Revista Centro Agrícola*, 9 (2), 89-111.
- Arzola, N. y López, M. (1985). Efecto del fuego en las plantaciones de caña de azúcar. Parte I: Influencia sobre algunas propiedades de los suelos cubanos. *Boletín INICA*, (3), 61-71.
- Arzola, N. & López, M. (1986). Efecto del fuego en las plantaciones de caña de azúcar. Parte II. *Boletín INICA*, (3), 72-81

- Arzola, N. & Monomou, S. (1981). Transformación de la cachaza en dos tipos de suelos cubanos. *Revista Centro Agrícola*, 8 (1), 87-103.
- Arzola, N. & Yera, B. (1995b). Posibilidad de empleo en el fertirriego de la caña de azúcar del efluente del patio de bagazo y el de elaboración de azúcar crudo del central. *Revista Centro Azúcar*, 22 (2), 87-91.
- Arzola, N., Pérez, H. & Fernández, A. (1982). Estudio comparativo de diferentes abonos orgánicos y de ceniza en la caña de azúcar. Simposio de aprovechamiento de residuales. Cienfuegos.
- Arzola, N., Fundora, O., de Mello, R. (2013). Manejo de suelos para una agricultura sostenible. Jatiboncal: FCA/UNESP.
- Barash, H., Plavnik, I., R. Moav. (1982). Integración de pato y piscicultura: Los resultados experimentales. *Acuicultura*, 27 (2), 29-140.
- Barea, J. M. (2011). Conferencia sobre manejo de la simbiosis micorrizica en agrosistemas. INCA. La Habana.
- Barrios, E. (2001). Calidad de recursos orgánicos, descomposición, disponibilidad de nutrientes y respuesta de los cultivos. CLCS. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Varadero, Cuba., Memoria digital en CD-ROM.
- Basnayake, B.F.A. (2001). Municipal solid waste (msw) for organic agriculture. Annual Session of the National Agricultural Society of Sri Lanka on "Organic Agriculture: Trends and Challenges and AGM. University of Peradeniya, 1-22.
- Bedmar, F. (2015). Persistencia y transporte de los herbicidas Atrazina, Metolacloro y Metsulfuron en dos suelos de la provincia de Buenos Aires. Argentina. *Agrolluvia.com*, Portal Informativo para el Productor Agropecuario. Recuperado de: [agrolluvia.com/wp-content/uploads/2010/06/persistencia\\_y\\_transporte\\_de\\_los\\_herbicidas](http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2010/06/persistencia_y_transporte_de_los_herbicidas).
- Bedmar, F. (2006). Comportamiento ambiental de los herbicidas en el suelo: conceptos y resultados regionales. Sitio argentino de Producción Animal. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/.../237675999\\_COMPORTEAMIENTO\\_AMB](https://www.researchgate.net/.../237675999_COMPORTEAMIENTO_AMB).
- Beekman, G. (2015). Agua y seguridad alimentaria. VII Foro Mundial del Agua. Corea.

- Bejottes, M. (1988). Composición mineral de la cachaza. *Ciencias de la Agricultura*, 35(34), 151-153.
- BNDES, CGEE, FAO y CEPAL. (2008). Bioetanol de caña de azúcar. Una energía para el desarrollo sostenible [en línea]. Ginebra, Suiza. Disponible en: [http://www.bioetanoldecana.org/es/download/resumo\\_executivo.pdf](http://www.bioetanoldecana.org/es/download/resumo_executivo.pdf)
- Borlaug, N. E. (1994). Feeding a human population that increasingly crowds a fragile planet. En: WCSS. 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, México.
- Borlaug, N.E. (1994). Dowsell. Feeding a human population that increasingly crowds a fragile planet. In: J.D. Echevers (Ed), Proceedings of the 15th World Congress of Soil Science, 1, 10-16.
- Botero, R. (2006). Manejo de excretas en sistemas agropecuarios integrados amigables con el ambiente tropical. Segunda cumbre internacional de agricultura sostenible. Guayaquil, Ecuador.
- Boyetchko, S., Pedersen, E., Punja, Z. & Reddy, M. (1998). Formulations of Biopesticides. Hall F.R. & Barry J.W. Editores En *Methods in Biotechnology* (487-508). Humana Press, Totowa.
- Caetano, N. S., Silva, V. F. M. & Mata, T. M. (2012). Production of bioethanol from waste coffee grounds. Porto, Portugal: 4th International Conference on Engineering for Waste and Biomass Valorisation.
- Campbell, N.A. (1996). *Biology*. The Benjamin/Cumming Publishing Company, Inc. California
- Carlson, R. (1946). *Primavera Silenciosa*. Barcelona: Luís de Carralt.
- Cassman, K. G. (1990). The role of soil fertility research in developing sustainable food production systems. *Better crops with Plant Food*, 74(4), 16-19.
- Castañeda, I. (2002). Caracterización de la flora y de la vegetación de la sección de bosque natural del Jardín Botánico de Cienfuegos, en Informe Final del Proyecto Territorial 6-03-06 "Comportamiento funcional y ecológico de un bosque de conservación en el Jardín Botánico de Cienfuegos". 2000-2002, CITMA.
- Castellanos, J. (1986). Análisis para la utilización de los desperdicios sólidos urbanos como fuente de energía en Cienfuegos. IX Concurso Científico-Técnico. Universidad de Cienfuegos.

- Cointreau, S.J. (1982). Environmental Management of Urban Solid Waste in Developing countries, a project guide. The World Bank. Technical paper no. 5. Washington D.C.U.S.A.p.213.
- Department of the Environment. Sustainable Use of Soil: Government Response to 19th Report of RCEP. HMSO London, 1997.
- Dunn, R. A. (1995). Managing nematodes in the Home Garden. University of Florida. FI Editorial Limusa, México D.F.
- Edelmira Arias, M. E., Montalvo, A., Cisneros, E., Lorenzo, N., & Rodríguez, C. (2001). Eficiencia de un bioestimulador orgánico CBFert sobre el cultivo de la papa. XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo (CLCS). Varadero, Cuba.
- Elbassam, N. & Tietjen, C. (1977). Municipal slugged as organic fertilizer with special reference to the heavy metals constituents. La India: IAEA.
- Elmerich, C. (1984). Molecular Biology and Ecology of diazotrophic associated with non leguminous plants. Biotechnology, 1, 967-970.
- FAO (1996). A fremwork for land evaluation. Soil Bulletin 32, Rome.
- FAO (2006). Seguridad alimentaria. Informe de políticas, 2. Recuperado de [ftp://ftp.fao.org/es/esa/policybriefs/pb\\_02\\_es.pdf](ftp://ftp.fao.org/es/esa/policybriefs/pb_02_es.pdf)
- Faz de A. B. (1987). Principios de protección de plantas. La Habana: Pueblo y Educación.
- Fernández-Larrea, O. (1993). Norma de especificaciones para el control de la calidad de Trichoderma. CEN. Normas cubanas.
- Fernández-Larrea, O. (2001). Microorganismos antagonistas en el control fitosanitario. Revista de Manejo Integrado de Plagas, 62, 96-100.
- Fernández-Larrea, O. (2006). Registro de productos biológicos para el control de fitopatógenos y nemátodos. Un reto para su producción y uso. Situación en Cuba. Memorias del Taller Latinoamericano "Biocontrol de Fitopatógenos con Trichoderma y otros Antagonistas". Cuba.
- Fragoso, C. & Rojas, P. (2001). Hacia un manejo integrado de la macrofauna del suelo en México: Los ingenieros del ecosistema. XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo (CLCS). Cuba.

- Franzlubbers, A. J. (2001). Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Till. Res.*, 66, 95-106.
- Fravel, D.R., Rhodes, D. J. & Larkin, R.P. (1999). Production and Commercialization of Biocontrol Agents. In: *Integrated Pest and Disease Management in Green House Crops*. Y. Elad. Kluwer Academia Publishers. Dordrecht. 365-376.
- Gabriela, G. (2011). El agua: tema central para la seguridad alimentaria. Entre aguas. Honduras: Global Water Partnership. Tegucigalpa.
- Galantini, J. A. (2002). Contenido y calidad de las fracciones orgánicas del suelo bajo rotaciones con trigo en la región semiárida pampeana. Argentina.
- García, M. C., Vanotti, M. B. & Szogi, A. A. (2007). Simultaneous separation of phosphorus sludge and manure solids with polymers. *Trans. ASABE*, 50 (6), 2205-2215.
- Gelernter, W. D. & Lomer, C. J. (2000). Measures of success in biological control of insects by pathogens. In "Measures of Success in Biological Control", ed. G. Gurr and S. Wratten, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 97-103 .
- Gliessman, S. R. (1998). *Agroecology ecological processes in sustainable agriculture*. Ann Arbor Press, Michigan.
- Gómez, S. J. (1982). *Control biológico*. La Habana: Pueblo y Educación.
- Greenland, D.J., Rimmer, D., & Payne, D. (1975). Determination of the structural stability class of English and Welsh soils, using a water coherence test. *J. Soil Sci.*, 26, 294-303.
- Guillon, M. Production of Biopesticides: Scale up and Quality Assurance. In: *BCPC Symposium Proceedings No.68. Microbial Insecticides: Novelty or Necessity?* Farham, UK; The British Crop Protection Council, La Habana.
- Gupta, V., Germida, J. (1988). Distribution of microbial biomass and its activity in different soil size classes as affected by cultivation. *Soil Biol. Biochem*, 20 (6), 777 -786.
- Hayes, M.H.B., & Clapp, C.E. (2001). Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. *Soil Science*, 166, 723-737.

- Hedges, J. I., & Keil, R.G. (1995). Sedimentary organic-matter preservations - an assessment and speculative synthesis. *Mar. Chem*, 49, 81-115.
- Hernández, A., Ascanio, M. O., Morales, M. & Cabrera, A. (2005). Correlación de la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba con las clasificaciones internacionales y nacionales: una herramienta útil para la investigación, docencia y producción agropecuaria. La Habana: INCA.
- Hernández, O., Flores, A.; Ortega, M. (2001). Efecto de las bacterias oxidantes del azufre y los mejoradores químicos en la bioremediación de un suelo salino-sódicos. XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Varadero.
- Huertas, J. A. (2014). Lixiviación en columna de suelo de los herbicidas Metsulfurón Metilo y 2,4-D en suelos arroceros de los municipios de Espinal y Prado (Tolima). (Tesis de Maestría). Universidad Nacional, Colombia.
- ICIDCA. (1991). Instructivo para la elaboración de compost (Abono orgánico) a partir de la agroindustria azucarera. La Habana.
- ICIDCA. (1986). La industria de los derivados de la caña de azúcar. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar: Científico-Técnica. La Habana.
- Ignatieff, O. W. & Page, H. F. (1964). El uso de los fertilizantes. La Habana: Editora del Ministerio de Educación de Cuba.
- IPCC (grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático). (2000). Uso de la tierra, cambio y uso de la tierra y silvicultura. Informe especial. Cambridge University Press Cambridge, Reino Unido.
- Israelsen, O.W. & Hansen, V.E. (1962). Irrigation principles and practices. John Willey Sons. INC NC. New York, London, Sydney.
- Jenks, B. M., Roeth, F.W., Martin, A.R., & Allister, D.L. (1998). Influence of surface and subsurface soil properties on atrazine sorption and degradation, 132-138.

- Judith Carreras G., León, A. A., Murillo, L. M. & Rosemberg, A. Consecuencias del cambio climático el contexto andaluz. Implementación del Protocolo de Kioto en Andalucía y diálogo social. Depósito Legal: M-4521-2007.
- Kaurichev, I. S., Panov, N. P., Stratonóvich, M. V., Grechin, I. P., Sávich, V. I., Ganzhara, N.F. Vaagt, G. (1996). Pesticide Quality in Developing Countries. *Pesticide Outlook*.
- Khwairakpam, M. & Bhargava, R. (2009). Bioconversion of filter mud using vermicomposting employing two exotic and one local earthworm species. *Bioresource Technology*, 100 (23), 5846–5852.
- Kleupfel, D. (1993). The behavior and tracking of bacteria in rhizosphere. *Ann. Revista Phytopathol*, 31, 441-472.
- Kolmans, E. & Vásquez, D. (1995). Manual de agricultura ecológica. Una introducción a los principios básicos y su aplicación. Programa agroecológico.
- Koma Alimu, F. X., Soe Agnic, I. E. & Janssen, B.H. (1977). Evaluation of municipal refuse of agricultural use of sewage sludge: II. Effect on soils N and P. *J. Environ. Qu'al.*6, 345-352.
- Kononova, M.M. Soil organic matter. Its nature, its role in soil formation and in soil fertility, 2nd ed.; Pergamon Press: Oxford. U.K. 1966.
- Kusey, R.M.; Jansen, H. H.; Legget, M.S. (1989). Microbially mediated increases in plant available phosphorus. *Adv.Agron*, 42,199-223.
- Lee, J. H. y Chang, N. S. (1965). The application of bagasse furnace ash to field. Informe de investigación 38. Taiwán: Report of Sugar Experiment Station, Taiwán.
- Lerch, H. (1987). La experimentación en las ciencias biológicas y agrícolas, Tomo 1. La Habana: Editorial Academia.
- Loveland, P., Webb. J. (2003). Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil Tillage & resarc?* 70, (1), 1-18.
- Lutzenberger, A.J. (1984). *Crops and Pests; Are poisons the answer? The Ecologist*, 14(2), 13.**

- Marinari, F., Liburdi, K., Fliessbach, A. Kalbitz, K. (2010). Effects of organic management on water-extractable organic matter and C mineralization in European arable soils. *Soil and Tillage Research*.106(2), 211-217.
- Martínez, F., Calero, B., Calderón, E., Valera, M. y Ticante, J. (2001c). Transformación de los restos orgánicos en los suelos y su impacto ambiental. En: CLCS. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Varadero, Cuba, Memoria digital en CD-ROM.
- Martínez, F., Cuevas, G., Iglesias, M. T. y Walter, I. (2001b). Efectos de la aplicación de residuos orgánicos urbanos sobre las principales características químicas de un suelo degradado. En: CLCS. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Varadero, Cuba, Memoria digital en CD-ROM.
- Martínez, R., Dibut, B., Guiovanina, J., Torres, S., García, R. y Tejeda, G. (2001a). Trascendencia internacional de biofertilizantes cubanos. En: CLCS. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Varadero, Cuba, Memoria digital en CD-ROM.
- Martínez, E., Fuentes, J.P., Acevedo, E. (2008). Soil organic carbon and soil properties. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*8 (1)68-96.
- Martínez., R., Dibut, B.; Guiovanina J. Torres, S., García R. & Tejeda, G. (2001). Trascendencia internacional de biofertilizantes cubanos. Memorias del XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Programas y Resúmenes. Varadero, Cuba.
- Matus, F. (2003). Enrichment of carbon in particles-size separates of soils with different land-use managements. *Journal of soil Science and Plant Nutrition*. 3, 29-36.
- Mendonça, L. C., Oakley, S. M. & Mendonça, S. R. (2012). Potential wastewater reuse in Sergipe Brazil. Porto, Portugal: 4th International Conference on Engineering for Waste and Biomass Valorisation.
- Mershin, A.P. (1984). *Prácticas de edafología*. Moscú: Editorial MIR
- Montenegro G., H. (1991). Interpretación de las propiedades físicas del suelo (Textura, estructura, densidad, aireación, etc.) En: Seminario-Taller "Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego". Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá D.E. Colombia.

- Monterrubio, A.D., Martha, P., Esteves, A., Lozano, S. (2001). Lombriz Roja (*Esenia spp*) alternativa sustentable en la alimentación de gallinas criollas. IV Encuentro de agricultura orgánica. ACTAF. Libro Resumen, La Habana.
- Montico, S. (2010). Impacto del cambio climático sobre los suelos. *Revista Agromensajes*, (28).
- Morales, A., Borie, F., Alvear, M. Biomasa activa y actividad enzimática en
- Moscoso, J. (2012). Treated wastewater as a last alternative to maintain green areas in the arid climate of Lima, Peru. En: 4th International Conference on Engineering for Waste and Biomass Valorisation. Porto, Portugal. Disponible en: Memoria digital en CD-ROM.
- Oficina Nacional de Normalización de Cuba. (1993). NC 72-03. Norma cubana biopreparado del entomopatógeno *Verticillium lecanii*. Especificaciones. Biotecnología Agrícola. Cuba.
- Oficina Nacional de Normalización de Cuba. (1993). NC 72-05. Norma cubana biopreparado del entomopatógeno *Beauveria bassiana*. Especificaciones. Biotecnología Agrícola. Cuba.
- Neal, M. , Newton, P. (1999). Registration/ Regulatory Requirements in Europe. In: Hall, F.R. and Menn, J.J. (Eds) *Methods in Biotechnology*, Vol. 5, *Biopesticides: Use and Delivery*. Humana Press, Totowa, New Jersey, 453-471.
- Neufeldt, H., Ayarza, M. A., Resck. D.V.S., & Zech, W. (1999.) Distribution of water - stable aggregates and aggregating agents in Oxisols of the Brazilian Cerrados. In R. Thomas and M. Ayarza: *Sustainable land management for the Oxisols of the Latin American savannas*, 51-63.
- Novic, I. (1982). *Sociedad y Naturaleza*. Moscú: Editorial Progreso.
- NPCS. (2008). Junta de Consultores e Ingenieros. *El libro completo de agricultura ecológica y producción de compost orgánico*. Editorial: Asia Pacific Business Press Inc.India.
- Olga Forero de Silva. (2009). *El bagazo de caña de azúcar, petróleo verde del siglo*. Primer proyecto de etanol celulósico en Latinoamérica. Recuperado de [http://www.dinero.com/seccion-patrociniros/green/bagazo-cana-azucar-petroleo-verde-del-siglo\\_62876.aspx](http://www.dinero.com/seccion-patrociniros/green/bagazo-cana-azucar-petroleo-verde-del-siglo_62876.aspx)

- Olga Y. Fundora, O., (2001). Caridad Corona. Una alternativa para la fertilización del tomate industrial en suelos ligeros: el humus de lombriz. IV Encuentro de agricultura orgánica. ACTAF. Libro Resumen, La Habana.
- Orlando, F. J., Silva L. C. F., Zambello, E. (1983). Agricultural utilization of vinasse in Brazil by means of tank-truck. Sugar Cane (2), 4-8.
- Paneque, V., Martínez, N., González, R., Velazco, Ana; Gómez: de la Naval, B. (1989). Utilización de los residuales líquidos de la industria azucarera y sus derivados en el riego y la fertilización de la caña de azúcar como alternativa para disminuir los riesgos de contaminación ambiental. INCA. La Habana.
- Paneque, V.M. y Calaña, J.M. Abonos orgánicos. Conceptos prácticos para la evaluación y aplicación. Folleto Divulgativo. INCA, La Habana, 2001.
- Paneque, V. M. (1992). Informe anual del tema 00724 del programa PCT 007 de la ACC. Segunda etapa. La Habana.
- Paneque, V. M. (2001). Manual de técnicas analíticas para los análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. Laboratorio de suelos y agroquímica. INCA. La Habana.
- Papavizas, G. C., Davey, C.B., Woodord, R. S. (1962). Comparative effectiveness of some organic amendments and fungicides in reducing activity and survival of *Rhizoctonia solani* in soil. *Cand. j. Microbiol*, 8, 915-923.
- Pérez, E. (1999). Toxinas de microorganismos como herbicidas. Memorias, I Encuentro Nacional de Ciencia de Malezas, Jardín Botánico Nacional, La Habana.
- Pérez, J., García, G., Esparza, F. (2002). Papel ecológico de la flora rizosférica en Perspectiva, 21, 297-300.
- Pérez, N. (2004). Manejo ecológico de plagas, CEDAR-UNAH. La Habana.
- Pluimers, J. (1996). The use of compost in urban agriculture urban waste expertise programme. Wasted Agriculture. Nieuwehaven 201, 2801 CW Gouda, the Netherlands.

- Precodepa. Proyecto R1. Manejo integrado de plagas. (1997). Memorias XXL, Reunión de evaluación y planificación de precodepa. Antigua Guatemala.
- Pretty, J. (1998). *The Living Land*. London, Great Britain: Earth scan.
- Pushpa, J. (2012). Characterization of Agro-Residues for Thermo-Chemical Applications. En: 4th International Conference. 4th International Conference on Engineering for Waste and Biomass Valorisation. Porto, Portugal. Disponible en: Memoria digital en CD-ROM.
- Racca, R. (2002). Fijación biológica del nitrógeno. En: Actas 1er Simposio de Fertilidad de Suelos y Fertilización en Siembra Directa. X Congreso Nacional de AAPRESID, 197-208.
- Rajendran, P., Jayakumar, E., Sripathi Kandula & Gunasekaran, P. (2008). *Vermiculture and Vermicomposting Biotechnology for Organic Farming and Rural Economic Development*. ECO Services International.
- Reinmuth, E. (1963). Phytopatologische Probleme auf dem Gebiet der Bodenfruchtbarkeitforschung. *Wiss. Z. Univ. Rostock, Math- Nat, Reiche*, 12, 269-277.
- Reyes, J. L. & Cano, P. (2005). La polinización de los cultivos por abejas. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Rod, D., Lefroy, B., Blair, G. (1994). The Dynamics of soil organic matter changes resulting from cropping. 15th World Congress of Soil Science. Acapulco. México, 235-245.
- Rodríguez-Kabana, R., Morgan-Jones, G., Chet, I. (1987). Biological control of nematodes: soil amendments and microbial antagonists. *Plant and Soil*, 100, 237-247.
- Roldós, J., Pérez, J., Casas, M. (2000). Capacidad nitro fijadora de la cepa 8 INICA de *Azospirillum* sp. y su relación con la caña de azúcar. (Comunicación personal).
- Romero, G., Cruz, A., Saldaña, A., González. (2001). Fertilizante y estiércol de bovino sobre el rendimiento de alfalfa. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Programas y Resúmenes. Varadero, Cuba.

- Sáez, V., M., Achaerandio I., Pujolá M. (2007). Estudio de un producto alimentario de V gama a partir de calabacín (Cucúrbita pepo). Tesis en opción a la especialidad de Industrias Agroalimentarias. Barcelona.
- Sánchez, P. A. (1976). Suelos tropicales características y manejos. Editorial IICA, San José. Costa Rica.
- Sánchez, P. (1994). A Tropical Soil Fertility Research: Towards the Second Paradigm. En: WCSS. 15th 65-88 pp. World Congress of Soil Science. Acapulco, México, Memoria digital en CD-ROM.
- Sandoval, I. y López, M.O. (2001). Hiperparasitismo de *Trichoderma harzianum*, *T. viride* y *T. pseudokoningii* sobre diferentes hongos fitopatógenos. *Fitosanidad* 5(1), 41-44.
- Simpson, A.J., Song, G., Smith, E., Lam, B., Novotny, E. H., Hayes, M.H.B., (2007). Unraveling the Structural components of soil humin by use of solution-state nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Environ. Sci. Technol*, 41, 876-88
- Six, J., Conant, R.T., Paul, E. A. Paustian, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, 155-176.
- Six, J., Elliott E.T., Paustian K. (2000). Soil macroaggregate turnover and micro aggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem*, 2099-2103.
- Sobrepera, R., López, D., Arzola, N., Morales, M.C., López, T., Sánchez, M.C., Bravo T., Lau, Y., Maya, H. (1991). Carga de zeolita con soluciones nitrogenadas para su uso en la agricultura como fertilizante de liberación lenta. Comisión 4:Agricultura.A-41.ZEOLITES91.Program-Abstract.3rd.International Conferencie on the occurrence, properties and utilization of natural zeolites.Habana.
- Stewart M. O., Eveline, L. (2012). Valorization of wastewater effluents for reuse: a case study from two cities in Honduras.4th International Conference on Engineering for Waste and Biomáss Valorisation. Porto, Portugal.

- Sui Yang, T., Hashidoko, Y., Melling, L., Kah Joo, G. (2009). Isolation and characterization of endophytic nitrogen-fixing bacteria in roots of oil palm (*Elaeis guineensis* Jack) cultivated in tropical peatland of Sarawak, Malaysia. Proceedings of Agriculture, biotechnology & sustainability Conference. Volume 3. Malaysian Palm Oil Board. PIPOC, 1054-1063 pp.
- Sumner, D. R. (1982). "Crop rotation and plant productivity". In: CRC Handbook of Agricultural Productivity. M. Rehg, ed. Florida: CRC Press. (I), 273-313.
- Swift, R. S. (2001). Sequestration of carbon by soil. *Soil Sci.*, 166, 858-871.
- Szogi, A. A. and Vanotti, M.B. (2003). Utilization of nutrients from animal manure: legislation and technology solutions. *Soils Sediments*, 3 (4) 260–262.
- Taiz, L., Zieger, E. (1998). *Plant Physiology*. Sinauer Ass. Inc. Publisher. USA. Disponible en: [librosdeciencias.blogspot.com/2007/.../plant-physiology-taiz-zeiger.h](http://librosdeciencias.blogspot.com/2007/.../plant-physiology-taiz-zeiger.h)
- Tisdall, J. M., Oades, J. M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.*, 33, 141–163.
- Tolosa, I., Mesa-Albernas, M., Alonso-Hernandez, C.M. (2010). Organochlorine contamination (PCBs, DDTs, HCB, HCHs) in sediments from Cienfuegos bay, Cuba. *Marine Pollution Bulletin*. 60, (9) 1619–1624.
- Tolosa, I., Mesa-Albernas, M., Alonso-Hernandez, C.M. (2009). Inputs and sources of hydrocarbons in sediments from Cienfuegos bay, Cuba. *Marine Pollution Bulletin*, 58(11), 1624–1634.
- Toro, R. (2004). *La biodiversidad microbiana del suelo, un mundo por descubrir*. Manizales, Colombia.
- Vanotti, M.B., Szogi, A.A., Hunt, P.G. (2003). Extraction of soluble phosphorus from swine wastewater. *Trans. ASAE*, 46 (6) 1665–1674.
- Vanotti, M.B., Szogi, A. A. (2007). Evaluation of environmentally superior technology contingent determination – second generation superior soil technology. Final Report for Phase I Environmentally Superior Technology Contingent Determination, NC Department of Justice, Office of the Attorney General.

- Vázquez, L. M. (2007). Manual para la adopción del Manejo Agroecológico de plagas en fincas de la agricultura suburbana. (Vol. 1). La Habana
- Vélez, M. (2006). Producción de leche con forrajes en el trópico: experiencias en el zamorano. Segunda Cumbre Internacional de Agricultura Sostenible. Guayaquil, (CD con ponencias).
- Vinogradov, A. (1981). El progreso técnico y la protección de la biosfera. En: La sociedad y el medio ambiente pp 32-44. Moscú: Editorial Progreso.
- Williams, C. M. (2009). Development of environmentally superior technologies in the US and policy. *Bioresour. Technol.* 100, 5512–5518.
- Wong, M.H. (1990). Comparison of several solid wastes on the growth of vegetable crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 30 (1–2) 49–60.
- Zaccari, F. (2004). Cucurbitácea. Centro Regional Sur. Facultad de Agronomía, UNAM. México.
- Zeus Química, S.A. (2010). Sphere lanza un bioplástico a partir de caña de azúcar [en línea]. Germany. Disponible en: [www.mundoplast.com/noticia/sphere-lanza-bioplastico-partir-caña-azucar/58103](http://www.mundoplast.com/noticia/sphere-lanza-bioplastico-partir-caña-azucar/58103)

# Índice

Prólogo.....	7
Capítulo I. Actividad antropogénica y medio ambiente.....	12
1.1. El hombre y el clima.....	12
1.2. Causas de la creciente degradación de las tierras y medidas para mitigarla... 17	
1.3. Biodiversidad.....	19
1.4. La Revolución verde y la seguridad alimentaria.....	20
1.5. Influencia del carbono en la biosfera.....	25
Capítulo II. Factores limitantes abióticos.....	31
2.1. El suelo.....	31
2.2. El clima.....	36
Capítulo III. El riego.....	39
3.1. Disponibilidad del agua.....	39
3.2. El agua y el suelo.....	41
3.3. Estados del agua en el suelo.....	43
3.4. El agua y las plantas.....	46
3.5. Las necesidades hídricas en la programación de riego.....	50
3.6. Sistemas de riego. Conceptos previos.....	54
3.7. Buenas prácticas de riego.....	60
Capítulo IV. Factores limitantes bióticos.....	64
4.1. Plagas.....	64
4.1.1. Situación actual del control fitosanitario.....	68
4.1.2. Manejo integrado de plagas.....	75
4.1.3. Empleo de las plantas en el control fitosanitario.....	78
4.1.4. Otras alternativas de control de plagas.....	80
4.1.5. Otras plantas que se utilizan en el control de plagas.....	83
4.1.6. Plantas bactericidas y funguicidas.....	84
4.1.7. Otras plantas con uso fitosanitario.....	85
4.1.8. Utilización de entomopatógenos.....	85
4.1.9. Control biológico de patógenos radiculares.....	93
4.1.10. Control biológico de enfermedades en poscosecha.....	94

4.1.11. Atrayentes de plagas e insectos beneficiosos.....	94
4.2. Malezas.....	96
4.3. Reguladores del crecimiento.....	100
4.4. Rotación y asociación de cultivos.....	103
4.5. Biofertilizantes.....	108
4.6. Micorrizas.....	115
4.7. Lombricultura.....	119
Capítulo V. Aprovechamiento agrícola de residuos en la agricultura.....	123
5.1. El suelo y las plantas como sumidero de carbono.....	123
5.2. Residuo líquido de la elaboración de azúcar.....	130
5.3. Residuos de la elaboración de alcohol y levadura torula .....	131
5.4. Residuos sólidos de la agroindustria de la caña de azúcar.....	134
5.5. Ciclo cerrado en la agroindustria de la caña de azúcar.....	141
5.6. Estiércoles como abono.....	142
5.6.1. Estiércol vacuno .....	143
5.6.2. Estiércol porcino .....	144
5.6.3. Gallinaza .....	144
5.6.4. Influencia de los abonos orgánicos pecuarios sobre propiedades del suelo.....	145
Referencias bibliográficas.....	148

El uso de variedades de alto rendimiento, fertilizantes químicos, modernas técnicas de riego, de conservación de la humedad del suelo y el control efectivo de las malas hierbas, enfermedades e insectos, han mantenido durante las décadas pasadas la producción mundial de alimentos a un ritmo más rápido de crecimiento que el de la población mundial. La preparación adecuada del terreno y las rotaciones de cultivos permiten una mayor economía en el consumo de herbicida que amenaza el futuro donde prácticas agronómicas convencionales empleadas desde hace algunas décadas, pretendían dominar la naturaleza. Su máxima expresión se conoció en “La Revolución Verde” que parecía ser la solución a la necesidad de alimentos y de materias primas provenientes de la actividad agropecuaria del hombre. Este paraíso productivo comenzó a desvanecerse cuando comenzaron a aparecer fenómenos asociados con esa agricultura industrializada. El laboreo y la no utilización de prácticas para reciclar los residuos de las cosechas, contribuyeron a la disminución del contenido orgánico de los suelos, lo que conjuntamente con la mecanización, ha propiciado el deterioro de la estructura y la compactación de los suelos. Gran cantidad de medidas agronómicas se generalizan en función de contribuir a conservar el ambiente, el laboreo mínimo, los abonos orgánicos, los biofertilizantes, micorrizas, vermicompost y otros son tratados en este texto con el propósito de que la agricultura resulte una actividad sostenible, menos agresiva sobre el ambiente y sus productos más sanos para la alimentación.

ISBN: 978-959-257-435-9



EDITORIAL



UNIVERSO  
S U R