



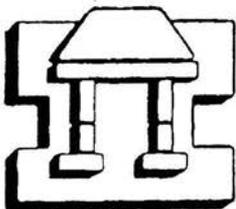
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**Importancia de la alelopatía
en la agricultura**

T E S I S I N A
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
B I Ó L O G A
QUE PRESENTA:
BEATRIZ ESPITIA CARMONA

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. JUAN LORENZO MEDINA PITALÚA**



2003



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mis padres:

Alvaro Espitia Lozada y Consuelo Carmona Cruz

Con profunda admiración

A mi esposo y a mi hijo:

Rubén Veloz Canales y Edgar R. Veloz Espitia

Por el amor que nos une

A mis hermanos:

Héctor, Guadalupe, Néstor, Irma, Aurora, Martha y Lourdes

Por su ejemplo de unidad familiar.

A Eugenia Canales Aparicio

Con cariño y gratitud.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente a todas las personas que directa o indirectamente contribuyeron a la realización del presente trabajo, en especial:

Al Dr. Juan Lorenzo Medina Pitalúa por la dirección y constante apoyo brindado para la realización de ésta tesina.

A mi esposo Rubén Veloz Canales y a mi hijo Edgar R. Veloz Espitia por su valiosa asistencia técnica en la realización del presente trabajo.

A mis compañeras y amigas Biol. Genoveva Medina Pitalúa, Biol. Rebeca Ramos Ozuna, Biol. Constanza Torres Valadez y Biol. Guadalupe Vera Rivera por su amistad, motivación y ayuda incondicional en la elaboración de este trabajo.

**IMPORTANCIA DE LA ALELOPATÍA EN LA
AGRICULTURA**

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
INTERACCIONES BIOLÓGICAS	5
CONCEPTO DE ALELOPATIA	7
SIGNIFICADO ETIMOLÓGICO.....	7
DEFINICIONES DE ALELOPATÍA	7
DIFERENCIAS ENTRE COMPETENCIA Y ALELOPATÍA	9
ANTECEDENTES HISTÓRICOS	11
TIPOS DE ALELOPATÍA	13
ALELOPATÍA VERDADERA	14
ALELOPATÍA FUNCIONAL	14
ALELOPATÍA INTRAESPECÍFICA O AUTOTOXICIDAD.....	14
ALELOPATÍA INTERESPECÍFICA.	14
AGENTES ALELOPÁTICOS	15
MODOS DE LIBERACIÓN DE LOS AGENTES ALELOPÁTICOS	20
VOLATILIZACIÓN.	20
LIXIVIACIÓN.....	21
EXUDADOS RADICULARES	22
DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS VEGETALES.	23
MECANISMOS DE ACCIÓN DE LOS AGENTES ALELOPATICOS	25
LIMITACIONES EN EL ESTUDIO DE LOS MECANISMOS DE ACCIÓN	25
EFECTOS SOBRE PROCESOS ASOCIADOS A MEMBRANAS.	26
ALTERACIONES HORMONALES PROVOCADAS POR AGENTES ALELOPÁTICOS.....	27
INHIBICIÓN DE LA DIVISIÓN CELULAR.....	28
INHIBICIÓN DE LA FOTOSÍNTESIS	28
REDUCCIÓN EN LA SÍNTESIS DE PROTEÍNAS.	29

EFFECTOS SOBRE LA RESPIRACIÓN	29
FACTORES QUE DETERMINAN LA PRODUCCIÓN DE AGENTES	
ALELOPÁTICOS	30
LA LUZ.....	30
DEFICIENCIAS MINERALES.....	31
SEQUÍA.....	31
IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO DE LOS PROCESOS	
ALELOPÁTICOS	32
COBERTURAS VEGETALES Y SUSTENTABILIDAD	35
LA UTILIZACIÓN DE LOS MANTILLOS EN EL CONTROL DE MALEZA	
.....	39
FORMAS DE UTILIZACIÓN DE LAS COBERTURAS VEGETALES EN EL	
CONTROL DE MALEZAS	40
COBERTURAS MUERTAS O MANTILLOS	40
<i>Factores que determinan su eficiencia</i>	<i>40</i>
<i>Mecanismo de acción de los mantillos en el control de malezas.....</i>	<i>41</i>
<i>Principales especies utilizadas como mantillos.....</i>	<i>42</i>
COBERTURAS VIVAS	43
<i>Factores que determinan la eficiencia en el control de malezas.....</i>	<i>43</i>
<i>Principales especies utilizadas como coberturas vivas</i>	<i>44</i>
EXPERIENCIAS	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
BIBLIOGRAFÍA.....	63

RESUMEN

En la actualidad resulta de gran importancia investigar y encontrar tecnologías que nos permitan el desarrollo de una agricultura rentable y no contaminante del ambiente. Por otra parte, el uso de productos químicos en la agricultura aumenta los rendimientos y la rentabilidad de los cultivos, pero su utilización constante puede alterar el medio biológico, produciendo graves daños en los diversos ecosistemas. Es por eso que la utilización de prácticas sostenibles como: la reducción de productos químicos, rotaciones y asociaciones de especies benéficas, entre otras, son algunas de las variantes que pueda garantizar una buena producción sin contaminar el medio ambiente.

Autores como De Candolle (1832), los trabajos de Molish (1937), Evenari (1949), Grümmer (1955), Whittaker (1970), Rice (1979), Almeida (1981) entre muchos otros, han coincidido en denominar, de forma general, a la alelopatía como el efecto producido por las interacciones bioquímicas que se establecen en un agroecosistema entre una especie donante sobre otra especie receptora, que incluye a plantas y microorganismos, pudiendo producir este efecto, tanto daños como beneficios.

Muchos de los compuestos químicos alelopáticos son productos secundarios, que aparentemente no desempeñan funciones en el metabolismo básico de las plantas y que pueden ser liberadas al ambiente a través de exudaciones radicales, lixiviación por el agua desde las partes aéreas, compuestos volátiles y descomposición de residuos vegetales. Todos estos mecanismos han demostrado ser importantes en el fenómeno de la alelopatía produciendo efectos sobre la germinación y crecimiento de las plantas que viven en un mismo hábitat.

Las malezas son, sin duda alguna, el primer problema que presenta la producción de alimentos, es por eso que se han creado una gran cantidad de herbicidas, estas técnicas modernas de controlar las malezas se pueden simplificar si se adoptan formas más naturales y biológicas para su control.

La alelopatía merece toda nuestra atención cuando se usa en conjunto con labranza de conservación y particularmente en México es una necesidad considerando que más del 60% de nuestro territorio sufre de un moderado a severo grado de desertificación por efectos de erosión, (SEMARNAP, 2002).

El principio fundamental de la Labranza de Conservación es la cobertura o mantillo del suelo con rastrojos de las cosechas de los cultivos anteriores, los cuales tienen la ventaja de enriquecer el suelo de materia orgánica, mantener la temperatura a niveles más estables, reducir el impacto de la lluvia, aumentar la absorción de agua, retener la humedad, evitar la erosión hídrica y eólica, disminuir la presencia de malezas y mejorar las condiciones para la germinación de las semillas del cultivo. Ante tal situación, la alelopatía y la labranza de conservación surgen como una opción para el uso sustentable de los suelos, aumentando la producción agrícola y disminuyendo el riesgo de deterioro ambiental.

INTRODUCCIÓN

Las malezas constituyen una plaga importante, debido a que reducen en gran medida la capacidad productiva de especies de plantas de cultivo y contrarrestan de muchas maneras los esfuerzos del hombre en la producción de alimentos. Todas las definiciones de malezas son antropocéntricas, ya que una planta es considerada mala o benéfica desde el punto de vista del interés del hombre, en realidad las malezas no tienen características botánicas, fisiológicas o ecológicas que las hagan diferentes de las otras plantas que no llamamos malezas. Una planta que no causa daño no la consideramos mala hierba, sino hasta el momento que interfiere con las actividades o intereses del hombre (Pitty, 1997).

La lucha contra las malezas está tomando una importancia creciente en todas las regiones agrícolas a nivel mundial, porque en muchos de los cultivos, el manejo de las malas hierbas incrementa los costos de producción, a pesar de esto, las técnicas utilizadas para su eliminación no se estudian de manera completa y tienen tras de sí la práctica agrícola de siglos, como es el caso de la labranza del suelo, rotación de cultivos que era usada para propiciar diversas formas de competencia contra las malezas, y más recientemente la utilización de compuestos químicos llamados herbicidas. Sin embargo, existen otros métodos para combatir las malezas, los cuales son el resultado de investigaciones recientes, en donde se han llevado a cabo estudios cuidadosos basados en la fisiología y ecología vegetal, enfocándose parte de estos conocimientos a la acción perjudicial que tiene una planta sobre otra mediante compuestos químicos. En 1937, Molisch (cit. por Rice 1979) designó esta acción perjudicial con el término de **alelopatía**.

El descubrimiento de la actividad alelopática, es decir, la alteración del crecimiento y/o desarrollo normal de algunas especies debido a la acción de sustancias fitotóxicas liberadas por otras plantas al medio (suelo, principalmente) debido a la exudación y descomposición de los residuos de plantas, ha abierto una gran área de estudios para los investigadores que con merecida razón han dado énfasis a la necesidad del uso racional de los agroquímicos, que han permitido por un lado, aumentar los rendimientos de los cultivos, pero por otro, el uso constante de éstos pone en gran riesgo de contaminación al medio biológico existente en el suelo.

Además, en el sector salud se han reportado algunos estudios epidemiológicos en los que asocian ciertos herbicidas con sarcomas en los tejidos, por otra parte, sería ideal producir mercados en los que predominen granos, carne y legumbres sin plaguicidas.

Por lo anterior, el estudio de las interacciones químicas entre las principales especies de un agroecosistema, el impacto de la alelopatía en la agricultura y la calidad de los cultivos, deben conducirnos hacia metas ecológicas y a la búsqueda de mayor información que nos permita aprovechar el potencial de productos naturales, que pueden ser usados por sus propiedades biológicas particulares como: herbicidas, plaguicidas, antibióticos, inhibidores, estimulantes de crecimiento, etc., teniendo prácticamente una variedad inagotable de usos en el campo y con la ventaja de ser biodegradables, además estas características que nos proporcionan las malezas y cultivos no han tenido toda la atención que se requiere por parte de las empresas productoras de agroquímicos.

Por lo tanto el uso de la alelopatía en combinación con la labranza de conservación es un campo promisorio de estudios que sin duda, ayudará en un futuro cercano a tener una agricultura más productiva, sana y más natural.

De esta manera se pretende llevar a cabo la presente investigación bibliográfica con los objetivos siguientes:

1. Estudiar la importancia de los efectos tanto benéficos como perjudiciales que tiene la alelopatía en la agricultura.
2. Describir las experiencias a nivel mundial sobre el papel de los mantillos en el control de malezas, bajo el sistema de labranza de conservación, donde la alelopatía generada por la descomposición de los residuos de cultivos anteriores, es la manera más efectiva desde el punto de vista ecológico, económico y técnico para reducir la pérdida de suelo por erosión, las infestaciones de malezas, y los efectos contaminantes de los plaguicidas, mientras que por otro lado se conserva la humedad del suelo, entre muchas otras ventajas.

INTERACCIONES BIOLÓGICAS

La vida de todo organismo es afectada por las vidas de otros organismos. Así como cada organismo debe enfrentar las condiciones de su ambiente físico, también debe afrontar los problemas y oportunidades ofrecidas por otros organismos y que cada una no es independiente de sus vecinos, sino parte de un sistema de partes interdependientes de unidades más complejas.

A continuación se presentan algunas de las interacciones más importantes. (Casilla, 1982).

1. **SIMBIOSIS.**- Es la asociación íntima, duradera y recíprocamente provechosa existente entre dos individuos de distinta especie.
2. **PARASITISMO.**- Es la relación en la cual un organismo pasa toda su vida o parte de ella sobre o dentro de otro organismo y utiliza el alimento o los tejidos del huésped para nutrirse y al cual causa cierto grado de daño.
3. **COMENSALISMO.**- En esta asociación, dos especies pueden vivir juntas; una de ellas el comensal obtiene beneficio de la asociación, pero la otra no es dañada.
4. **MUTUALISMO.**- Relaciones simbióticas en las que cada especie se beneficia de la asociación y no pueden vivir sin ella.
5. **AMENSALISMO.**- En ciertos tipos de asociación entre especies una de ellas es perjudicada pero la segunda no es afectada.
6. **COMPETENCIA.**- Es el resultado de la necesidad que tienen diferentes organismos de un mismo factor para sobrevivir, pero el medio ambiente no puede suplir las necesidades de los dos al mismo tiempo. En las plantas son la luz, el agua, los minerales (N, P, K) y el espacio para crecer.
7. **INTERFERENCIA.**- Conjunto de todos los efectos deletéreos de una planta sobre otra, y que engloba los efectos alelopáticos y competitivos que se puedan presentar.

8. **ALELOPATIA.**- Estudia las relaciones entre las plantas afines y las plantas que se rechazan, utilizando sustancias químicas para evitar el ataque de diferentes plagas y enfermedades a las que pueden ser susceptibles.

Uno de los aspectos más interesantes de la Biología son las numerosas y distintas formas de relación entre los organismos, las que van desde benéficas hasta perjudiciales y todas estas interacciones son soluciones al problema de supervivencia.

CONCEPTO DE ALELOPATIA

SIGNIFICADO ETIMOLÓGICO

El término alelopatía proviene del griego allelon que significa uno al otro, y del griego pathos que representa sufrir; efecto dañino de uno sobre otro.

DEFINICIONES DE ALELOPATÍA

Molisch (1937), (cit. por Rice, 1979) define a la alelopatía como cualquier efecto, causado por una planta, incluyendo microorganismos, que directa o indirectamente es perjudicial a otra planta, a través de compuestos químicos lanzados al medio ambiente; incluye a hongos y otros microorganismos, puesto que en su tiempo todos ellos se consideraban miembros del reino vegetal.

Grüner (1959), (cit. por Moreira, 1982) propuso una designación específica para los diferentes agentes alelopáticos basada en el tipo de planta productora de los mismos y el tipo de planta receptora.

Muller (1964), utiliza el término de alelopatía para referirse a los efectos nocivos de un compuesto químico producido por una planta superior sobre otra planta superior.

Tukey (1969), menciona que no todas las sustancias liberadas por las plantas son inhibidoras para las plantas vecinas y, al contrario algunas pueden tener efecto de estímulo; algunos metabolitos pueden también provocar diferentes reacciones de estímulo o inhibición, dependiendo de su concentración y de otros factores.

Whittaker (1970), sugiere el término de aleloquímicos para las sustancias químicas de una planta y que tienen influencia en otra, no especificando la naturaleza de la reacción.

Whittaker y Feeny (1971), para ellos el conjunto de interacciones denominadas aleloquímicos, intervienen compuestos químicos a través de los cuales los organismos de una especie afectan el crecimiento, estado sanitario, comportamiento o la biología de la población de organismos de otra especie.

Rice, E. L. (1979) usó la palabra alelopatía para referirse a cualquier efecto dañino, directo o indirecto, de una planta sobre otra, a través de compuestos químicos que escapan al ambiente; no incluyó los efectos estimulatorios.

Rice, E. L. (1984), menciona que casi todos los compuestos químicos son inhibidores a cierta concentración y son estimuladores del mismo proceso en concentraciones más bajas, aceptó incluir los efectos estimulatorios en su definición.

Einhellig (1995), comenta que frecuentemente la fuente emisora de un compuesto alelopático no se conoce con claridad y que estas sustancias liberadas por las plantas superiores pueden ser alterados por microorganismos en el suelo, antes de que ejerzan su acción sobre la planta receptora, a su vez es difícil establecer la fuente de producción de un compuesto aislado en el medio edáfico. También la terminología sugerida no permite aclarar el rol de la sustancia con actividad biológica cuando esta tienen múltiples funciones afectando varios tipos de organismos.

Pitty (1997), se refiere a la alelopatía como la producción de sustancias químicas por una planta viviente o por sus residuos en descomposición, las cuales interfieren o estimulan la germinación, crecimiento o desarrollo de otra planta.

Exner (2002), alelopatía refiere a los efectos negativos que una especie produce en otra, y se cree que funciona mediante exudaciones de las raíces, productos de la descomposición de residuos de cosecha, o por microbios del suelo.

DIFERENCIAS ENTRE COMPETENCIA Y ALELOPATÍA

Es casi imposible determinar en el campo si la reducción en rendimiento de un cultivo se debe a competencia o alelopatía de las malezas.

De acuerdo con Blum *et al.* (1992), (cit. por Pazmiño,1999), la actividad alelopática depende de diversos factores:

1. Sensibilidad de la especie receptora
2. Liberación de la toxina al medio
3. Actividad e interacciones bióticas y abióticas que ocurren en el suelo con la toxina (microorganismos, temperatura, ph, etc.).

Este concepto distingue con nitidez la alelopatía de la competencia, porque esta última significa la reducción de algún factor del medio ambiente necesario para el normal crecimiento de otra planta que comparte el mismo hábitat. Entre estos factores se encuentran: Luz, agua, nutrimentos, espacio.

Solamente existe competencia cuando dos plantas requieren el mismo factor de crecimiento, pero el ambiente no puede suplir las necesidades de las dos al mismo tiempo.

La alelopatía al no alterar ninguno de estos factores, no es por lo tanto un fenómeno competitivo; sino que implica la liberación al entorno por parte de una planta de un compuesto químico que ocasiona un efecto sobre otra (Zimdahl, 1980).

La alelopatía y la competencia son muchas veces confundidas y cabe resaltar que los efectos del primero dependen de compuestos químicos que son adicionados al medio, en cuanto que la competencia consiste en la remoción o reducción de algunos factores al medio que son disputados por la planta dañina y por el cultivo (Pitty, 1997).

Es necesario remarcar que la alelopatía no disminuye la importancia de la competencia o de cualquier otro proceso ecológico; muy por el contrario, en la mayoría de los casos actuarían en conjunto.

En la práctica, se hace difícil discernir si el efecto de una planta sobre otra se debe a la alelopatía o a la competencia. Es por ello que Harper (1961), en un simposio sobre mecanismos en la competencia biológica, sugirió usar la palabra **interferencia** para describir los daños sufridos por un organismo debido a la proximidad de sus vecinos. Posteriormente Muller, (1969) sugirió usar la expresión de **interferencia** para referirse al conjunto de todos los efectos perjudiciales de una planta sobre otra, englobando de esta manera los efectos alelopáticos y los competitivos.

Hace varias décadas se hablaba solamente de competencia, aunque los efectos observados podían ser atribuidos a la alelopatía. Actualmente se hace referencia a la interferencia, que abarca competencia, alelopatía y algunos incluyen el parasitismo como una parte de la interferencia (Bridges, 1995). Sin embargo, como el parasitismo no ocurre en todas las especies, en la mayoría de los casos sólo se menciona competencia y alelopatía como componentes de la interferencia.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Plinio (Plinius Secundus, 1 A.D.) (cit. por Sampietro sin fecha), estableció que la sombra del nogal (Junglans regia) "... es densa y aún causa dolor de cabeza en el hombre y daño a cualquier cosa plantada en su vecindad; y el pino también mata pastos". La percepción de Plinio de la liberación de sustancias por las plantas es clara cuando escribe que "la naturaleza de algunas plantas a pesar de no ser exactamente mortales es nociva debido a sus mezclas de fragancias o a sus jugos".

Culpeper, (1633), (cit. por Sampietro sin fecha) declaró que la albahaca (Ocimum) y la ruda nunca crecen juntas ni cerca una de la otra. El afirmó también que hay tal antipatía entre la planta de repollo y la vid que una moriría en el lugar donde crece la otra. Browne en su "Jardín de Cyrus" publicado en 1658 informa que "los malos y los buenos efluvios de las verduras promueven o debilitan unos a otros".

Young, (1804), (cit. por Sampietro sin fecha) sostuvo que el trébol (Trifolium pratense) tenía dificultades para crecer en lugares donde se había cultivado la planta constantemente, porque el suelo adquiere la enfermedad del trébol. También puntualizó que la enfermedad del trébol puede ser prevenida dejándose un intervalo de 7 a 8 años entre cultivos de trébol.

De Candolle (1832), (cit. por Pitty, 1997 y Pazmiño1999), sugirió que los suelos enfermos en agricultura podría deberse a exudados de plantas de cultivo y que la rotación de cultivos podría ayudar a disminuir el problema. El observó en el campo que la presencia de cardos es nociva para la avena (Avena sp.) Igualmente se dio cuenta que las plantas de centeno (Secale cereale) lo eran para las de trigo (Triticum aestivum).

Los antecedentes señalados anteriormente indican que desde hace mucho tiempo se han observado casos de alelopatía, pero no fue sino después de 1900 que se realizaron experimentos científicos para estudiar este fenómeno.

Schreiner y Col.(1907-1911), (cit. por Sampietro, sin fecha), descubrieron en "suelos fatigados" la presencia de productos químicos también presentes en plantas de cultivo y que tenían efectos deletéreos sobre muchas plantas cultivadas.

Cook (1921), (cit. por Pitty, 1997), indicó que las plantas de tomate y papa que crecían alrededor del nogal negro (*Juglans nigra*) se marchitaban. Estudios posteriores indicaron que las plantas se marchitaban cuando quedaban en contacto con las raíces del nogal, debido a la producción de la juglona que interfiere con el crecimiento de las plantas.

Massey (1925), (cit. por Sampietro, sin fecha), observó plantaciones de tomate y alfalfa en un radio de hasta 25 metros del tronco del nogal. Las plantas situadas en un radio de hasta 16 metros morían mientras las situadas más lejos del mismo crecían sanas. Posteriormente se probó que la juglona, una hidroxinaftoquinona soluble en agua causante del color pardo que tiñe las manos de quienes manipulan nueces, provocaban esta fitotoxicidad. En todas las partes verdes de la planta (hojas, frutos y ramas) se encuentra el 4-glucósido del 1,4,5-trihidroxinaftaleno, producto tóxico que luego de ser arrastrado al suelo por las lluvias es hidrolizado y oxidado a juglona. Este compuesto al 0.002 % produce inhibición total de germinación de las especies sensibles. La concentración de juglona en el suelo se mantiene por realimentación constante a partir de los árboles de nogal. Por otro lado, no todas las plantas son sensibles a esta sustancia. Especies del género *Rubus* (rosáceas), tales como la zarzamora o la frambuesa, y la gramínea (*Poa pratensis*) no son afectadas.

Luego de la juglona se identificaron una gran cantidad de agentes alelopáticos de naturaleza diversa como se podrá apreciar mas adelante.

TIPOS DE ALELOPATÍA

Grümmer (1959), (cit. por Moreira, 1982), sugiere algunos términos referentes a los compuestos alelopáticos, de acuerdo con el tipo de planta inhibidora e inhibida:

- Antibiótico.- Sustancia inhibidora producida por un microorganismo que actúa sobre otro microorganismo.
- Fitotoxina.- Agente químico producida por una planta superior y que afecta a microorganismos.
- Marasminas.- Sustancia producida por un microorganismo, perjudicial a plantas superiores.
- Colina.- Sustancia producida por una planta superior y que es perjudicial a otra planta superior.

Grandes cantidades de sustancias con características inhibitorias son liberadas al medio como el resultado de la descomposición microbiológica que sufren los residuos vegetales en el suelo. En otros casos estas sustancias no están presentes en los residuos vegetales, sino son generadas por microorganismos saprofitos. Lo anterior llevó a Rabotnow, (1974), (cit. por Moreira, 1982), a definir dos formas de alelopatía, “eccrisodinamia” influencia a través de metabolitos provenientes de organismos autótrofos y “saproccrinodinamia”, influencia a través de metabolitos producidos por organismos saprofitos.

Más recientemente se dan a conocer otras dos clasificaciones, la primera de ellas se basa en la manera de cómo son producidos los compuestos alelopáticos y se divide en:

ALELOPATÍA VERDADERA

Sucede cuando las plantas producen y dejan escapar al ambiente sustancias químicas que inhiben el crecimiento de otras plantas, no hay modificación del compuesto original producido por la planta (Pitty, 1997).

ALELOPATÍA FUNCIONAL

Se da cuando los microorganismos descomponen los restos de cultivos o de malezas produciendo metabolitos secundarios que causan alelopatía. En este caso hay cambios en el compuesto original producido por la planta. Por ejemplo, el hongo *Penicillium griseofulvum* que se encuentra en rastrojos de plantas en lotes bajo labranza de conservación, produce patulina, una sustancia que inhibe el crecimiento y germinación del maíz (Norstadt y McCalla, 1963).

La segunda clasificación se basa en las especies de plantas que intervienen y se divide en:

ALELOPATÍA INTRAESPECÍFICA O AUTOTOXICIDAD.

Ocurre entre plantas de la misma especie y hay muchos ejemplos de cultivos como alfalfa, espárragos, café, arroz en los cuales sus propios residuos son tóxicos para ellos (Pitty, 1997).

ALELOPATÍA INTERESPECÍFICA.

Se presenta entre plantas de diferentes especies y puede ser de maleza a cultivo, cultivo a maleza, maleza a maleza o cultivo a cultivo. Es muy importante cuando se usa labranza de conservación ya que los residuos de cultivo y malezas que quedan sobre la superficie del suelo pueden afectar a los cultivos y a otras malezas (Pitty, 1997).

AGENTES ALELOPÁTICOS

Las plantas producen una gran cantidad de compuestos orgánicos, que al parecer no tienen una función directa en su crecimiento y desarrollo y se encuentran en forma esporádica en algunas especies de plantas. Estas sustancias se conocen como metabolitos secundarios, productos secundarios o productos naturales. Los metabolitos primarios tales como la clorofila, aminoácidos, nucleótidos, carbohidratos simples o lípidos de la membrana, se diferencian de los metabolitos secundarios, porque estos últimos no tienen un papel reconocido en los procesos de fotosíntesis, respiración, transporte de solutos y asimilación de nutrientes. Otra característica de los metabolitos secundarios es que se han encontrado solamente en algunas especies de plantas o en grupos relacionados taxonómicamente, mientras que los metabolitos primarios se encuentran en todo el reino vegetal. (Pitty, 1997; Zeiger, 1998).

Por mucho tiempo la función de los metabolitos secundarios en la planta fue desconocido, considerándose metabolitos de basura (desperdicio), o productos del metabolismo que tenían funciones simples.

Los pioneros en el estudio de estas sustancias fueron los químicos orgánicos del siglo XIX y XX, quienes se interesaban en estas sustancias por la importancia que pudiera tener en la medicina.

Más recientemente han sugerido que los metabolitos secundarios tienen importantes funciones ecológicas, entre las cuales está la protección de las plantas contra los herbívoros y la infección por microbios patógenos. También se ha demostrado que los productos secundarios sirven como atrayentes de organismos para la polinización y dispersar semilla, además de servir como agente de defensa contra otras plantas, (Pitty, 1997; Zeiger, 1998).

En la mayoría de los inhibidores químicos son compuestos secundarios que según Fraenke (1959), (cit. por Moreira, 1982) y Whittaker y Feeny (1971), aparentemente no desempeñan funciones importantes en el metabolismo básico de los organismos. Los últimos dos autores agrupan a los agentes alelopáticos en cinco categorías principales: fenilpropanos, acetogeninas, terpenoides, esteroides y alcaloides.

Rice, (1979), propuso un sistema de clasificación con trece categorías indicadas con letras mayúsculas, plantea también las secuencias biosintéticas conocidas o probables. En una 14ª categoría incluye algunos compuestos que no se adaptan claramente o aquellos otros cuyo origen no es bien conocido.

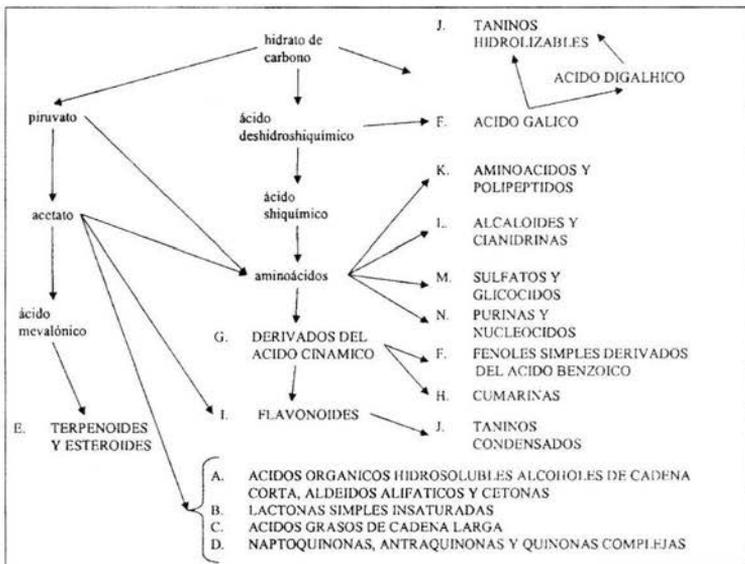


Ilustración 1

Nota: las categorías de compuestos alelopáticos consideradas por el autor son presentadas en letra mayúscula (Rice, 1979).

La mayoría de los agentes alelopáticos en las plantas superiores, corresponden a metabolitos secundarios. Existe una gran diversidad de estos compuestos, que pueden ser sintetizados por la vías metabólicas, ya sea de ácido shikímico o del acetato, o por una combinación de estas dos rutas biosintéticas (Einhelling, 1995).

Pitty, (1997), indica que no existe una clasificación de los compuestos alelopáticos que sea aceptada por todos. Los agentes químicos que se han aislado son sintetizados a través de la vía del ácido shikímico y del acetato; son muy variados y pueden ser gases simples o compuestos aromáticos muy complejos.

Zeiger, (1998), señala que los metabolitos secundarios pueden ser divididos en tres grupos químicamente distintos: **terpenos**, **fenoles** y **compuestos nitrogenados**. Los terpenos son lípidos sintetizados a partir de acetyl CoA o de intermediarios básicos de la glicólisis. Los compuestos fenólicos son sustancias aromáticas formadas vía ácido shikímico o de la ruta del ácido malónico. Los compuestos nitrogenados tales como los alcaloides son biosintetizados a partir de los aminoácidos.

Terpenos.- Son el grupo mas grande de los compuestos secundarios y evitan que los insectos y mamíferos se alimenten de las plantas, pero se reportan con menor frecuencia causando alelopatía. El Eucalyptus camaldulensis produce aceite que son terpenos y son alelopáticos a muchas plantas (Pitty, 1997).

Las plantas superiores producen una gran variedad de terpenoides, pero de ellos sólo unos pocos parecen estar involucrados en alelopatía. Frecuentemente estas sustancias se aislaron de plantas que crecen en zonas áridas y semiáridas. Los monoterpenos son los principales componentes de los aceites esenciales de los vegetales y son los terpenoides inhibidores de crecimiento más abundantes que se han identificado en las plantas superiores. Son conocidos por su potencial alelopático contra malezas y plantas de cultivo. Entre los más frecuentes con actividad alelopática se pueden citar el alcanfor, a y b pineno, 1,8-cineol y dipenteno. Dentro de las plantas que los producen se citan los géneros Salvia spp, Amaranthus, Eucalyptus, Artemisia y Pinus. (Sampietro, sin fecha).

Sampietro, (sin fecha), menciona que los **compuestos aromáticos** tienen la más extensa cantidad de agentes alelopáticos. Incluye fenoles, derivados del ácido benzoico, derivados del ácido cinámico, quinonas, cumarinas, flavonoides y taninos.

- **Fenoles simples.**- Son los compuestos alelopáticos más comúnmente aislados de las plantas, son muy solubles en agua y se lavan muy fácilmente de los tejidos de las plantas, entre ellos las hidroxiquinonas y la arbutina, se aislaron de lixiviados de *Arctostaphylos* e inhiben el crecimiento de varias plantas. Otro ejemplo es el espárrago que produce compuestos fenólicos y son alelopáticos para otras plantas y hasta para el espárrago.
- **Ácido benzoico.**- Derivados del ácido benzoico tales como el ácido hidroxibenzoico y vainílico, están comúnmente involucrados en fenómenos alelopáticos. Dentro de las especies que los contienen se pueden citar al pepino, la avena (*Avena sativa*) y el sorgo, También se detectó la presencia de éstos en el suelo.
- **Ácido cinámico.**- La mayoría de estos compuestos son derivados de la ruta metabólica del ácido shikímico. Y están ampliamente distribuidos en las plantas. Se identificó la presencia de los mismos en pepino, girasol (*Helianthus annuus*) y guayule (*Parthenium argentatum*). Otros derivados de los ácidos cinámicos tales como el clorogénico, cafeico, p-cumárico y ferúlico están ampliamente distribuidos en el reino vegetal y son inhibidores de una gran variedad de cultivos y malezas. Los efectos tóxicos de estos compuestos son pronunciados debido a su larga persistencia en el suelo y muchos derivados del ácido cinámico han sido identificados como inhibidores de la germinación.
- **Quinonas.**- Varias de las quinonas y sus derivados provienen de la ruta metabólica del ácido shikímico. El ejemplo clásico de estos compuestos es la juglona y naftoquinonas que se aislaron del nogal.

- **Cumarinas.**- Están presentes en muchas plantas, la metil esculina fue identificada en Ruta, Avena e Imperata. Compuestos tales como la escopolina, escopoletina y furanocumarinas tiene capacidad inhibitoria del crecimiento vegetal.
- **Flavonoides.**- Sus productos de degradación tales como quercetenina y myrcetina son agentes alelopáticos bien conocidos.
- **Taninos.**- Tanto los hidrolizables como los condensados, tienen efectos inhibitorios debido a su capacidad para unirse a proteínas. Taninos hidrolizables comunes tales como los ácidos gálico, elágico, trigálico, tetragálico y quebúlico están ampliamente distribuidos en el reino vegetal. La mayoría están presente en suelos de bosques en concentraciones suficientes para inhibir nitrificación. Los taninos condensados, los cuales se originan de la polimerización oxidativa de la catequinas, inhiben las bacterias nitrificantes en suelos forestales y reducen el ritmo de descomposición de la materia orgánica el cual es importante para los ciclos de los minerales en el suelo.

Compuestos nitrogenados.- Los alcaloides son compuestos cíclicos que tienen nitrógeno, son muy efectivos reduciendo la germinación. Por ejemplo la germinación de la maleza *Amaranthus spinosus* es inhibida por el alcaloide cafeína, producido por las plantas de café (Pitty, 1997). Pocos alcaloides se conocen con actividad alelopática. Algunos como la cocaína, cafeína, cinconina, fisostigmina, quinina, cinconidina, estrienina son reconocidos inhibidores de la germinación. La cebada exuda por sus raíces la gramina que inhibe el crecimiento de *Stellaria media* (Sampietro, sin fecha).

IZT.



MODOS DE LIBERACIÓN DE LOS AGENTES ALELOPÁTICOS

Un concepto clave en la alelopatía es que los agentes químicos involucrados se transfieren de un organismo a otro a través del medio ambiente. Los compuestos pueden ser liberados por exudaciones radiculares, lixiviación por el agua desde las partes aéreas, descomposición en el suelo de los residuos vegetales o eliminación como compuestos volátiles. La manera como sucede depende de las características de volatilidad y solubilidad del químico en el agua y del sitio de la planta donde se está acumulando. Todos estos mecanismos de liberación de agentes han demostrado ser importantes en el fenómeno de la alelopatía, produciéndose efectos sobre la germinación y crecimiento de las plantas que viven en el mismo hábitat o cercanos (Tukey, 1969; Pitty, 1997).

VOLATILIZACIÓN.

La liberación de agentes alelopáticos por volatilización está frecuentemente confinada a las plantas que producen terpenos. Sin embargo, si una planta es aromática no significa que sea alelopática. Los compuestos volátiles pueden actuar directamente, pero también se acumulan en el suelo. A este respecto Ballester (1972), destaca el efecto residual que parecen tener algunos terpenos ejerciendo su influencia por un largo periodo de tiempo y que otros compuestos volátiles, como el etileno y el amoníaco pueden tener acción alelopática.

Cualquier parte de la planta puede producir estas sustancias, pero los tricomas en las hojas son los que producen mas compuestos alelopáticos. Los géneros que comúnmente liberan compuestos volátiles incluyen Artemisa, Salvia, Parthenium, Eucalyptus y Brassica. Estas sustancias han demostrado también actividad insecticida y como disuasivos alimenticios.

La toxicidad de los compuestos volátiles es prolongada, debido a su absorción de las partículas al suelo, lo cual les permite permanecer varios meses en él, lo que causa que haya menos vegetación alrededor de los árboles, generalmente estos compuestos son lavados por la lluvia o rocío y se acumulan en el suelo.

En ecosistemas de desierto y mediterráneos, la liberación de compuestos alelopáticos a través de la volatilización es frecuentemente observada debido a que en las regiones áridas se producen más compuestos volátiles por el predominio de altas temperaturas (Pitty, 1997; Sampietro, sin fecha).

LIXIVIACIÓN.

Las sustancias lixiviadas de las plantas pueden caer al suelo subyacente y ser absorbidas directamente por la propia planta de que fueron eliminadas, o por otras plantas vecinas, vía absorción radical o son interceptadas por los tallos y follajes de algunas plantas adyacentes, antes de alcanzar el suelo. Los microorganismos del suelo pueden metabolizar las sustancias que son arrastradas, ocasionando productos secundarios con acción muy diferente a la original. Los compuestos aleloquímicos arrastrados por el lavado de las plantas superiores pueden afectar directamente los microorganismos del suelo, los cuales en contrapartida pueden también tener una acción alelopática e influenciar la susceptibilidad de las plantas a los ataques de agentes patógenos. La lixiviación de sustancias alelopáticas puede darse también de material vegetal muerto, ese material probablemente liberará cantidades más significativas en la alelopatía por la descomposición a través de los organismos del suelo. De tallos, hojas caídas y órganos subterráneos muertos se liberan directamente al suelo sustancias alelopáticas y que los microorganismos saprofitos elaboran dichas sustancias a partir de algunos de sus constituyentes (Moreira, 1982).

Un grupo extenso de sustancias, tales como: carbohidratos, aminoácidos orgánicos, fenoles, y otros compuestos pueden ser arrastrados por acción del agua, desde las porciones aéreas de ciertas especies. Algunas de estas sustancias han demostrado ser fitotóxicas al inhibir la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas.

En algunos casos el compuesto lixiviado puede no ser fitotóxico como tal, sino sólo después de sufrir ciertas transformaciones en el suelo.

Así el nogal libera a través de sus hojas y frutos un glucosido de hidrojglona, sustancia que no es fitotóxica, pero luego de llegar al suelo es hidrolizada por acción de microorganismos, convirtiéndose en juglona (5-hidroxinaftoquinona). Este compuesto se ha comprobado que inhibe la germinación y crecimiento de varias especies, tanto herbáceas como leñosas. Factores endógenos o exógenos modifican la cantidad y tipo de sustancias lixiviadas desde la parte aérea de las plantas. Entre los primeros se citan como los más importantes: la edad de la planta, edad de tejido, estado fenológico y características anatómicas y morfológicas de las hojas. Temperatura, intensidad de la luz y lluvia, son mencionados como los factores exógenos mas relevantes, (Pazmiño,1999; Sampietro, sin fecha; Pitty, 1997).

EXUDADOS RADICULARES

Tukey, (1969), menciona que los metabolitos exudados por las raíces tienen una acción importante, directa o indirectamente en los microorganismos del suelo e influyen en conjunto en las interacciones hospedero-planta.

Rovira, (1969), la zona inmediatamente detrás de la punta de la raíz es el lugar que produce mas exudados. Las raíces liberan todos aquellos compuestos orgánicos como azúcares, aminoácidos, ácidos orgánicos, nucleótidos y enzimas, y la cantidad liberada depende del ambiente y de la especie. Además establece que son varios los factores que pueden afectar las exudaciones radiculares producidas por una organismo determinado, dentro de ellos los más importantes serían: edad de la planta, temperatura, luz, nutrición y enfermedades radiculares.

Rice, (1979), señala que no es fácil saber si ciertos efectos alelopáticos son debidos a la exudación radical o son el resultado de la desagregación de las células de la capa externa de la raíz además de la actividad metabólica de los microorganismos y que no deben estar presentes sustancias volátiles o lixiviadas o residuos provenientes de la parte aérea de las plantas.

Pitty, (1997), muchos compuestos son producidos por las raíces de la plantas y luego absorbidos por las plantas vecinas. Pero no está claro si los compuestos son exudados por las células vivas o son liberados por células muertas.

DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS VEGETALES.

Es la manera más común de como los compuestos son incorporados al suelo. Las plantas acumulan en las vacuolas muchos compuestos secundarios como los alcaloides, al morir la planta, las membranas de las vacuolas se desintegran y los compuestos secundarios son liberados pasando al suelo (Pitty, 1997).

Sampietro, (sin fecha), considera que los residuos en descomposición de la planta liberan una gran cantidad de agentes alelopáticos. Los factores que influyen es este proceso son: la naturaleza del residuo, el tipo de suelo y las condiciones de descomposición. Los compuestos liberados por una planta al suelo sufren frecuentemente transformaciones realizadas por la microflora del mismo, que pueden originar productos con actividad biológica mayor que sus precursores. Se ha demostrado, que utilizando extractos acuosos vegetales, los inhibidores solubles en agua presentes en la planta de cultivo pueden ser rápidamente liberados durante el proceso de descomposición. También menciona que la toxicidad originada en los residuos de plantas proporciona algunos problemas y oportunidades importantes para los agrónomos. Por ejemplo, prácticas agrícolas como la siembra directa sobre rastrojos destinadas a una mejor conservación de agua y suelo no son aconsejables para ciertas combinaciones de cultivos por los efectos nocivos de las toxinas liberadas por residuos en descomposición sobre la emergencia, crecimiento y productividad del cultivo siguiente. Por otro lado, también los residuos pueden afectar de igual manera a ciertas malezas.

Vías a través de las cuales se liberan los agentes alelopáticos al entorno (Tukey, 1969; Sampietro, sin fecha).

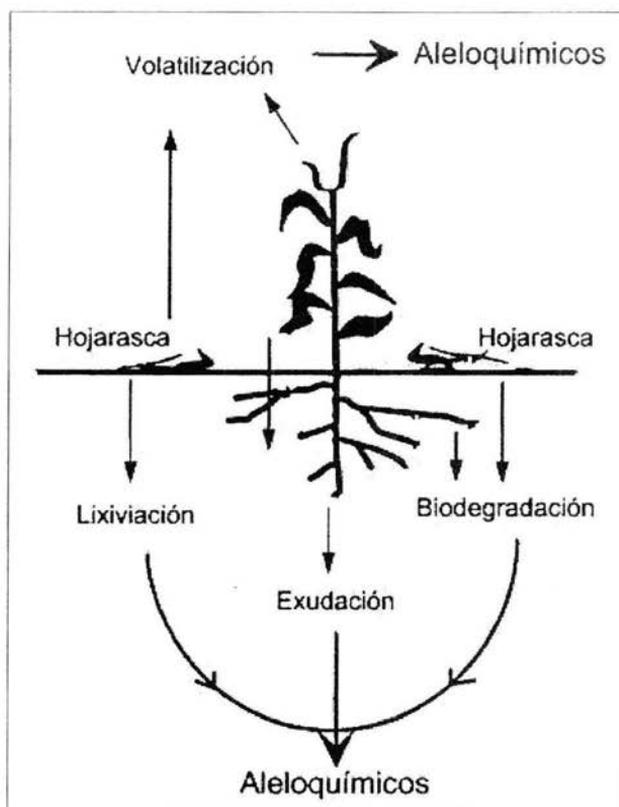


Ilustración 2

MECANISMOS DE ACCIÓN DE LOS AGENTES ALELOPATICOS

LIMITACIONES EN EL ESTUDIO DE LOS MECANISMOS DE ACCIÓN

No se conoce la forma exacta como actúan los compuestos alelopáticos. En la mayoría de las investigaciones se han evaluado los efectos sobre la germinación de semillas o el crecimiento de las plántulas, sin determinar la secuencia de eventos que causan la inhibición de la germinación y/o la reducción en crecimiento (Einhelling, 1986).

Sampietro, (sin fecha), menciona que debido a la diversidad de la naturaleza química de los diferentes agentes alelopáticos, no existe un mecanismo de acción único que explique la manera en que estos afectan a la planta receptora. La comprensión del mecanismo de acción de un compuesto alelopático determinado tiene varios inconvenientes. En condiciones naturales las cantidades en que se encuentran disponibles muchas de estas sustancias son inferiores a las que presentan actividad en prácticas de laboratorio. Esto se debe a que existen interacciones con el medio ambiente lo cuál dificulta determinar la actuación de cada compuesto. Esa presencia mínima de sustancia también dificulta su recuperación para ser utilizados en estudios fisiológicos. Los más estudiados son los compuestos fenólicos.

Pitty, (1997), comenta que es difícil determinar cómo actúan, porque el efecto que causan sobre un proceso puede afectar otros procesos en forma indirecta y además porque existen muchas variedades de compuestos alelopáticos, estos interfieren en el crecimiento, posiblemente debido a una reducción en la absorción de nutrientes, inhibición de la división celular, desbalance hormonal, reducción en la fotosíntesis, inhibición de la síntesis de proteínas y de la actividad enzimática y otros procesos fisiológicos.

Tanto en el campo como en el laboratorio los síntomas más visibles de la acción de las sustancias alelopáticas sobre un vegetal, son los efectos globales como el decaimiento o la disminución de crecimiento, medidos a partir de las variaciones de masa y de elongación.

En el plano fisiológico, se han manifestado déficits de síntesis de la clorofila y de las entradas y salidas de agua, en el caso de un amaranto (*Amaranto retuflexus*); en semillas de alfalfa se han observado alteraciones intracelulares por medio de microscopia electrónica, (Martinez, 1996).

EFFECTOS SOBRE PROCESOS ASOCIADOS A MEMBRANAS.

Sampietro, (sin fecha) señala que los derivados de los ácidos benzoico y cinámico tienen efectos sobre las membranas. Son capaces de provocar cambios en la polaridad lo cual provoca alteraciones en la estructura y permeabilidad de las mismas. Otras sustancias como el ácido hidroxibutírico también presente en rastrojos, provoca efectos similares. Los ácidos fenólicos tienen un efecto directo sobre la incorporación de iones. Todos los ácidos benzoicos y cinámicos implicados en alelopatía inhiben el ritmo de incorporación de fósforo y potasio en raíces. También algunos flavonoides inhiben la absorción mineral. Estudios en sorgo muestran que el ácido ferúlico reduce los niveles de fósforo y potasio después de 3 a 6 días de tratamiento. Los contenidos de magnesio, hierro y calcio también se ven afectados. Los ácidos fenólicos y las cumarinas alelopáticas también provocan alteraciones en el contenido de agua en la planta, por ejemplo, el ácido ferúlico reduce la incorporación de agua por las raíces.

Rice, (1984), La permeabilidad de la membrana celular es afectada por agentes alelopáticos, lo que provoca pérdidas de iones como K⁺, o la inhibición de la absorción de nutrientes, causando reducción en crecimiento. En algunos casos también tapan los vasos conductores y restringen el transporte por el xilema.

En el campo los efectos de la interferencia se observa como amarillamiento y reducción en crecimiento, lo que reduce la producción del cultivo. Este es uno de los efectos más comunes y en la mayoría de los casos se ha asociado con competencia por los nutrientes.

Sin embargo, a veces la planta no puede absorberlos aunque haya suficientes nutrimentos en el suelo o a pesar de que se apliquen fertilizantes. Esto indica que la alelopatía es la responsable de la reducción en rendimiento. En parte los compuestos fenólicos son responsables de limitar la absorción de nutrientes, porque cambian la permeabilidad de las membranas o porque reducen el contenido de ATP, (Putnam, 1985).

Martínez, (1996), los agentes alelopáticos afectan a las membranas cuya permeabilidad parece ser ampliamente turbada, hasta el punto de provocar alteraciones en el flujo de minerales. De esta manera pueden sufrir modificaciones el metabolismo energético, indirectamente a través de las membranas mitocondriales y cloroplásticas. Se encuentra un síntoma generalizado que es la desintegración de membranas celulares.

ALTERACIONES HORMONALES PROVOCADAS POR AGENTES ALELOPÁTICOS.

El crecimiento también puede ser reducido por un efecto sobre los ácidos giberélico e indolacético, que son hormonas de crecimiento. El ácido indolacético está en la planta en forma activa e inactiva y los compuestos fenólicos afectan su función, (Rice,1979; Putnam, 1985).

Los compuestos pueden estimular la producción de oxidasas del ácido indolacético, lo que causa una inactivación, también puede aumentar la descarboxilación o suprimir su efecto. Algunos compuestos aumentan la destrucción del ácido indolacético, lo que reduce el crecimiento de los tejidos, (Rice,1984).

Martínez, (1996); Sampietro, (sin fecha), indican que la acción de las hormonas vegetales (ácido indolacético, giberelinas, ácido abscísico), sustancias que circulan por toda la planta y regulan su ciclo vital (germinación, crecimiento, floración, etc.), es inhibida por compuestos fenólicos, ya sea por la unión a la molécula hormonal o por bloqueo en la función de la fitohormona.

Sampietro, (sin fecha), señala que los compuestos fenólicos pueden reducir o incrementar la concentración de ácido indolacético, una fitohormona del grupo de las auxinas. Monofenoles tales como los ácidos p-hidroxibenzoico, vainillico, p-cumárico y siríngico reducen la disponibilidad de ácido indolacético promoviendo su descarboxilación. En contraste, muchos di y polifenoles, por ejemplo los ácidos clorogénico, cafeico, ferúlico, cooperan en el crecimiento inducido por el ácido indolacético suprimiendo la degradación de la hormona. Su actividad regularía por lo tanto la destrucción o preservación de la auxina. Muchos compuestos fenólicos son capaces de provocar alteraciones en el balance hormonal de la planta receptora, lo cual en ciertos casos conducen a la inhibición del crecimiento.

INHIBICIÓN DE LA DIVISIÓN CELULAR

El crecimiento de las plantas puede ser reducido por la inhibición de la división celular y la elongación. Por ejemplo, el compuesto cumarina, que es producido por varias malezas, bolquea la mitosis en la raíz de la cebolla al interrumpir la anafase. Los terpenos volátiles de Salvia leucophylla también inhiben la mitosis en plántulas de pepino, (Muller, 1965).

INHIBICIÓN DE LA FOTOSÍNTESIS

Los compuestos alelopáticos pueden reducir la fotosíntesis de varias formas. En soya los ácidos fenólicos, ferúlico y vanílico reducen el contenido de clorofila, lo que indirectamente reduce la fotosíntesis. La clorofila en frijol también es reducida por compuestos producidos por las hojas de la maleza Parthenium hysterophorus. Esto puede ser por una degradación acelerada de la clorofila o inhibición de la síntesis de clorofila. Los compuestos alelopáticos también causan una reducción en la tasa fotosintética debido al cierre de los estomas, inhibición del transporte de electrones y reducción en la actividad en las membranas de los cloroplastos y la subsecuente reducción en la provisión de CO₂, (Einhelling, 1986).

Sampietro, (sin fecha), comenta que en la soya los ácidos ferúlico, vainillico y p-cumárico reducen el contenido de clorofila. En sorgo las mismas sustancias no provocan esa disminución. Los ácidos ferúlico, p-cumárico y otros cinámicos a bajas concentraciones revierten el cierre de estomas e inhibición del proceso fotosintético. Ciertos flavonoides parecen interferir en la organización funcional o estructural del cloroplasto.

REDUCCIÓN EN LA SÍNTESIS DE PROTEÍNAS.

Rice,(1979) y Pitty, (1997), reportan que una reducción en la síntesis de proteína reduce el crecimiento de los tejidos. Esto se debe a que los compuestos alelopáticos inhiben la incorporación de los aminoácidos que son los bloques para sintetizar las proteínas que usa la planta para su crecimiento. Por ejemplo, los ácidos ferúlicos, ácido cinámico y las cumarinas impiden la incorporación del carbono en las proteína de las semillas, lo que evita el crecimiento de los tejidos.

EFFECTOS SOBRE LA RESPIRACIÓN

Sampietro, (sin fecha), indica que las quinonas sorgoleone y juglona son efectivos inhibidores a muy baja concentración, el sorgoleone afecta el transporte de electrones. La juglona reduce el 90% la respiración de los tejidos de las raíces del maíz, esto causa un sistema radical pequeño que absorbe pocos nutrimentos y las plantas se quedan enanas, (Evenari, 1949 y Pitty, 1996) . Flavonoides tales como la quercetina, naringenina y umbeliferona inhiben la producción de ATP en la mitocondria (Zeiger, 1998).

FACTORES QUE DETERMINAN LA PRODUCCIÓN DE AGENTES ALELOPÁTICOS

La cantidad de compuestos alelopáticos que producen las plantas depende entre otras cosas, de los factores ambientales prevalentes donde crecen las plantas y del estrés a que están sometida. Por lo tanto, además de la diferencia entre especies hay diferencias entre regiones, estaciones del año, etc.

LA LUZ

Es uno de los factores que más influye en la cantidad de los compuestos alelopáticos formados. Los factores asociados con la luz que más influyen son la luz ultravioleta, la intensidad de la luz visible y la duración del día.

La reducción en la luz ultravioleta causa una reducción en la formación de químicos alelopáticos. El tabaco cuando crece en invernaderos de vidrio produce menos ácido clorogénico (0.41%), un compuesto fenólico, que cuando crece en el campo (2.72%). Esto se debe a que el vidrio de los invernaderos impide la penetración de la luz ultravioleta. Si en el invernadero se ponen lámparas de luz ultravioleta, la producción aumenta a los niveles encontrados en el campo, (Rice, 1984).

Pitty, (1997), comenta que un aumento en la altitud causa un incremento en la cantidad de luz ultravioleta que reciben las plantas, debido a que la atmósfera es menos densa y absorbe más luz ultravioleta. Por lo tanto, en lugares altos las plantas producen mas compuestos alelopáticos, que en lugares a nivel del mar. También un aumento en la intensidad de la luz y el largo del día aumenta la producción de compuestos alelopáticos. Es posible que este incremento se debe no sólo a la intensidad de la luz o la duración del día, sino porque también aumenta la cantidad de luz ultravioleta.

DEFICIENCIAS MINERALES.

Las deficiencias minerales aumentan la cantidad de compuestos alelopáticos. Se ha encontrado que cuando hay carencias de nitrógeno el girasol aumenta entre 5 y 10 veces la concentración del ácido clorogénico y 8 veces las del ácido isoclorogénico, (Armstrong et al., 1970; del Moral, 1972).

El girasol también aumenta la cantidad de ácido clorogénico cuando está en suelos con deficiencias de fósforo o potasio. Igualmente se ha reportado un aumento en la alelopatía con insuficiencias de boro, calcio, magnesio y azufre (Rice, 1984). Es posible que el incremento de los agentes alelopáticos debido a la baja fertilidad sea una adaptación de las plantas para poder competir y sobrevivir en suelos bajos en nutrimentos. Un aumento en la cantidad de compuestos alelopáticos, como respuesta a suelos infértiles podría resultar en menos plantas con las cuales tienen que compartir los escasos nutrimentos minerales, (Pitty, 1997).

SEQUÍA.

Es el factor más común que causa estrés en las plantas. En general, la sequía induce a un aumento en la concentración de metabolitos secundarios como compuestos fenólicos y terpenos, que son alelopáticos. Algunas plantas como el Sorghum helepense se vuelven fitotóxicas al ganado cuando crecen en condiciones de sequía porque producen compuestos secundarios tóxicos, (Pitty, 1997).

IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO DE LOS PROCESOS ALELOPÁTICOS

En la agricultura moderna tiene los retos de reducir el daño ambiental y peligros en la salud causados por los agroquímicos, con el compromiso de mantener un alto nivel de producción.

Se considera que la alelopatía es un problema para la agricultura, ya que puede causar toxicidad al cultivo actual o al siguiente, sin embargo hay evidencias que el uso apropiado de la alelopatía puede ayudar en el manejo de las malezas, desarrollando nuevos herbicidas a partir de compuestos alelopáticos. Las plantas producen miles de agentes secundarios cuyas estructuras químicas no se encuentran en ningún otro organismo y pueden servir de patrón para sintetizar nuevos herbicidas. Estos químicos pueden conducir al descubrimiento de nuevas moléculas y de la cuales se pueden crear herbicidas más selectivos y activos, pero menos persistentes para evitar daños al ambiente, contribuyendo así a una agricultura más sostenible en muchos agroecosistemas.

En la agricultura moderna utiliza extensivamente agroquímicos, los cuales tienen un fuerte impacto ambiental y en muchos casos constituyen un serio riesgo en la salud humana. Las investigaciones en alelopatía en algunos casos permiten plantear estrategias orientadas a una mayor sustentabilidad de los sistemas de producción agrícola, con un menor consumo en productos contaminantes. Para lograr un mejor aprovechamiento de los agentes alelopáticos es necesario ampliar el conocimiento de los mismos en relación a la rotación de cultivos, manejo de residuos, prácticas de labranza y la implementación de control biológico de malezas, por ejemplo usando cultivos alelopáticos que tengan la capacidad de inhibir el crecimiento de malas hierbas o evitar la germinación de sus semillas, puede reducir los costos en la compra de algún herbicida.

En condiciones de campo se ha observado que el sorgo, el girasol y otros cultivos reducen el uso de herbicidas tanto durante el desarrollo de los mismos, como en años siguientes. Cultivos de cobertura y sus residuos, tales como centeno, avena, cebada, trigo y sorgo son efectivos en la reducción del crecimiento de malezas (Sampietro, sin fecha).

Por ejemplo, se reporta que un determinado tipo de pepino podía reducir en 69% la emergencia y en 87% el crecimiento de la maleza Panicum miliaceum (Putnan y Duke, 1974). Esto es causado por sustancias alelopáticas producidas entre los 4 y 6 días después de la siembra.

Los restos de maíz son bastantes eficientes como cobertura muerta, debido a su lenta descomposición, ya que libera compuestos alelopáticos durante un largo periodo. También los restos de trigo constituye un material de gran valor como auxiliar en el control de malas hierbas

Igualmente se reporta que 11 variedades de sorgo redujeron en 70 % la germinación y el crecimiento de Amaranthus retroflexus (Alsaadawi *et al.*, 1986). El sorgo es uno de los cultivos con más compuestos alelopáticos en todos sus estados de desarrollo. En lotes donde se ha sembrado, la cantidad de malezas de hojas anchas en el ciclo siguiente es mucho menor (Einhelling y Rasmussen, 1989).

La falta de malezas alrededor de las plantas de café se debe en parte a la lixiviación de la cafeína del cafeto y a la descomposición de las hojas, ramas y frutos. La semilla de Amaranthus spinosus es altamente susceptible a los extractos de la semilla de café (Pitty, 1997).

Almeida (1981), reporta la susceptibilidad de varias especies de malezas (Cyperus rotundus, Rotboelia exaltata y Echinochloa colonum) ante el cultivo de Girasol al ser inhibidor del crecimiento es estas especies. Por otra parte menciona el potencial como herbicida natural que presentó dicho cultivo contra las especies Amaranthus dubius y Portulaca oleraceae al inhibir la germinación, lo que puede contribuir al manejo de malezas con estrategias más ecológicas, menos contaminantes y menos costosas.

Por otra parte, en muchas ocasiones se le ha atribuido la poca productividad de los cultivos al cansancio de las tierras, sin embargo De Candole, (1832), (cit. por Pitty, 1997; Pazmiño, 1999) afirmaba que la práctica de monocultivos durante varios años seguidos se acumulaba alguna sustancia secretada por el cultivo y que pasaba a afectar su propio desarrollo. El sugirió la rotación de cultivos.

El crecimiento de las plántulas y las raíces del espárrago son inhibidas por sus propios exudados de la raíz y los rastrojos que quedan en el campo. La inhibición se debe a los compuestos fenólicos en los residuos (Young, 1986).

En las plantaciones de café a veces hay una degeneración cuando las plantas tienen entre 10 y 25 años. Esto es atribuido a su propia toxicidad, ya que las raíces crecen cerca de la superficie y son altamente susceptibles al alcaloide cafeína (Waller et al., (1986). Los rastrojos de arroz en descomposición inhiben el crecimiento de la radícula de sus propias plántulas. La fitotoxicidad es mayor cuando hay más rastrojos y se observa desde el primer mes de descomposición y después disminuye gradualmente (Chou y Lin, 1976).

No se ha investigado mucho sobre la alelopatía de los cultivos hacia las malezas. Los programas de fitomejoramiento genético están buscando más cultivos resistente a plagas, más tolerantes a los factores ambientales adversos o un aumento en el rendimiento bajo ciertas condiciones. Pero no hay programas destinados que den a conocer la capacidad alelopática de los cultivos como un recurso para combatir las malezas ya que se desconoce los efectos tanto positivos como negativos que pudieran tener estos en el campo, desaprovechándose un gran recurso natural e inagotable.

COBERTURAS VEGETALES Y SUSTENTABILIDAD

Cada vez que se van a sembrar semillas de cualquier especie cultivable se remueve el suelo con la finalidad de establecer desde un principio las condiciones de ventaja para los cultivos sobre las malezas. Se cree que al remover el suelo se favorecerá la entrada del aire en los espacios aéreos de los agregados, se fomentará una mejor captación de agua de lluvia, se suavizará el terreno para que los sistemas radiculares de las plantas de cultivo se arraiguen mejor, se minimizarán las reservas de propágulos de especies vegetales indeseables, se reducirá el ataque de insectos y se incorporarán residuos de cosechas anteriores. La operación de remover la capa superior del suelo (20 cm) se le denomina preparación del suelo. Este proceso se repite cada año en los lugares donde se practica la agricultura, cualquiera que sea la intensidad de ésta (Henríquez, 1999).

Esta práctica de preparar el suelo (**labranza convencional**) tiene con el tiempo, como consecuencia daños irreparables, ya que degradan los suelos. En los países en desarrollo la erosión inducida con la labranza puede exceder las 150 toneladas/hectárea al año y el desgaste de los suelos es la causa del 40% de la degradación de la tierra en todo el mundo (FAO, 2001). Con el uso de la labranza convencional resurgen densas poblaciones de malezas, asimismo se presenta poblaciones de insectos destructivos que afectan la producción del cultivo y en su mayoría reducen la calidad del producto recolectable, aparecen epidemias inducidas por patógenos de naturaleza diversa, complicando en gran forma el avance productivo. (Henríquez, 1999).

El enfoque ecológico de la agricultura señala que actualmente existe mayor interés por aumentar la productividad que la protección del suelo. La forma más conveniente de labranza es no remover la tierra y por lo tanto no es necesario invertir las capas del sustrato arable para conseguir el establecimiento de una plantación, al mismo tiempo dejar en la superficie una capa de materia orgánica para protegerlo del sol, lluvia y viento.

Labranza cero (o siembra directa), rotación de cultivos, y cultivos de cobertura con abono verde son elementos esenciales para la agricultura de conservación. La labranza cero por sí sola resulta un sistema imperfecto e incompleto, en el cual tiende a aumentar la presencia de enfermedades, malezas y plagas y a disminuir las utilidades. Investigaciones recientes demuestran que la práctica de la labranza cero en combinación con rotaciones apropiadas de cultivos y de la presencia de una capa de materia orgánica, reducen de manera significativa la infestación de malezas (Derpsch, 1999).

Actualmente, se le ha dado un enfoque más integrado de labranza cero y que la FAO conoce como agricultura de conservación e implica los siguientes principios, (Benites y Ashburner, 2001; Pitty, 1996; Henríquez, 1999).

La tierra no es alterada mecánicamente, se siembra directamente.

Existe una cobertura permanente en el suelo, se usa en especial residuos de cultivos ó cultivos de cobertura.

Buena elección en las rotaciones de cultivos.

Los principales beneficios de la labranza cero en conjunto con una cobertura verde son:

Reduce la pérdida del suelo por la erosión que causa el agua y el viento.- Las gotas de lluvia que caen sobre el suelo sin cobertura van aflojando las partículas del suelo, pero esto no es tan fuerte si la gota de agua cae primero en un pedazo de rastrojo y después en el suelo.

Penetra más agua en suelos bajo labranza de conservación.- En suelos bajo labranza de conservación existen más huecos, llamados poros y macroporos, los cuales aceleran y aumentan la entrada de agua al subsuelo, las raíces de cultivos y malezas dejan estos huecos cuando mueren y se descomponen. Además hay huecos que deja la lombriz de tierra, la cual es más abundante en suelos de labranza cero. Cuando llueve el agua penetra rápidamente por estos huecos y hay más incorporación y acumulación de agua porque tiene menos tiempo para escurrirse sobre el suelo y salir de la parcela. En suelos arados y rastreados los huecos son destruidos con los implementos de labranza, el suelo queda homogéneo y pulverizado. Cuando llueve el agua penetra más lento y la capa superior del suelo se satura rápidamente, el agua ya no penetra y se escurre sobre la superficie: El agua que sale de la parcela no es de ayuda para el cultivo y además reduce la fertilidad porque arrastra los nutrientes del suelo. También los rastrojos del cultivo anterior y de las malezas que quedan sobre la superficie, ayudan a reducir la velocidad del agua que escurre sobre el suelo: Esto permite que el agua tenga más tiempo de penetrar por los huecos, además la reducción de la velocidad del agua disminuye el arrastre de partículas del suelo.

La cobertura de residuos sobre el suelo reduce la temperatura de la superficie y la evaporación del agua.- Esto se debe a los rastrojos que quedan sobre el suelo y no se incorporan ayudan a que el suelo se caliente menos, pues reduce la radiación solar que llega directamente al suelo y la pérdida de agua por evaporación.

Se incrementan los niveles de materia orgánica. Dejar los rastrojos de la cosecha anterior en el suelo permiten la nutrición del terreno y el florecimiento de la microfauna, que aporta los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas.

La compactación del suelo disminuye considerablemente.

Con respecto a las plagas, en labranza cero hay efecto de barrera, de trampa y de mayor fauna benéfica.

Se reducen los gastos de maquinaria y combustible, pues se evita el arar y rastrear.

Los rendimientos obtenidos con labranza cero son comparativamente más altos a los conseguidos con la labranza convencional.

La producción de ganado puede integrarse completamente dentro de la agricultura de conservación. Dentro de la producción agrícola permite al agricultor introducir cultivos de forraje en el ciclo de rotación de cultivos, reduciendo los problemas causados por plagas. Los cultivos forrajeros pueden ser utilizados con el doble propósito de alimentar al ganado y de cubrir el suelo.

Por todo esto y más, la utilización de las coberturas vegetales en la agricultura, representan una de las más revolucionarias tecnologías en la agricultura del futuro.

LA UTILIZACIÓN DE LOS MANTILLOS EN EL CONTROL DE MALEZA

La agricultura de conservación, intenta conservar, mejorar y realizar un uso más eficiente de los recursos naturales a través del manejo integrado del suelo, el agua y los recursos biológicos disponibles. Favorece la conservación del medio ambiente, además de contribuir al mejoramiento y sostenimiento de la producción agrícola. Actualmente se han desarrollado sistemas en cultivos que han reducido considerablemente la necesidad de la labranza en los suelos y del uso de fertilizantes minerales; sin embargo la dependencia de los herbicidas para el control eficaz de las malezas persiste. De hecho hoy, los productores tienen pocas opciones para el control de malezas debido en parte a la amplia diversidad genética que le confiere a estas una fuerte habilidad adaptativa para competir y sobrevivir (Medina 1999). Una alternativa para evitar o reducir el uso intensivo de herbicidas en la agricultura podría ser el uso de los llamados **cultivos de cobertura**, los cuales son especies de leguminosas, cereales o mezcla de ambas, específicamente sembrados para llenar nichos en espacio y tiempo, y que entre otras ventajas, suprimen o restringen la germinación, emergencia y/o crecimiento de las poblaciones de malezas. La utilización de los cultivos de cobertura podría ser un método alternativo de control de malezas, evitando o reduciendo el uso de herbicidas, disminuyendo las pérdidas de suelo por erosión y mejorando la calidad del agua (Medina y Domínguez, 2002), también mencionan que el desarrollo en la investigación de los cultivos de cobertura deberá ser prioridad en las nuevas tecnologías de manejo de malezas en los sistemas agrícolas sostenibles.

FORMAS DE UTILIZACIÓN DE LAS COBERTURAS VEGETALES EN EL CONTROL DE MALEZAS

COBERTURAS MUERTAS O MANTILLOS

Existen dos formas básicas de uso de las coberturas vegetales en el control de malezas, La más común se refiere a los mantillos, coberturas muertas, o mulch en donde el cultivo de cobertura es sembrado antes de la especie principal ó bien los residuos de la cosecha del cultivo anterior son dispersos uniformemente en la superficie del suelo para el acondicionamiento de éste para la siembra en cero labranza. En estos sistemas de labranza de conservación donde el uso de los mantillos tiene su máxima importancia pues son la base de la sustentabilidad a mediano y largo plazo. En el norte de EUA, después de realizada la cosecha de maíz y soya, los cultivos de cobertura regularmente se establecen y crecen durante el otoño y son cortados, incorporados o secados con la aplicación de herbicidas, buscando proporcionar una cobertura del suelo que dure hasta la primavera siguiente suprimiendo la germinación y establecimiento de malezas y formando una excelente cama de siembra (Medina, 1999).

Factores que determinan su eficiencia

Tres son las principales características que debe reunir un buen mantillo para lograr el máximo efecto supresor de malezas. La primera es la referente a la cantidad del mantillo disponible en el suelo, ya que mientras mayor sea ésta, mejor será el control. En la región sur de Brasil, Almeida (1981), indicó que cantidades de residuos vegetales de 4 toneladas ó más ejercían aceptables controles de malezas. La segunda característica clave en los mantillos se refiere a la distribución de esos residuos deben tener en el terreno, siendo que más uniformemente se encuentren protegiendo al suelo, mejor será su acción, La tercera característica del mantillo tiene que ver con su naturaleza química, la cual define las propiedades alelopáticas que los compuestos químicos presentes en sus constituyentes estructurales tienen y liberan al suelo para afectar la germinación y desarrollo de semillas y de plántulas de maleza.

La naturaleza química de estos residuos también influyen en la persistencia que estos van a tener en el suelo, básicamente siendo más persistentes en la medida que la relación carbono-nitrógeno (C/N) se incrementa y por consiguiente mayor el tiempo de su acción de control para las malezas (Medina y Domínguez, 2002).

Mecanismo de acción de los mantillos en el control de malezas.

Los mecanismos de acción que explican la actividad controladora de malezas por parte de los mantillos, es de dos tipos:

Mecanismo Físico.- Que opera en la intercepción de la luz por los residuos de plantas, afectando los patrones de letargo y germinación del banco de semillas en el suelo. Cambios en la respuesta de semillas a la luz durante la labranza del suelo han sido reportadas para diferentes especies de malezas (Baskin y Baskin, 1980; Buler 1997), (cit. por Medina y Domínguez, 2002). El mantillo funciona también como impedimento físico de plántulas en emergencia y modifica el ambiente edáfico en temperatura, humedad y componentes bióticos que afectan la dinámica de la comunidad de malezas.

Mecanismo Químico.- Mediante el cual los residuos vegetales pueden liberar compuestos tóxicos a la germinación de semillas o desarrollo de plántulas en emergencia. Estas sustancias son conocidas como fitotoxinas, aleloquímicos o sustancias alelopáticas. Doran y Linn (1996), (cit. por Medina y Domínguez, 2002), reportaron que numerosas sustancias aleloquímicas pertenecientes a diversos grupos químicos derivados del metabolismo secundario pueden estar en los residuos o bien generarse como producto de la actividad microbiana en la descomposición de estos.

Principales especies utilizadas como mantillos.

El acondicionamiento del suelo con el mantillos comienza desde el momento mismo de la cosecha del cultivo anterior del cual sus residuos deberán ser distribuidos uniformemente por la combinada o por cualquier otro medio que garantice esta condición, ya sea picando y dispersando el mantillos o bien acomodándolo sobre el suelo. De esta manera se pueden establecer siembras de cultivos de verano sobre mantillos que se desarrollaron en el invierno o viceversa (Medina y Domínguez, 2002).

Medina (1999), menciona que los mantillos derivados de especies gramíneas son excelentes y muy variados, siendo la avena (*Avena sativa*), el maíz (*Zea mays*), el centeno (*Secale cereale*), la cebada (*Hordeum vulgare*), el trigo (*triticum aestivum*), el sorgo (*Sorghum bicolor*), y el ryegras (*Lolium multiflorum*), de los más efectivos y más seguros. Otro grupo importante de especies usadas como mantillos son las leguminosas, las cuales proporcionan excelentes tapetes que protegen completamente el suelo y controlan malezas, además del beneficio adicional del aporte de nitrógeno fijado. Entre las especies tropicales mas importantes están el “pica-pica mansa” o “nescafé” (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) y la soya perenne (*Glycyne wightii*). La veza (*Vicia villosa*), los treboles (*Trifolium* spp), el lupinus (*Lupinus* spp), el frijol (*Phaseolus vulgaris*), entre otras, son prominentes especies en clima templado. La colza (*Brassica* spp) ha sido utilizada por su excelente propiedad alelopática hacia malezas, pero se requiere mejorar su manejo para minimizar su efecto negativo en especies cultivadas. También mostró el efecto del mantillos de la colza a diferentes situaciones de manejo en la reducción del peso fresco de diferentes especies de malezas. Los residuos de colza cuando son dejados directamente sobre la superficie fueron mas efectivos en la reducción del crecimiento de la comunidad de malezas.

COBERTURAS VIVAS

Medina y Domínguez (2002), menciona que una segunda modalidad de utilización de los cultivos de cobertura es conocida como coberturas vivas, “smother crops”, “living mulches” o “living crops”, en el cual el cultivo de cobertura es sembrado antes, al mismo tiempo o poco después del establecido del cultivo principal, creciendo todo o parte de su ciclo con el cultivo para competir y desplazar a las malezas, así como proporcionar cobertura al suelo. Es importante que las especies utilizadas como coberturas vivas no reduzcan el rendimiento del cultivo de interés económico, que sean de ciclo de vida corto, de rápido establecimiento, que garanticen buen control de malezas y protección al suelo.

Factores que determinan la eficiencia en el control de malezas

También reportan que la habilidad con la que un cultivo de cobertura viva desplaza a una comunidad de malezas en un agroecosistema dado, dependerá inicialmente de la densidad de individuos que en forma de semilla se coloquen en el suelo; posteriormente del porcentaje y velocidad de germinación, emergencia y establecimiento de plántulas que logren ocupar todos los nichos posibles que pudieran ser aprovechados por las semillas de malezas. Este es un evento por demás importante en el destino de las infestaciones de malezas, las cuales normalmente son muy elevadas, llegando a tener promedios de densidad de 350 plántulas de malezas por metro cuadrado. Este dato puede indicar las densidades requeridas de plántulas de cualquier especie de cobertura viva a ser utilizada: Dichas poblaciones de plantas de cobertura viva difícilmente se lograrían alcanzar en la práctica, pues se requeriría de altas densidades de semilla que encarecerían su uso.

Así pues, comúnmente lo que se logra es una condición inicial de desplazamiento parcial de malezas que se consigue al evitar en parte, la expresión potencial germinativa que las semillas de malezas podrían manifestar en una condición ambiental dada. Dicha condición impone a nuestra cobertura viva una vez establecida, la condición de expresar habilidades competitivas que se traduzcan en una eficiente intercepción de luz y en su conversión a producción de biomasa que le permita a ésta mantener una presión competitiva tal que derive en un segundo evento de supresión de malezas.

El grado de sombreado y el tiempo que dure esta condición de crecimiento de la cobertura viva sobre la comunidad de malezas no sólo resultará en la supresión efectiva de la mayoría de los individuos, pero además debilitará a aquellos que logren sobrevivir a dicha condición, limitando su capacidad reproductiva y como consecuencia disminuyendo la capacidad de recarga del banco de semillas de malezas en el suelo.

Principales especies utilizadas como coberturas vivas

La utilización de las coberturas vivas en la agricultura se puede separar en dos situaciones prácticas: la primera referente a su uso en cultivos anuales como es el caso del maíz, soya, frijol, entre otros; y una segunda forma es en cultivo perennes, principalmente en plantaciones frutícolas tales como el café, plátano, cítricos, mango, vid, palmas, etc.

Ambas situaciones imponen condiciones específicas, como es la necesidad que estas coberturas sean efectivas en el desplazamiento de malezas y que no compitan en forma excesiva por agua, luz y nutrientes con el cultivo principal. Así por ejemplo para el caso de los cultivos anuales se requiere de especies de cobertura vivas que se establezcan rápido y en altas densidades para ocupar la mayor parte de los “sitios seguros” y que así prevengan la germinación de una gran cantidad de semillas de malezas, pero que sean de corto ciclo de vida para minimizar su efecto competitivo. Esta condición fue obtenida por Ateh y Doll (1993) citados por Medina y Domínguez (2002), cuando probaron el centeno como cobertura viva en soya, mostrando que la acción de control de malezas del centeno podría reemplazar la acción de herbicidas. Hartwig y Hoffman (1975) (citados por Medina y Domínguez, 2002), utilizando *Coronilla varia* L., y Medina (1999), y Rodríguez et al. (2001), con *Brassica napus* L., verificaron buen control de malezas, pero redujeron también el rendimiento en el cultivo de maíz. Existen muchas experiencias de la utilización de las coberturas vivas en cultivos anuales, pero pocas han demostrado tener la cualidad de ser eficientes en el control de malezas y a la vez inocuas en su efecto al cultivo principal. Es prioritario retomar esta línea de investigación, debiendo empezar por la evaluación de especies de leguminosas nativas o naturalizadas que tengan un buen potencial de uso en cultivos anuales o perennes.

Medina y Domínguez (2002), menciona que entre las especies para clima templado que podría ser estudiadas se encuentran a la caretilla (Medicago denticulata), los treboles (trifolium spp), vezas (Vicia spp) y nabos (Brassica spp). En clima tropical la utilización del nescafé (Mucuna pruriens var. utilitis) sembrado en relevo, en la fase final del ciclo del maíz ejerce una extraordinaria acción en el control tardío de malezas, además de acondicionar y proteger el suelo para un nuevo ciclo del maíz. La posibilidad de establecimientos de cultivos anuales como maíz, soya, frijol, entre otros, puede ser una realidad al sembrar sobre coberturas de leguminosas perennes ya establecidas previamente como pueden ser los casos de la soya perenne y de cacahuatillo, bajo estas circunstancias, las coberturas deberán ser diezgadas en su crecimiento con la aplicación de herbicidas no residuales.

De las especies más nocivas y ampliamente distribuidas en el trópico mexicano se encuentra el zacate Johnson (Sorghum halepense (L.) Pers.), cuyo control es difícil, caro y poco efectivo utilizándolos métodos convencionales a base de corte y de herbicidas como el glifosfato cada tres o cuatro meses. El zacate Johnson es considerada como una de las diez malezas más perjudiciales a nivel mundial en cultivos de climas cálidos y templados, provocando serios problemas en mas de 30 cultivos de 53 países (Holm et al., 1977), (cit. por Medina y Domínguez, 2002). En México, esta maleza está ampliamente distribuida en prácticamente todo el territorio nacional, reduciendo la calidad y cantidad de la producción de múltiples cultivos (Almeida y Reyes, 1992; Castro et al., 1992). En el estado de Veracruz; el zacate Johnson es una de las principales malezas que infestan plantaciones de cítricos (Curti et al., 2000).

En cítricos se ha empleado con gran éxito la leguminosa anual Mucuna pruriens también conocida como “pica-pica mansa”, “nescafé”, o “frijol terciopelo” como una opción biológica de desplazamiento efectivo de malezas anuales y perennes (Cruz, 2002).

Medina y Domínguez (2002), reportó en estudios que después de un año de crecimiento de *Mucuna pruriens*, ésta tiene un efecto depresivo sobre las semillas y rizomas de zacate Johnson superior al de las prácticas convencionales de corte y aplicación de glifosfato en forma trimestral. La capacidad de desplazamiento de malezas por parte de *Mucuna pruriens* le da un enorme potencial en el acondicionamiento de áreas agrícolas que sufren infestaciones altas de especies difíciles de controlar con otros medios, pues su acción no sólo se limita a cuando es cobertura viva, sino que también el mantillo o cobertura muerta sigue actuando, evitando la germinación de semillas de malezas que se encuentran en el suelo.

EXPERIENCIAS

En 1998 el proyecto SAFE-World comenzó a revisar los recientes avances mundiales en la agricultura de conservación. Se condujo una encuesta sobre las iniciativas de agricultura sostenible para investigar tanto los procesos como los resultados, y para concluir si esas mejoras podían ayudar significativamente a alimentar la creciente población sin dañar el medio ambiente ni la salud de los humanos. Hacia fines del año 2000, la base de los datos contenía información acerca de 208 casos en 52 países, que involucraban a unos 8,98 millones de agricultores y 28.92 millones de hectáreas. Sobre esta base se estima que por lo menos en el 3% del área cultivada en Asia, África y Latinoamérica los agricultores están usando tecnología de agricultura de conservación (Pretty y Hine, 2001).

Obando y Peralta, (1981), en la estación de “Dean Padgett Benerd”, ubicada en Nueva Guinea en el Atlántico sur de Nicaragua, se comparó el efecto de labranza del suelo con maquinaria agrícola, contra un sistema tradicional de siembra en el cultivo de maíz. Así como la influencia de diferentes niveles de nitrógeno, sobre los rendimientos del cultivo. Los resultados que obtuvieron a través de cinco ciclos de siembra, indicaron que la labranza del suelo no favoreció significativamente el rendimiento del maíz. Por otro lado, mediante el análisis económico se encontró que la labranza del suelo con maquinaria dejó pérdidas.

Pérez *et al.*,(1981), al evaluar el efecto de la cero labranza y fertilización en el cultivo de maíz, en la estación de Coyuta; Guatemala, encontraron que el tipo de labranza ideal fue cuando no se efectuó labranza alguna (cero labranza), y se aplicó glifosato. El nivel de fertilización óptima fue de 150 Kg/ha de nitrógeno.

Quarles, (1994), en un estudio realizado para determinar los efectos de sistemas de labranza sobre la producción de maíz en suelos arcillosos del Noreste de Missouri (USA), encontró una clara tendencia de mayor producción en labranza de conservación que en otros tratamientos de labranza convencional; este autor reportó también que no se encontraron efectos de niveles de labranza sobre los valores de Ph del suelo ni en la concentración del fósforo en la parte superficial del suelo. Así mismo no se observó diferencias en la disponibilidad del potasio. Por otra parte se detectó una mayor cantidad de materia orgánica (4.1%) en labranza de conservación con respecto a otros niveles de labranza (de 2.5 a 3.5%) y reporta también mayor velocidad de infiltración de agua en cero labranza.

Chile.- Los sistemas ancestrales de uso y manejo de suelo han llevado a la destrucción de la capa superficial orgánica y en el caso de Chile ha significado la destrucción de las tierras para cultivo

Carlos Corvetto (2001), al observar la devastadora erosión de los terrenos de la zona , optó por una vía alternativa. Desecho el arado y la quema de rastrojos por un método que permitiera preservar el sustento básico de la actividad: la tierra. Imitando lo que hace la naturaleza, dejó en el suelo los rastrojos producidos por la cosecha, el que aporta una gran cantidad de carbono a las plantas. Este elemento químico es el real alimento de las plantas.

Según Corvetto hay dos elementos fundamentales que afectan de manera definitiva la calidad de la tierra. El primero de ellos es la labranza, la que además de generar fuertes pérdidas de materia orgánica, provoca una disminución de elementos químicos indispensables para las plantas como nitrógeno, fósforo, calcio y otros, tanto por procesos de fijación, volatilización o erosión. Esta exposición de los elementos químicos al aire causa que estos se oxiden y se empobrezca el terreno.

También disminuye la vida natural porque produce una importante pérdida de materia orgánica al decrecer la población de microorganismos, responsables directos de la mayor fertilidad de las plantas, esta microfauna es capaz de transformar los elementos o compuestos químicos naturales necesarios para la alimentación de las plantas. El segundo es la quema de los rastrojos una vez que se ha producido la cosecha. El manejo deficiente de los suelos forestales, ganaderos y agrícolas en todo el mundo ha provocado una acelerada pérdida de carbono del suelo en forma de CO₂ por la oxidación violenta producida por el fuego.

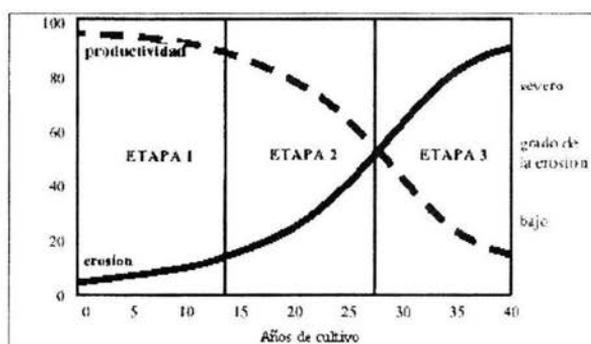
Corvetto asegura que “la agricultura, en Chile y en todo el mundo, ha sido el mayor depredador de los recursos naturales en general, y el responsable de una cifra superior al 8% del efecto invernadero que acusa hoy el planeta”.

Brasil.- Dijastra (1984) y Vidal (1984) mencionan en sus trabajos que en la década de 1970 surge la llamada modernización de la agricultura, con incentivos para el uso de abonos minerales, herbicidas tóxicos y maquinaria e implementos pesados como los tractores, arados y rastras de discos. En esos días, afirma el estudio de la FAO, “había poca información disponible sobre el impacto negativo de esos sistemas de preparación del suelo”. Esas repercusiones negativas comenzaron a dejarse sentir, cuando una erosión cada vez mayor y la disminución de las cosechas llamaron la atención de investigadores, los cuales manifestaron que la utilización de la maquinaria, la constante utilización de arados y rastras, creaba capas compactas bajo la superficie y reducían drásticamente el índice de filtración del agua, y a la vez incrementaban el escurrimiento en la superficie y la pérdida de nutrientes del suelo.

Eliminar la vegetación de la superficie en el invierno no sólo dejaba el suelo expuesto a las intensas lluvias que lo deterioraban, sino que además desechaban uno de los principales factores de circulación de nutrientes de los suelos.

La quema de residuos de las cosechas destruía macrofauna importante, como lombrices e insectos. El monocultivo también contribuía a la degradación del suelo porque no había otros sistemas de raíces con distintas profundidades de penetración, que contribuyen a ventilar los suelos y fomentan una favorable actividad micobiana. La investigación demostró que factores físicos naturales, como las pendientes, la pedregosidad, la profundidad del suelo y el desagüe pueden propiciar la erosión de los suelos, aunque no son los factores responsables dominantes, según este estudio, “la forma en que los agricultores estaban tratando sus tierras era la causa del deterioro físico, químico y biológico de los suelos”.

A principios de los años ochentas, dos especialistas brasileños en suelos presentaron un diagrama sencillo para describir la degradación de las tierras agrícolas de su país. En la etapa 1 la aplicación excesiva de fertilizantes y otros insumos mantiene altos niveles de producción y oculta el gradual deterioro de la estructura del suelo y la pérdida de materia orgánica. En la etapa dos, como el suelo se ha compactado por la utilización excesiva de tractores y arados, se acelera el índice de pérdida de nutrientes y la productividad comienza a desplomarse. Al llegar a la etapa 3 la erosión ya es tan grave y las cosechas tan reducidas que los campesinos abandonan las tierras.



En el estado de Santa Catarina, al sur de Brasil ofrece un ejemplo práctico de ese proceso y de cómo invertirlo, la solución ha sido un cambio constante hacia la agricultura de conservación, trata de limitar el daño a la composición, estructura y biodiversidad de los suelos. Numerosos agricultores mantienen sus tierras cubiertas de biomasa viva o muerta durante la temporada de barbecho y la siembra, a fin de protegerlas de choque de la lluvia, del sol excesivo y del viento. Muchos de sus “cultivos de cobertura” son variedades espontáneas que se cortan o se secan antes de cada siembra nueva. En Santa Catarina se han adoptado en gran escala las técnicas agrícolas de conservación, informa el estudio. Entre 1994 y 1997 la superficie en las que se aplican sistemas de labranza de conservación aumento de 124 000 a 685 000 hectáreas, equivalentes a más de un tercio de la superficie agrícola total del estado. “De cualquier manera –señala el estudio- ni la comunidad científica ni los agricultores consideran que esto sea suficiente para resolver los problemas físicos, químicos y biológicos de la degradación de los suelos. La siembra directa ha llegado a ser considerada como un sistema y no sólo como un método de la preparación de la tierra. Para que el sistema sea exitoso es necesario introducir rotaciones de cultivos, el uso dentro del área de una secuencia de diferentes especies en el tiempo y en el espacio. La rotación de los cultivos es la base para la sustentabilidad de los sistemas de siembra directa”.

Un ejemplo práctico que demuestra la viabilidad de la teoría agroecológica para la implementación de la agricultura conservacionista, es el caso de la agricultura brasileña particularmente del sur, donde a través de rotaciones de cultivos, sistemas mixtos de cultivos-ganado, agroforestería en contexto de manejo de cuencas y sistemas de cultivos asociados basados en leguminosas se ha logrado una adopción masiva de la labranza de conservación.

México.- Como en otros países de América Latina la agricultura es el resultado de la fusión de dos culturas. La base fue la agricultura indígena mesoamericana que tenía un historial de alrededor de 5,000 a 9,000 años y había logrado domesticar al maíz (Fussell, 1992). La agricultura prehispánica tenía enfoque conservacionista, sembraban a piquete con una estaca o coa y no se invertía el perfil del suelo. La rosa-tumba y quema de los trópicos tenía períodos de descanso suficientemente largos para permitir la rehabilitación total del suelo (Figueroa y Morales, 1992), La agricultura europea, principalmente mediterránea ingresó al Continente Americano nuevos cultivos, herramientas, aperos de trabajo, y sobre todo la fuente de energía generada por equinos y bovinos, para jalar el arado conocido como "arado egipcio" y "arado de palo" que rotura la tierra haciendo un trabajo parecido al de un cincel.

La integración gradual de ambas culturas dio lugar a sistemas autóctonos, adaptados a la gran variedad de ambientes del país. Aunque la agricultura que depende exclusivamente de la energía humana no ha desaparecido, aproximadamente 1,200 000 agricultores (una tercera parte del total) aún la practican (INEGI, 1991), debido principalmente a la dificultad de hacer agricultura en suelos con pendientes demasiado pronunciadas, muy frecuentes en México, o bien porque algunos agricultores carecen de recursos para comprar o rentar los animales de trabajo (Cruz, 1997).

La transformación de la agricultura en México se aceleró a partir de la mitad del siglo XX. El inicio de la Segunda Guerra Mundial marcó el principio del proceso actual de globalización, el arado metálico de vertedera se popularizó, el mejoramiento genético del maíz y trigo dio lugar a la llamada "Revolución Verde" originalmente enfocada exclusivamente a este aspecto y posteriormente se agrego la aplicación masiva de fertilizantes químicos y pesticidas, lo cual culminó con avances tecnológicos y generó niveles espectaculares de producción. El siguiente paso fue extender la aplicación de las fórmulas a todos los sistemas agrícolas del país tales como semillas mejoradas, fertilización química, combate de plagas, etc. Sin embargo la productividad comenzó a cuestionarse a mediados de los setentas y la aplicación de prácticas de labranza de conservación empezó a manejarse en al ámbito agrícola.

Paralelo al incremento demográfico y a la agricultura extractiva se ha intensificado en el último medio siglo, el deterioro de los recursos naturales, particularmente el suelo y se ha convertido en un problema ascendente de proporciones preocupantes. Un análisis del problema estima que la superficie de México, afectada por erosión avanzada, la media de estas observaciones es superior a 80%. Anualmente se pierden aproximadamente 535 millones de toneladas de suelo (SEMARNAP, 2002), el 69% de estos sedimentos van a dar al mar y 31% se deposita en el cauce de los ríos, lagos, presas y lagunas, esto se convierte en otro problema debido a la dificultad y costos para desazolvar estos almacenamientos de agua. El origen del problema es el mal manejo de las tres actividades rurales básicas: la tasa de deforestación, sobrepastoreo del ganado y agricultura mecanizada o la tradicional tumba-roza y quema que por el incremento demográfico, acortan los tiempos de descanso y deterioran los recursos naturales. Se estima que en los últimos cuarenta años se ha perdido cinco veces más suelo que en 400 años de historia del país (Mass y García-Oliva, 1990). Las pérdidas anuales se estiman entre 250,000 y 300,000 hectáreas de tierra agrícola, en caso que esta tendencia no se modifique seguramente en el siglo XXI se perderá la mayor parte de la tierra de cultivo.

Además de la pérdida del suelo, es de importancia económica la pérdida de nutrimentos disponibles para las plantas, que son transportados por el agua sobre la superficie del suelo y también por los mantos subterráneos, produciendo un daño doble, primero la pérdida de la mayor parte del fertilizante aplicado y en segundo lugar la acumulación en el agua de sustancias tóxicas y dañinas al ambiente como son los nitratos y fosfatos. El nitrógeno es el más importante en dos sentidos: es el de mayor contenido energético que se aplica a los cultivos y es también el de costo más elevado para el agricultor. En el Bajío, una de las regiones agrícolas más importantes de México, solamente una tercera parte del nitrógeno aplicado al trigo es utilizado por la planta (Grageda, 1999).

Uno de los primeros contactos que se tuvo en México con la labranza de conservación, se dio a fines de los setentas cuando el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) inició un programa de capacitación en conjunto con un grupo de técnicos e investigadores de la Institución Financiera y de Desarrollo Agropecuario (FIRA) y del entonces Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA).

FIRA a partir de entonces inició un programa permanente de actividades de capacitación, construyó centros especializados y estableció una profusa red de lotes de demostración, conferencias, congresos internacionales, organización de productores, un centro para demostración y capacitación y sobre todo promoviendo la labranza de conservación en todos el país (González, 1990).

La investigación del INIA en labranza de conservación tiene sus primeros antecedentes desde la década de 1950, cuando se establecieron experimentos con labranza cero, aunque el suelo no fue cubierto con residuos.

Los resultados no fueron sobresalientes y se abandonó esa línea de investigación, posteriormente se establecieron lotes experimentales en varios lugares del país. Desafortunadamente, su actividad fue en declive hasta el inicio de las década de los noventa en la que el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), mediante la coordinación de la Región Centro, con la Pacífico Centro organizó un programa mas intenso de investigación en labranza de conservación.

En 1996, el INIFAP creó un Centro Nacional de Investigación para Producción Sostenible (CENAPROS) que tiene la responsabilidad de coordinar la investigación sobre labranza de conservación (Claveran, 2001). Otras instituciones también han desarrollado investigaciones y programas de transferencia de tecnología conservacionista, algunas son de enseñanza y entre ellas el Colegio de Posgraduados, el más activo en este campo, ha efectuado investigación en varios lugares del país con particular énfasis en las propiedades relaciones edáficas e hídricas, así como un manual para la labranza de conservación (Figueroa y Morales, 1992).

El CIMMYT ha trabajado principalmente en regiones tropicales: Motozintla, Chiapas (Van Nieuwkoop *et al.*, 1994); en Los Tuxtlas, Veracruz (Buckles y Erenstein, 1996); y en Cd. Guzmán, Jalisco (Scopel, 1997) desde hace más de 10 años. Asimismo algunas organizaciones no gubernamentales vienen participando también en el campo investigación transferencia. Un ejemplo es la red que ha consolidado y financiado la fundación Rockeeller, la cual opera principalmente en ambiente tropicales y están coordinadas universidades, instituciones de investigación, gobiernos estatales. Uno de sus programas más importantes es el del sur de Sinaloa en coordinación con INIFAP y la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH) donde se aplica la labranza de conservación en la producción de forrajes (López y Palacios, 1996).

Violic *et al.*, (1982), en una serie de experimentos que se desarrollaron durante seis años, por el CIMMYT, en el trópico del estado de Veracruz, México, encontraron que al comparar el sistema de labranza de conservación, con el tradicional, resultó que los rendimientos fueron similares bajo ambos sistemas, pero que el sistema de labranza de conservación, combinado con herbicidas apropiados, constituye un sistema efectivo de manejo para el maíz. Comparada con la labranza convencional, la labranza de conservación permite operaciones oportunas, en especial la siembra, prácticamente independientes de las condiciones climáticas, además de conservar agua, suelo, energía y un menor ataque de insectos. Además, permite efectuar las labores con mayor rapidez, menor costo y con mayor redituabilidad.

Los resultados experimentales mostraron mayor erosión en labranza convencional comparada con labranza de conservación (Tiscareño *et al.*, 1997). En terrenos cultivados con mayores pendientes en el sur de Veracruz, producir un kilo de maíz costo 27 kilos de suelo, en cambio bajo labranza de conservación la pérdida se redujo a menos de un kilo en promedio en 4 años (Uribe, 1998).

En el sur de Sinaloa, con clima tropical seco, el costo ecológico es de 9.5 kilos de suelo promedio por erosión por cada kilo de materia seca de forraje de sorgo (Martínez *et al.*, 2001). En la cuenca hidrográfica de Pátzcuaro, Michoacán se midió una pérdida de nitrógeno por ciclo en el cultivo de maíz 2.5 más alta con labranza convencional que con labranza de conservación (Velásquez *et al.*, 1997). Más de cien experimentos, efectuados en el programa nacional durante cinco años, mostraron que la labranza de conservación reduce la tasa de erosión en aproximadamente 80% en el maíz y 95% en el caso del trigo comparado con labranza convencional. A medida que se continúa aplicando la labranza de conservación, la tendencia es aumentar aún más la protección del suelo (Osuna, 1997; Velásquez *et al.*, 1997).

Respecto a cobertura del suelo, se encontró que dejando la tercera parte de residuo de la cosecha (aproximadamente tres toneladas) la protección contra la erosión es suficiente (Velásquez *et al.*, 1997) en ambientes de climas templados, esto concuerda con datos obtenidos en otros países (Leite, 1997) citado por Claveran 2001. Lo anterior no se cumple en climas tropicales donde se requiere mayor cantidad de residuos (Van Nieuwkoop *et al.*, 1994; Erenstein, 1997), en virtud de la alta tasa de mineralización de la materia orgánica.

Los efectos de la labranza de conservación han mostrado su efecto en el ciclo hidrológico, lo anterior es de mucho beneficio en áreas donde se desarrolla la agricultura de ladera con pendientes pronunciadas. El uso de cobertura con residuos de maíz y sin hacer movimiento del suelo duplica la tasa de infiltración y disminuye en más del 50% los escurrimientos superficiales. Estos procesos hidrológicos beneficiados por la cantidad de cobertura en el suelo, repercuten en una disminución del 80% de las pérdidas de suelo en andosoles del accidente de México (Velásquez *et al.*, 1997).

A través de la labranza de conservación, es posible la recuperación de la estructura de suelos degradados e incrementar su actividad microbiana como en los suelos de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro.

Los tratamientos de labranza de conservación incrementan el porcentaje de estabilidad de agregados del suelo con respecto a la labranza convencional, característica directamente relacionada con la biomasa microbiana del suelo. Los incrementos más altos (29% arriba del sistema convencional), se obtuvieron con labranza de conservación y con el 33% de residuos de maíz como cobertura de suelo. En cinco años consecutivos destacan incrementos en el carbono de la biomasa microbiana, hasta del 165% con respecto al sistema convencional. La actividad enzimática es favorecida ampliamente por los tratamientos de suelo bajo labranza de conservación y son buenos marcadores de fertilidad del suelo debido a que forman parte de los ciclos de N, P, y C (Claveran 2001).

La maquinaria agrícola en los primeros años fue una limitante primordial para iniciarse en la labranza de conservación, las únicas sembradoras disponibles eran importadas y a precios inasequibles para la mayor parte de los agricultores. Posteriormente, se han diseñado equipos funcionales para tiro mecánico y animal por INIFAP y otras instituciones como la UACH (Gaytán *et al.*, 1999a, 1999b), además varias compañías pequeñas han entrado al mercado con sus propios diseños, incluso actualmente algunas fabrican localmente equipos para siembra directa neumática de precisión. Por otra parte, las grandes compañías como John Deere y New Holland fabrican sembradoras en México para pequeños y medianos agricultores. Esto no quiere decir que los problemas de mecanización estén resueltos.

La estimación sobre la superficie del país bajo labranza de conservación hecha por FIRA es de aproximadamente 650 mil hectáreas, esto representa aproximadamente el 3.25 % de la superficie cosechada anualmente en México en los ciclos primavera-verano y otoño-invierno. La mayor superficie bajo labranza de conservación está concentrada en el centro occidente del país 79.9%, en el sureste 10%, en la región sur 8.9% y el resto en el norte y noreste

El conocimiento y experiencias acumuladas en México sobre Labranza de conservación proporcionan orientación para aplicarse a una gran variedad de cultivos y en las regiones agrícolas más importantes del país. Sin embargo, es importante reconocer que los sistemas de labranza de conservación apropiados son específicos para el tipo de suelo, clima y cultivo en cuestión. En otras palabras no existe un sistema de labranza de conservación que pueda ser usado ampliamente en ambientes edáficos y climáticos diversos. Por lo anterior, es indispensable indagar muchas relaciones causa-efecto para hacer los procesos más eficientes como es la microbiología, la relación carbono-nitrógeno, relaciones hídricas y climáticas, plagas rizófagas, etc. Por lo tanto, uno de los retos para la ciencia del suelo en el siglo XXI, será desarrollar una teoría sólida que permita disponer de una metodología de diagnóstico para identificar las restricciones edafo-climáticas y el sistema de labranza óptimo para resolverlas, esto permitiría flexibilizar a la labranza de conservación y que el productor fuera capaz de adaptarla a sus propias necesidades, así como conocer las razones por las cuales la labranza de conservación no ha tenido mucho éxito bajo condiciones como la de suelos rojos tropicales en México (Van Nieuwkoop *et al.*, 1994).

Actualmente la labranza de conservación depende fuertemente de herbicidas para controlar las malezas. Independientemente del posible riesgo potencial que puedan tener los herbicidas, la realidad económica de la agricultura mexicana nos indica que es un gasto que la mayoría de los agricultores no puede realizar, por lo tanto, la investigación sobre los efectos alelopáticos de los cultivos de cobertura y de otros métodos biológicos debe tener alta prioridad. Finalmente, es necesario enfatizar que para acelerar la adopción de la agricultura de conservación será necesario entender tanto factores biofísicos como socioeconómicos, por lo que es indispensable la integración de equipos multidisciplinarios (Claveran, 2001).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El material bibliográfico revisado nos permite visualizar que el fenómeno de alelopatía es complejo y trascendental por su impacto en la biología pudiéndose concluir de manera generalizada lo siguiente:

Las malezas son muy importantes porque tienen efectos negativos sobre las actividades del hombre. Los agricultores le dan más importancia a los insectos desfoliadores y a las enfermedades foliares, porque los daños causados son más obvios y tienen más impacto visual. En cambio la presencia de las malezas es muy obvia pero sus efectos negativos, como la alelopatía que interfiere con el crecimiento y rendimiento del cultivo no son tan claros para el agricultor.

IZT.

Por tradición, el enfoque de las malezas es que deben eliminarse, porque causan daños a la especie de importancia económica. Sin embargo debemos ver a las malezas como un componente más del agroecosistema ya que en muchos casos pueden ser utilizados como cobertura vegetal al igual que restos de cultivos y proporcionar beneficios como: mantener el suelo cubierto y de ésta manera disminuir la erosión causada por el viento y agua, incrementar la cantidad de materia orgánica y humedad de suelo, mantener el reciclamiento de nutrientes. Además del efecto físico, la cobertura vegetal ejerce influencia sobre la población de malezas por la acción química. Las plantas producen sustancias que, liberadas en el ambiente, influyen en el crecimiento de otras plantas y la intensidad del efecto alelopático de las coberturas vegetales va a depender de las especies de malezas, del cultivo y de las condiciones ambientales. Aprovechando este factor, se pueden reducir las cantidades de herbicidas utilizados a través de prácticas culturales adecuadas.

Por lo tanto, al utilizar coberturas vegetales y sus efectos alelopáticos, el agricultor controla las malezas eficazmente y con bajo costo, aumenta su ingreso económico y ocasiona un menor efecto contaminante en el ambiente.



U.N.A.M. FES
IZTACALA

Dentro de los diversos grupos de plantas utilizadas como cobertura vegetal la gramíneas como el maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*), avena (*Avena sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*), el ryegrass (*Lolium multiflorum*), etc., tienen efectos alelopáticos más pronunciados. De estas el maíz, avena, trigo son las que producen una mayor cantidad de rastrojo, por lo tanto hay una mayor cantidad de sustancias alelopáticas, además su descomposición se realiza lentamente aumentando el tiempo de liberación y actuación de las mismas, sin embargo los restos de maíz afectan la germinación y desarrollo inicial del trigo cuando es plantado en el mismo año. Así mismo la avena plantada junto a *Lolium multiflorum* es afectada por su acción alelopática de esta última, lo cual requiere mejorar su manejo para minimizar su efecto negativo en especies cultivadas.

Las leguminosas como *Mucuna pruriens* var. *utilis*, *Vicia villosa*, etc. Son ampliamente utilizadas por su protección al suelo, inhiben el crecimiento de otras malezas, además del aporte de nitrógeno fijado.

El uso de un mismo tipo de cobertura (arroz) durante varios años seguidos puede afectar el desarrollo de determinados cultivos agrícolas, debido a la acumulación de sustancias alelopáticas.

Estas prácticas para el control de malezas y la reducción consecuente del uso de herbicidas exigen la adopción de planes de rotación de cultivos adecuados. El beneficio depende de la selección de especies que componen la rotación, ya que las leguminosas aportan fertilidad mientras que las gramíneas aportan materia orgánica por medio de los rastrojos, por ejemplo: el maíz es preferible plantarlo después de una leguminosa para aprovechar el nitrógeno fijado por ésta. Mientras que la soya sobre rastrojo de avena o cebada no solamente produce más, sino que esto se consigue con menos herbicidas. El sorgo y el maíz se muestran como cultivos anteriores que más incrementan la producción de algodón. Por lo tanto la rotación de cultivos además de contribuir a la conservación del recurso suelo, mejora la productividad y como consecuencia incrementa los ingresos del agricultor.

La selección adecuada de una rotación de cultivos significa que la misma se adapte a la realidad física y económica del momento y a las necesidades del agricultor. El plan de rotación debe fundamentarse en el conocimiento y experiencia del técnico y productor, para evaluar un programa a largo plazo. No debe ser rígida, para permitir modificaciones circunstanciales dependientes del mercado.

Sobre las principales ventajas ecológicas que se tienen al usar la alelopatía en combinación con el sistema de labranza de conservación. Se concluye lo siguiente:

- Reduce considerablemente los niveles de contaminación provocada por el uso excesivo de agroquímicos y por las quemas que se realizan en el sistema tradicional a los residuos orgánicos de la cosecha anterior.
- Incrementa la actividad microbiana y consecuentemente la fertilidad del suelo y a la vez mantiene la temperatura más uniforme en el mismo.
- Disminuye la pérdida de suelo y por lo tanto de nutrientes.
- En el sistema de labranza de conservación la productividad es mayor y los costos son significativamente menores.
- Ahorro en tiempos para la realización de la siembra, ya que este sistema nos permite sembrar un nuevo cultivo inmediatamente después de la cosecha del cultivo anterior, lo que se traduce en mejores rendimientos al aprovechar las fechas óptimas para la siembra.
- Se requiere apoyar más la investigación en labranza de conservación, interacciones alelopáticas y de competencia que presentan cultivos y malezas que le permitan potenciar su efecto biológico para la supresión de malezas.
- Se necesita capacitar a productores y técnicos para manejar adecuadamente todos los factores que inciden en la producción, de tal forma que podamos minimizar los errores para que estos no sean atribuidos al sistema.

- Difundir las posibilidades del sistema de labranza de conservación, por medio de parcelas y unidades demostrativas para darlos a conocer zonalmente.
- La alelopatía en conjunto con la agricultura de conservación, intenta conservar, mejorar y realizar un uso más eficiente de los recursos naturales a través del manejo integrado del suelo, el agua y los recursos biológicos disponibles. Contribuye a la conservación del medio ambiente y al mejoramiento y sostenimiento de la producción agrícola.

BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, L. I. H. y Ch. C. E. Reyes. 1992. Análisis del manejo de la maleza en el sur de México. Pp. 1-6 In: Memoria del Simposium Internacional: Manejo de la Maleza, Situación Actual y Perspectivas. 9-10 de Nov. 1992. Asociación Mexicana de la Ciencia de la Maleza. Chapingo, México.
- Almeida, F. S. 1981. Plantio direto no estado do Parana. Circular Tec. 23. IAPAR. Londrina, Parana. Brasil.
- Alsaadawi, I. S., J. K. Al-Uqaili, A. J. Alrubeaa, S. M. Al-Hadithy. 1986. Allelopathic supresión of weeds and nitrification by selected cultivars of Sorghum bicolor (L.) Moench. **Journal of Chemical Ecology** 12: 209-219.
- Armstrong, G. M., L. M. Rohrbaugh, E. L. Rice, S. H. Wender. 1970. The effect of nitrogen deficiency on the concentration of caffeylquinic acids and scopolin in tabaco. **Phytochemistry** 9: 945-948.
- Ballester, A., J. Arines, E. Vieitez. 1972. Compuestos fenólicos en suelos de brezal. **Adafologia Agrobiol.** 31: 55-61
- Benites, J. R. y J. E. Ashburner. 2001. FAO's role in promoting conservation agriculture. Borrador para el I Congreso Mundial sobre agricultura de conservación: un reto mundial. Madrid, 1-5 de Octubre 2001.
- Bridges, D. C. 1995. Ecology of weeds. En: A. E. Smith (ed.) Handbook of Weed Management Systems. Marcel Dekker, Inc. p. 19-34.
- Buckles, D. y O. Erenstein. 1996. Intensificación de los sistemas de cultivos basados en el maíz en la sierra de Santa Marta, Veracruz. NRG 96-Es. México, D.F.:CIMMYT. 62p.
- Casilla, J.C. 1982. Introducción a la Biología de Poblaciones. (BIO100). Facultad de Ciencias Biológicas. PUC. 282 pp.

- Castro, M. E., J. E. Pérez Pico., J. L. Aldaba M. 1992. Análisis del manejo de la maleza en el Norte de México. pp. 7-23. En: Memoria del Simposium Internacional: Manejo de la Maleza: Situación Actual y Perspectivas. 9-10 Nov. 1992. Asociación Mexicana de la Ciencia de la Maleza. Universidad Autónoma de Chapingo, Edo. de México.
- Chou, C. H., y H. J. Lin. 1976. Autointoxication mechanisms of *Oryza sativa*. I. Phytotoxic effects of decomposing rice residues in soil. **Journal of Chemical Ecology** 2: 353-367.
- Claveran, A. R. 2001. Labranza conservacionista en México. I World Congress on Conservation Agriculture. Madrid, 1-5 October, 2001.
- Corveetto, C. 2001. Cero labranza, agricultura alternativa. En: <http://www.nos.cl/may2001/Reportaje4/reportaje4.htm>.
- Cruz, H. H. E. 2002. Efecto de Métodos de control de malezas sobre el banco de semillas de Zacate Jonson (*Sorghum halepense* (L) Pers.) en limón persa (*Citrus latifolia* Tan.). Tesis Profesional Lic. Dpto. de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma de Chapingo. México
- Cruz. L. 1997. Y sigue la yunta andando. Univ. Aut. Chapingo. 173p.
- Curti Díaz, S. A., S. X. Loredó., Z.U. Díaz ., R. J. A. Sandoval., H. J. Hernández. 2000. Tecnología para producir limón persa. INIFAP-CIGOC. Campo Experimental Ixtacuaco. Libro técnico No. 8. Veracruz, México.
- Del Moral, R. 1972. On the variability of chlorogenic acid concentration. **Oecologia** 9: 289-300.
- Derpsch, R. 1999. Frontiers in conservation tillage and advances in conservation practice. Trabajo presentado en la 10ma. Conferencia ISCO, 24-28 de mayo 1999. West Lafayette in USA.

- Dijkstra, F. 1984. Porque utilizo o plantio directo. Departamento de Desenvolvimento de Mercado. BASF. Brasileira. 33p.
- Einhellig, F. A. (1995). Allelopathy: organisms, processes and applications. (Inderjit, Darkshini and Einhellig, ed.), Vol 582, **American Chemical Society**, Washington, D.C., p. 96-116.
- Einhellig, F. A. 1986. Mechanisms and modes of action of allelochemicals. Pag. 171-188. En: A. R. Putnam, y C. S. Tang (eds.). **The Science of Allelopathy**.
- Einhellig, F. A. y J. A. Rasmussen. 1989. Prior cropping with grain sorghum inhibits weeds. **Juornal of Chemical Ecology** 15: 951- 960.
- Erenstein, O, y P. Cadena. 1997. La adopción de la labranza de conservación en un sistema de cultivo en la ladera en Motozintla, Chiapas. NRG 97-01 Es. México, D.F.: CIMMYT. 54p.
- Evenari, M.1949. Germination inhibitors. **The Botanical Review**.15:153-194.
- Exner, R. 2002. Less tillage without more herbicides. En: http://www.pfi.iastate.edu/OFR/meno_labranza_sin_mAjs_herbicida.htm
- FAO. 2001. Conservation agriculture- Case studies en Latin America and Africa. FAO. Soil Bulletin 78, en prensa, Roma.
- Figueroa , B. y F. Morales. 1992 Manual de producción de cultivos con labranza de conservación. Colegio de Posgraduados. SAHR. 273p.
- Fussell, B. 1992. The story of corn. Alfred A. Knoff. 356 p.
- Gaytán, J., A. Avila y J. Grajales. 1999a. Adaptación y evaluación agrotécnica de una sembradora para condiciones de labranza de conservación sobre un monocultor. Memoria de Simposio Nacional sobre Labranza de conservación. Montesillos, Mex. Resumen 79-78.

- Gaytán J., A. Avila y J. Grajales. 1999b. Sembradora fertilizadora tipo unitario de tracción animal para condiciones de labranza de conservación. Memoria de Simposio Nacional sobre Labranza de Conservación. Montesillos, Mex. Resumen. 81-82.
- González, L. 1990. Labranza de conservación una alternativa para aumentar la producción y productividad del agro mexicano. FIRA. Boletín Informativo 222. 44p.
- Grageda, O. 1999. Fertilización nitrogenada en el Bajío Guanajuatense como fuente potencial de contaminantes ambientales. Tesis doctoral con especialidad en biotecnología. CINVESTAV-IPN. 133p.
- Harper, J. L. 1961. Approaches to the study of plant competition. Simposium of the Society of Experimental Biology 15: 1-39.
- Henríquez, C. A. 1999. Manejo integrado de la producción de frijol de labranza cero. Corporación Autónoma Regional del Guavio. Periódico Senderos. Edición No. 24. Noviembre-Diciembre del año 4.
- INEGI. 1991. VII Censo Agrícola-Ganadero. INEGI. Aguascalientes, Ags., México. 2 volúmenes. (857 p. y 796 p.).
- López, H. y O. Palacios. 1996. Desarrollo sostenible de los agroecosistemas del sur de Sinaloa. Fund. Rockefeller, INIFAP, UACH. Informe II 1994-95. 191p.
- Maas, J. y F. García-Oliva. 1990. La conservación de suelos en zonas tropicales: el caso de México. Ciencia y Desarrollo. 90: 21-36.
- Martínez, S. U. 1996. Alelopatía. Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca En: <http://mailweb.udlap.mx/~aleph/alephzero6/alelopatia.html>
- Matínez, A. C., J. R. Jiménez, A. Loaiza, T. Moreno, O. Palacios. 2001. Erosión y productividad en cinco sistemas de manejo del suelo en el sur de Sinaloa. Folleto

técnico No. 2. Campo Experimental Sur de Sinaloa. Centro de Investigación Regional Noroeste. INAFAP. México.

- Medina, P. J. L. 1999. Interacción of rapeseed (*Brassica naphus* L) residue management and smother crops for weed control in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycinne max* (L.) Merr.). Ph. D. Dissertation. Iowa State University. Ames, Iowa 1999. pp 115.
- Medina, P. J. L. y V. J. A. Domínguez. 2002. Coberturas vegetales como alternativa en el manejo de malezas. pp.158-168. En: Memoria Curso Precongreso: Actualización en el Conocimiento y Manejo de Malezas y Plantas Contra Plagas. 11-12 de Nov. 1992. Asociación Mexicana de la Ciencia de la Maleza. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México.
- Medina, P. J. L. y V. J. A. Domínguez. 2002. Estrategias químicas para el control de chayotillo (*Sicyos deppei*) en maíz criollo azul. Pp. 154-159. En: Memorias de la XVIII Presentación de trabajos de Investigación, Producción y Servicio. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Mex. Sep. 7, 2002.
- Moreira, I. 1982. Implicacoes da alelopatía na agricultura. **Weed Science**. Journal of Weed Science Society of America. Supplement 1 to volume 30: 1-28.
- Muller, C. H. 1964. Volatile growth inhibitors produce by *Salvia* species. **Bull. Torrey Bot. Club**. 91: 327-330.
- Muller, C. H. 1969. Allelopathy as a factor in ecological process. **Vegetation**. 18: 348-357.
- Muller, W. H. 1965. Volatile materials produce by *Salvia leucophylla*: Effects on seedling growth and soil bacteria. **Botanical Gazzate** 126: 195-200.
- Norstadt, F.A. y T. M. McCalla. 1963. Phytotoxic substances from a species of *Penicillium*. **Science** 160: 410-411.

- Obando, J. M. y Peralta, J. R. 1981. Efectos de la labranza el suelo y aplicación de nitrógeno en el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) cultivado en ultisoles. En: Resúmenes de XXVII Reunión anual P.C.C.M.C.A. Santo Domingo, Republica Dominicana.
- Osuna, E. 1997. Investigación de erosión y Labranza de conservación en la región norte-centro de México. In: Claverán *et al.* (eds.) Avances de Investigación en Labranza de conservación. Libro técnico No. 1 Morelia Mich. INIFAP. CENAPROS, pp. 199-214.
- Pazmiño, A. 1999. El rincón universitario. Universidad de Chile. Escuela de Fisiología Vegetal. en:
<http://www.e-mas.co.cl/categorías/cnaturales/alelopati.htm>
- Pérez, C.,M. A. Dardon y H. Cordova. 1981. Efecto de interacción cero labranza-fertilización sobre el rendimiento del maíz (*Zea mays* L) En: Resumen de XXVII Reunión Anual P.C.C.M.C.A. Santo Domingo, República Dominicana.
- Pitty, Ph.D, Abelino (ed.). 1997. Introducción a la biología, ecología y manejo de malezas. Zamorano Academic Press. Zamorano Honduras., p. 49-73.
- Pretty, L. y R. Hine. 2001. Reducing food poverty with sustainable agriculture: A summary of New Evidence. Informe Final del Proyecto de Investigación SAFE-Worl, febrero del 2001. Universidad de Essex, Colchester, Reino Unido. En:
<http://www2.essex.ac.uk/ces/Research Programmes/SAFEW47casessusaag.htm>
- Putnam, A. R. 1985. Wedd allelopathy. Pag. 131-155. En S.O. Duke /ed.). Wedd Physiology, Reproduction and Ecophysiology vol. I.
- Putnam, A. R., y W. B. Duke. 1974. Biological supresión of weeds: evidence for allelopathy in accessions of cucumber. **Science** 185: 370-372.

- Quarles, D. 1994. Effects of ten years of continuous conservation tillage crop production and infiltration for Missouri clay pan soils. m.v. **Agronomy Technical Report**. Vol. 12 No. 12dic. 1994.
- Rice, E.L. 1979. Allelopathy-an update. **The Botanical Review**, Vol.45 pag. 17-92
- Rice, E. L. 1984 Allelopathy. 2nd. edition. Academic Press, New York. 422 p.
- Rodríguez, L. G., y S. O. Sánchez. 2001. Coberturas vivas en maíz (*Zea mays* L.) para el control de malezas en labranza de conservación. Tesis profesional Licenciatura. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Rovira, A. D. 1969. Plant root exudates. **The Botanical Review** 35: 35-59.
- Sampietro, D. A., (sin fecha), Alelopatía: concepto, características, metodología de estudio e importancia. En: <http://fai.unne.edu.ar/biología/alelopatia/alelopatia.htm>
- Scopel, E. (ed). 1997. Memoria del taller de transferencia de labranza de conservación para maíz de temporal en el Estado de Jalisco. México, D.F.: CIMMYT, INIFAP, CIRAD, SDR. 83 p.
- SEMARNAP. 2002. <http://www.semarnap.gob.mx>
- Tiscareño M., M. Gallardo y M. Velásquez. 1997. Impacto de los sistemas de labranza en las laderas. En: Claverán *et al.* (eds.) Avances de Investigación en Labranza de Conservación. Libro Técnico No. 1. Morelia Mich. INIFAP, CENAPROS. 107-122 pp.
- Tukey, H. B., Jr. 1969. Implications of allelopathy in agricultural plant science. **The Botanical Review** (Lancaster) 35: 1-16.

- Uribe S. 1998. Tecnologías prosostenibles de manejo de suelos tropicales en el sur de Veracruz. Memoria de la XII Reunión Científica y Tecnológica, Forestal y Agropecuaria. INIFAP-CIRGOC. 93-100.
- Van Nieuwkoop, M., W. Walter, A. Zamarripa, R. C. de la Piedra, F. Cruz, R. Camas, J. Martínez. 1994. La adopción de tecnologías de labranza de conservación. La Frailesca, Chiapas. CIMMYT-INIFAP. 93 p.
- Velásquez, M., M. Tiscareño, R. Claveran y M. Gallardo. 1997. Erosión y productividad bajo labranza de conservación. Avances de investigación en suelos de ando de Michoacán. INIFAP-CENAPROS. Folleto técnico No 1. 34 p.
- Vidal, P.T., e Aloisi, R. 1984. Plantío directo no Brasil. Centro Academico "Luis de Quiroz". Fundacao Cargil. 124p.
- Violic, A.D., F. Kocher, E. Palmer, T. Nibe. 1982. Experimentación sobre labranza cero en maíz en la región costera del norte de Veracruz. En: Simposium sobre cultivo múltiples de la Asociación Latinoamericana de Ciencias Agrícolas (ALCA), Chapingo México.
- Waller. G. R., et al. 1986. Caffeine autotoxicity in Coffea arabica L. Pag. 243-269. En A. R. Putnam C. S. Tang (eds.). **The Science of Allelopathy**.
- Whittaker, R. H. (1970). The biochemical ecology of higher plants. In: Sondheimer E. e Simeone, J. B. (edit.), **Chemical Ecology**. Academic Press.
- Whittaker, R. H. e Feeny, P. P. (1971). Allelochemicals: chemical interactions between species. **Science** 171: 757-770.
- Young. C. 1986. Autointoxication of Asparagus officinalis L. Pag. 101-110. En A.R. Putnam y C. S. Tang (eds.). **The Science of Allelopathy**.
- Zeiger, E., L. Taiz. 1998. Plant Physiology. 2a. edición. Sinaver, Associates, Inc., Publishers. Sunderland. Massachusetts. 347-376 p.

- Zimdahl, R. L. 1980. Weed crop competition: A review. International Plant Protection Center. Oregon State University. Corvallis, OR.. 196 p.