

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**

**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**



**Efecto Alelopático de Timol y Carvacrol en la Germinación de Chile  
y Tomate, bajo Condiciones de Laboratorio.**

**Por:**

**JUAN GUERRA TRUJILLO**

**T E S I S**

**Presentada como requisito parcial para obtener el título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

**Saltillo, Coahuila, México.**

**Junio 2012**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**DIVISION DE AGRONOMIA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

**Efecto Alelopático de Timol y Carvacrol en la Germinación de  
Chile y Tomate, bajo Condiciones de Laboratorio.**


**Por:  
JUAN GUERRA TRUJILLO**

**TESIS**


**Presentada como requisito parcial para obtener el título de:**

**INGENIERO AGRONOMO EN PRODUCCION**

**Aprobada por:**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Mariano Flores Dávila**  
Asesor Principal

  
\_\_\_\_\_  
**M.C. Rebeca González Villegas**  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
**Ing. Agustín Hernández Juárez**  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Leobardo Bañuelos Herrera**  
Coordinador de la División de Agronomía

  
Coordinación  
División de Agronomía

**Saltillo, Coahuila, México.  
Junio 2012**

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi "Alma Terra Mater" que me formó como profesionista, orgullosamente Ingeniero agrónomo en producción, carrera que me propicio conocimientos para ayudar a los agricultores e investigadores para tener un Agricultura Sustentable.

Doy las gracias a mi padre dios, por darme y brindarme la oportunidad de cumplir uno de mis principales sueños.

**MC. Rebeca González Villegas,** gracias por brindarme su apoyo amistad y consejos sin ella no sería este trabajo posible haberlo realizado fue de total importancia por este motivo le doy las gracias.

**Dr. Mariano Flores Dávila,** gracias por darme su apoyo incondicional ayudándome a realizar este trabajo ya que con sus consejos y decisiones pude lograrlo.

**Ing. Agustín Hernández Juárez,** le doy las gracias por haberme ayudado en este trabajo ya que su apoyo fue muy importante para realizar el trabajo y siempre estar constante cuando yo necesite que me asesorara gracias.

**MC. Salvador Ordaz Silva,** Gracias por haber sido una ayuda con la tesis ya que tu apoyo fue de mucha importancia.

## DEDICATORIA

Mi tesis es dedicada especialmente a mis padres, **J. Jesús Guerra Olguín** y **Marielena Trujillo Elías**, por darme la vida y darme la oportunidad de llegar hasta este momento por darnos el ejemplo de una familia y sé que sin su apoyo nunca hubiera logrado lo que ahora soy gracias padres.

A mi hija

**Julia Ximena Guerra Raya**

Por cambiar mi vida y llenarla de alegría por darme la esperanza de ilusiones de seguir adelante ya que eres la persona más importante de mi vida

Por ser la persona que día a día te veo con una sonrisa hermosa y esos llantos, los cuales me dan fuerzas para poder salir adelante.

A mi esposa

**Yenny Arizbeyh Raya Hinojo**

Por estar conmigo en momentos difíciles cuando necesite su apoyo.

A mis hermanos

**Maricela Guerra Trujillo**

**Jesús Guerra Trujillo**

Por los consejos que me han dado, y apoyo incondicional que me han brindado en todo momento que lo necesite el cual no tendré manera de saldar pero si corresponderles y agradecerles.

Y a todos mis tíos que me ayudaron de alguna manera mi formación de estudiante por ese motivo también les dedico este trabajo. Gracias GUERRAS TRUJILLOS

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>IV</b>
<b>INDICE DE CONTENIDO.....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>IX</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVO.....</b>	<b>2</b>
<b>HIPOTESIS.....</b>	<b>2</b>
<b>REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
Cultivos de importancia.....	3
Chile ( <i>Capsicum annum L.</i> ) .....	3
Descripción.....	3
Siembra.....	3
Clima.....	4
Cosecha.....	4
Uso.....	4
Tomate ( <i>Lycopersicum esculentum L.</i> ) .....	5
Descripción.....	5
Siembra.....	5
Clima.....	6
Cosecha.....	6
Usos.....	6
Alelopatía.....	8
Beneficios de la alelopatía.....	8
Conceptos de alelopatía.....	8
Tipos de alelopatía.....	10
Alelopatía positiva.....	10
Alelopatía negativa.....	10
Naturaleza alelopática y distribución geográfica de especies.....	11

Aleopatía en la agricultura.....	12
Inducción de compuestos aleloquímicos por estrés ambiental.....	12
Clasificación de los Aleloquímicos.....	14
Biosíntesis de aleloquímicos.....	17
Modo de acción de los inhibidores alelopáticos.....	20
Estudio potencial de plantas alelopáticas .....	22
Generalidades del orégano .....	25
Composición química del orégano.....	26
Usos del orégano.....	27
Potencial Antimicrobiano.....	27
Efecto antiparasítico.....	28
Acción Estrogénica.....	29
Capacidad antigenotóxica.....	29
Usos y aplicaciones industriales.....	31
Actividad insecticida.....	31
Formas de obtención de extractos .....	32
Otras técnicas.....	32
Técnicas de evaluación del efecto de los extractos.....	32
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
Ubicación del experimento.....	33
Obtención de las semillas.....	33
Obtención de los aceites. ....	33
Elaboración del bioensayo.....	33
Diseño experimental.....	34
Variables.....	34
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>35</b>
Porcentaje de emergencia de semilla de chile con Timol.....	35
Porcentaje de emergencia de semilla de chile con Carvacrol.....	37
Porcentaje de emergencia de semilla de Tomate con Timol.....	38
Porcentaje de emergencia de semilla de Tomate con Carvacrol.....	39
<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>41</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>42</b>

## INDICE DE CUADROS

<b>CUADRO</b>		<b>Pág</b>
1	Asociaciones antagónicas de Hortalizas por efecto de Alelopatía negativa.....	10
2	ANOVA de la semilla germinada de chile con Timol.....	35
3	Medias de la semilla germinada de chile con Timol (Tukey $P \leq 0.05$ ).....	36
4	ANOVA de la semilla germinada de chile Carvacrol.....	37
5	Medias de la semilla germinada de chile con carvacrol (Tukey $P \leq 0.05$ ).....	38
6	ANOVA de la semilla germinada de tomate timol.....	38
7	Medias de la semilla germinada de tomate con Timol (Tukey $P \leq 0.05$ ).....	39
8	ANOVA de la semilla germinada de tomate Carvacrol.....	39
9	Medias de la semilla germinada de tomate con carvacrol (Tukey $P \leq 0.05$ ).....	40

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Pág.</b>
1	Vías de liberación de sustancias alelopáticas de una planta al medio ambiente.....	12
2	Respuesta de defensa de la planta (metabolitos secundarios) por estrés biótico y abiótico.....	13
3	Estructura química de algunos agentes alelopáticos.....	17
4	Ruta de la Biosíntesis de metabolitos secundarios.....	18
5	Estructuras de fenilpropanoides (ácidos cafeico, clorogenico y ferulico) del lignanomagnolol y flavonoides (naringinina y cianiadina) con actividad biológica.....	19
6	Estructuras de terpenoides con actividad biológica. Se muestran como ejemplos al hemiterpenoisopreno, el monoterpeno 1- mentol, el interpenoidecucurbitacina.....	20
7	Estudio potencial de plantas alelopáticas.....	24



## RESUMEN

Las hortalizas tienen una relevante importancia entre ellas el tomate y el chile, con una amplia producción a nivel Nacional e Internacional, su proceso de producción comprende actividades como aplicación de plaguicidas y fertilizantes, las cuales provocan daño a la salud humana y animal, esta situación en las últimas décadas a preocupado al hombre, y lo impulsa a buscar nuevas alternativas ecológicas que permitan ser más cuidadoso con el medio ambiente; la alelopatía es una alternativa en la agricultura orgánica, diversas plantas presentan metabolitos secundarios los cuales tienen una función alelopática contra otros vegetales, como es el caso del timol y carvacrol, utilizado en la presente investigación como extracto, para evaluar su efecto sobre la germinación, en semillas de chile y tomate bajo condiciones de laboratorio. El estudio se llevo a cabo en la UAAAN, bajo un diseño completamente al azar con siete tratamientos (2,000; 1,500; 1,000; 600; 300; 100 ppm y un testigo solo con agua), con dos repeticiones y cuatro evaluaciones (10, 12, 14 y 16 días, en el último día se realizó el último conteo de semillas germinadas y no germinadas ), analizando los resultados con el paquete estadístico de la UANL, resultando que a dosis bajas se obtienen porcentajes altos de semillas germinadas y no germinadas, en todos los casos tanto en chile como en tomate, no así a dosis altas donde se presentó inhibición de la germinación para ambos tipos de semillas.

La alelopatía tendrá un gran impacto sobre los sistemas de producción agrícola, tanto en aquellos sistemas de bajos insumos como en los de altos insumos. Es poco probable que la alelopatía por si sola puede reemplazar totalmente a otras prácticas de control de malezas ya que su efectividad es influenciada por muchos factores. Sin embargo, una reducción del uso de los herbicidas será un beneficio para los agricultores y también reducirá el impacto en el ambiente. En la actualidad no hay disponibles cultivares comerciales con propiedades alelopáticas pero existe la posibilidad de obtener nuevos cultivares alelopáticos regulando su capacidad para producir compuestos alelopáticos.

**Palabras claves:** Pre-emergente, Inhibición, Herbicida.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad resulta de gran importancia investigar y encontrar las variantes que nos permitan el desarrollo de una agricultura rentable y no contaminante del medio ambiente. Por otra parte, el uso de productos químicos en la agricultura aumenta notablemente los rendimientos y la rentabilidad de los cultivos, pero la utilización constante de estos altera el medio biológico, produciendo graves daños a los diversos ecosistemas. Es por eso que la utilización de prácticas sostenibles como: reducción de productos químicos, rotaciones y asociaciones benéficas entre otras, son las mejores variantes para garantizar una buena producción manteniendo a salvo el futuro de nuestro planeta. Debido a ello en nuestro país se realizan investigaciones para la obtención de productos de origen natural, entre ellos se investiga el efecto alelopático entre las plantas. La sociedad internacional de Alelopatía en 1996 definió a la Alelopatía como cualquier proceso que involucre metabolitos secundarios producidos por las plantas, microorganismos, virus y hongos que influyan en el crecimiento y desarrollo de sistemas agrícolas y biológicos. (An, 2000) menciona que los síntomas se manifiestan como: Inhibición o retraso de la germinación, semillas necrosadas, retardo en el crecimiento de raíz y tallo, necrosis en las extremidades de las raíces, pérdida de pelos radiculares, reducción de la acumulación de masa seca y reducción en la capacidad reproductiva. En la naturaleza, la presión ejercida por factores bióticos y abióticos a los que están expuestos los vegetales ha provocado el desarrollo de numerosas rutas de biosíntesis, a través de las cuales los vegetales sintetizan y acumulan en sus órganos una gran variedad de metabolitos secundarios, que les permiten una mejor adaptación a su medio (Sampietro y Sampietro, 2003) dicha característica origina la alelopatía, definida como la influencia directa de un compuesto químico liberado por una planta sobre el desarrollo y crecimiento de otra planta; los compuestos alelopáticos pueden ser liberados de las plantas al ambiente por medio de la

exudación de las raíces, lixiviación, volatilización y descomposición de los residuos de las plantas en el suelo (FAO, 2004).

## **OBJETIVO**

- Determinar el efecto alelopático del aceite de timol y carvacrol extraídos de oregano, sobre la germinación de chile y tomate, bajo condiciones de laboratorio.

## **HIPOTESIS**

- Se espera que uno de los aceites presenten efecto alelopático, sobre la germinación en uno de los cultivos.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Cultivos de importancia

#### Chile (*Capsicum annum L.*)

##### Descripción

El chile es una planta de comportamiento anual y perenne, tiene tallos erectos, herbáceos y ramificados de color verde oscuro, el sistema de raíces llega a profundidades de 0.70 a 1.20 m, y lateralmente hasta 1.20 m, la altura promedio de la planta es de 60 cm; las hojas son planas, simples y de forma ovoide alargada, las flores son perfectas (hermafroditas), formándose en las axilas de las ramas; son de color blanco y a veces púrpura, el fruto en algunas variedades se hace curvo cuando se acerca a la madurez; el color verde de los frutos se debe a las altas cantidades de clorofila acumulada, los frutos maduros toman color rojo o amarillo debido a pigmentos (licopeno, xantofila y caroteno), la picosidad es debida al pigmento capsicina (SIAP, 2010).

##### Siembra

El chile se cultiva tanto en forma directa como por trasplante, en la siembra directa, el lomo de los surcos es alisado con tablón para tener una mejor condición de cama de siembra facilitando el desplazamiento de la sembradora mecánica. La siembra mecánica o manual se debe hacer cuando el suelo está debidamente preparado; cuando se utilice sembradora debe estar calibrada a tirar de 100 a 120 semillas/m, a una profundidad de 2 a 3 cm y en hileras sencillas. Bajo el método de siembra a chorrillo (en banda), posterior a la emergencia de plántulas y mediante raleo se debe ajustar la distancia entre plantas a 25 a 30 cm. Cuando la siembra es

manual, se depositan de 10 a 15 semillas/plántula, con distanciamiento de 50 cm entre las plántulas (SIAP, 2010).

### **Clima**

El chile es sensible a temperaturas bajas, sin embargo prospera entre 0 y 2,500 msnm de preferencia libre de heladas, una mejor germinación en un período de 9 a 12 días es posible lograrse bajo condiciones de temperatura de 20 a 30 °C; y se considera que condiciones de 16 a 32 °C de temperatura, el crecimiento vegetativo y reproductivo se ve favorecido, para variedades de Chile Dulce se considera el rango de temperaturas adecuadas de 21 a 30 °C, siempre evitando temperaturas inferiores a los 18 °C condición con la que se inicia la detención del crecimiento. Los suelos más adecuados son de textura ligera; areno-arcillosos; con alta retención de humedad, en general el Chile es poco tolerante a la salinidad; en cuanto al pH, los rangos de adaptación son de 6.3 a 7.0 (SIAP, 2010).

### **Cosecha**

Se cosecha de manera manual, se utilizan principalmente dos indicadores, la longitud o tamaño y el color para saber el momento adecuado de recolección; como ejemplo, el chile serrano a los 75 días, color verde intenso con 3 a 4 cm de longitud, jalapeño a los 75 días, color verde rojizo de 5 a 7 cm de largo (SIAP, 2010).

### **Uso**

Los usos de los frutos naturales o procesados del Chile son múltiples, aparte del consumo en fresco, cocido, o como un condimento o "especia" en comidas típicas, existe una gran gama de productos industriales que se usan en la alimentación humana: congelados, deshidratados, encurtidos, enlatados, pastas y salsas, se utiliza como materia prima para la obtención de colorantes y de oleoresinas para fines industriales, e incluso para fines medicinales (SIAP, 2010).

El chile es la principal especie hortícola en todo el mundo, se cultiva de diferentes formas y tamaños, se consume fresco, fermentado o deshidratado, además es utilizado como condimento debido principalmente a su sabor picante (SIAP, 2010).

A nivel mundial, China es el mayor productor de chile, seguido por México, Turquía, Estados Unidos, España e Indonesia. A la vez, Estados Unidos, Alemania, Reino Unido, Francia, Holanda y Canadá son los principales países importadores, estos países realizan importaciones, principalmente, de diciembre a abril (Azofeifa *et al.*, 2008).

En México el chile se cultiva en todo el territorio nacional desde el nivel del mar hasta altitudes de 2,500 msnm, los principales estados productores de chile son el estado de Zacatecas, Chihuahua, Sinaloa y San Luís Potosí (García *et al.*, 2006).

## **Tomate (*Lycopersicum esculentum L.*)**

### **Descripción**

El tomate rojo (Jitomate), es el nombre común que se le ha dado a esta planta herbácea de tallo voluble, largo; las hojas son lobuladas con los bordes dentados; las flores pentámeras se reúnen en ramilletes laterales y son amarillas; la fruta de forma generalmente redondeada y achatada a excepción de algunas variedades de fruto alargado, el tamaño es variable pero tiende a ser un fruto grande, a veces no es completamente liso sino que presenta gajos más o menos profundos, la sección transversal muestra la epidermis delgada y resistente, color rojo al madurar, al igual que la pulpa, un tanto gelatinosa, que se halla dividida en lóculos que alojan a las semillas. El color del Jitomate, verde en principio y rojo cuando madura, esto se debe a una sustitución de clorofila en los cromoplastos de las células por carotenos (SIAP, 2010).

### **Siembra**

La siembra se realiza por trasplante, al aire libre en un lugar protegido de los rayos directos del sol y de los vientos. Lo mejor es utilizar un invernadero o una cajonera con tapa de cristal, para preparar el semillero, se ponen en remojo 24 horas, después se lavan bien y se dejan en la sombra hasta que se secan (SIAP, 2010).

## **Clima**

El tomate es una planta versátil que crece bien en casi todos los terrenos y climas, su límite lo establecen las heladas bajo las cuales muere, otro factor que puede afectar su crecimiento son los vientos fuertes y secos. Prefiere los terrenos neutros (pH de 7), sueltos y bien drenados, con un contenido de caliza ideal para su desarrollo, la tierra rica en nutrientes y en especial el estiércol bien descompuesto favorece el engrosamiento de los frutos (SIAP, 2010).

## **Cosecha**

El corte es manual, cuando los tomates empiezan a tomar un tono rallado, el valor nutritivo y el perfume son mayores cuando el tomate madura al sol en pleno campo (SIAP, 2010).

## **Usos**

Su principal utilización es en ensaladas y jugo en fresco, la industria alimenticia actualmente procesa los jitomates de infinidad de formas, desde jugos, purés, conservas de jitomates enteros y pelados, fritos, en componentes de diversas salsas picantes o dulces, mermeladas, esencia para la elaboración de alimentos, saborizantes y otros productos. Los hay del tipo saladette, bola y cherry (SIAP, 2010).

El tomate rojo mexicano es una de las hortalizas que generan más divisas para el país, ya que cerca de 30 % de la producción nacional se exporta, principalmente a los Estados Unidos de Norteamérica, por lo tanto el cultivo depende significativamente del comportamiento del mercado internacional; para el mercado estadounidense en los últimos diez años las exportaciones se incrementaron 67 %, en el año 2000 México aportó 590 000 ton (80.8 %) de tomate fresco a los Estados Unidos, seguido por Canadá (13.9 %) y los Países Bajos (3.8 %) (SIAP, 2010).

La importancia del tomate mexicano en el mercado estadounidense se relaciona con la cercanía geográfica, competitividad en precio y calidad, buen sabor, larga vida de anaquel y con el descenso de la producción de esta hortaliza en Estados Unidos durante el invierno, además la importancia económica que generan

sus exportaciones de hortalizas frescas y de tomate rojo, y con su alta dependencia del mercado internacional, ha motivado diversas investigaciones sobre la competitividad de estos cultivos (Hernández *et al.*, 2004), por lo cual el tomate es una de las principales hortalizas producidas en áreas de riego y temporal por los agricultores, ya que sus precios pueden llegar a ser atractivos, tener una buena aceptación por los consumidores y tener gran captación de divisas para el país (Vargas y Martínez, 2004).



## **Alelopatía**

La utilización de los agroquímicos y el mal manejo que se le dan a los suelos han venido presentando un marcado acenso en la proliferación de plagas y enfermedades que afectan los cultivos y una desaparición de los insectos benéficos parte del equilibrio del ecosistema, todo esto debido a la irracional explotación de la tierra, para sacarle el máximo beneficio.

Para contrarrestar los daños ocasionados por la agricultura química y el inadecuado manejo de nuestra tierra, buscamos recobrar y mantener el equilibrio ecológico de los insectos benéficos como perjudiciales que se desarrollan en el mismo sitio y se controlan entre si, al igual que los hongos, bacterias y demás microorganismos que se encuentran en la naturaleza, buscando alternativas menos dañinas para el medio ambiente, como es la alelopatía.

### **Beneficios de la alelopatía**

De acuerdo a Zarateet *al.*, (2006) e ICPROC, (1998).

- ✓ Disminuye los costos de producción
- ✓ Independiza a los cultivadores de las casas productores de abonos y pesticidas químicos.
- ✓ Preserva los cultivos, los animales y el hombre.
- ✓ Mejora la estructura del suelo.
- ✓ Da fuerza a la agricultura autosostenible (aquella que puede perdurar por tiempo indefinido en beneficio a la humanidad, sin deteriorar el medio ambiente.
- ✓ Mejora la calidad de los productos agrícolas
- ✓ Alimentación sana.

### **Conceptos de alelopatía**

El fenómeno de la alelopatía, fue definido por Molish (1937), como el proceso por el cual una planta desprende al medio ambiente, uno o varios compuestos químicos; que inhiben el crecimiento de otra planta que vive en el mismo hábitat, o en un hábitat cercano.

La Alelopatía se refiere a la interacción química entre plantas, donde la emisión de metabolitos secundarios por parte de una planta provoca efectos generalmente inhibitorios sobre otras. Su estudio se hace relevante en la búsqueda de estrategias de manejo de malezas en forma amigable con el medio ambiente.

Es la ciencia que estudia las relaciones entre las plantas que se ayudan y las plantas que se rechazan, utilizando sus feromonas o aromas para repeler o favorecer a la planta vecina: al igual que atraer insectos beneficiosos o rechazar el ataque de las plagas y enfermedades ([www.cadenahortofruticola.org](http://www.cadenahortofruticola.org)).

La alelopatía hace parte fundamental de la agricultura orgánica, razón por la cual es importante, conocer las relaciones que existen entre las diferentes plantas, al igual que el tipo de feromonas y aromas que producen como mecanismo de defensa contra el ataque de plagas y enfermedades ([www.cadenahortofruticola.org](http://www.cadenahortofruticola.org)).

La Sociedad Internacional de Alelopatía (AIS) define la actividad alelopática como las relaciones de inhibición o estimulación del crecimiento entre plantas, involucrando bacterias, hongos y algas; en las últimas décadas, esta actividad ha sido promovida en semillas germinadas, plántulas en desarrollo o en campo (Isaza *et al.*, 2007).

Es necesario establecer cuatro condiciones para que una interacción se pueda considerar como alelopática:

1. Demostrar la existencia de interferencia, describir los síntomas y cuantificar el grado de interferencia.
2. Aislar, ensayar y caracterizar los aleloquímicos.
3. Los síntomas de interferencia, previamente diagnosticados, deben ser repetidos por la aplicación de toxina(s) a dosis presentes en la naturaleza.
4. La liberación de la toxina, su movimiento y captación por parte de la planta receptora, debe ser monitoreada y demostrar que la dosis es suficiente para explicar la interferencia observada

## Tipos de alelopatía

### Alelopatía positiva

Es el efecto benéfico que tiene una planta sobre otra: ejemplo el frijol verde y la fresa prosperan más cuando son cultivados juntos que cuando se cultivan separadamente; la lechuga sembrada con espinaca se hace más jugosa; el frijol sembrado con maíz ayuda a repeler y disminuir los ataques del gusano cogollero.(www.cadenahortofruticola.org).

### Alelopatía negativa

Es la no convivencia de algunas plantas en un mismo espacio, pues hay determinadas plantas que segregan sustancias tóxicas por sus raíces y hojas impidiendo el desarrollo de las plantas vecinas, como el ajeno, eneldo, diente de león y otras como el eucalipto. Algunas hortalizas no se aconsejan sembrar en asocio, por sus propiedades alelopáticas negativas, se rechazan o tienen una relación de antipatía a estas plantas se les conoce como el nombre de plantas antagónicas (Cuadro 1) (ICPROC, 1998).

Cuadro 1. Asociaciones antagónicas de Hortalizas por efecto de Alelopatía negativa.

Calabaza	con	Papa
Diente de león	con	Todas las plantas
Fresa	con	Repollo
Frijol arbustivo	con	Cebollas, ajo
Girasol	con	Papa
Papa	con	Tomate, Pepino, Girasol
Tomate	con	Papa, Repollo, Frijol
Remolacha	con	Frijol de enredadera

## **Naturaleza alelopática y distribución geográfica de especies**

La química que imponen las influencias alelopáticas se han llamado aleloquímicos. Estos pueden ser ampliamente clasificados como metabolitos secundarios de las plantas, los cuales son generalmente agrupados por su composición (alcaloides, fenoles, flavonoides, terpenoides, glucosinolatos) y no juegan ningún papel en el metabolismo primario, proceso esencial para la supervivencia de la planta y son producidos como consecuencia de los caminos al metabolismo primario, e incluyen cientos de componentes moleculares de bajo peso. Decenas de miles de sustancias secundarias son conocidas hoy, y solo un número limitado ha sido implicado como aleloquímico (Rice, 1984; citado por An, 2000).

La distribución geográfica de una especie viene determinada, en líneas generales, por las peculiaridades topográficas, edáficas y microclimáticas de la zona donde pretende introducirse; si los límites de tolerancia a alguno de los factores físicos competitivos citados son tolerables, la especie podrá introducirse en la comunidad vegetal; sin embargo, un compuesto químico excretado por una planta puede inhibir y excluir a otra que no le es tolerante, mediante un proceso alelopático, básicamente son cuatro las vías por las cuales las toxinas pueden ser liberadas de una planta al medio ambiente (Figura 1), lixiviación por la lluvia, eliminación como componentes volátiles, acumulación de residuos vegetales en el suelo con posterior liberación de compuestos químicos orgánicos y exudación por las raíces; cualquiera de ellas, se ha demostrado que es importante en el proceso de la inhibición bioquímica. Los productos orgánicos que producen estas inhibiciones son normalmente sustancias del metabolismo secundario de plantas y están representados en una gran variedad de grupos orgánicos (Ballester y Vieitez, 1978).

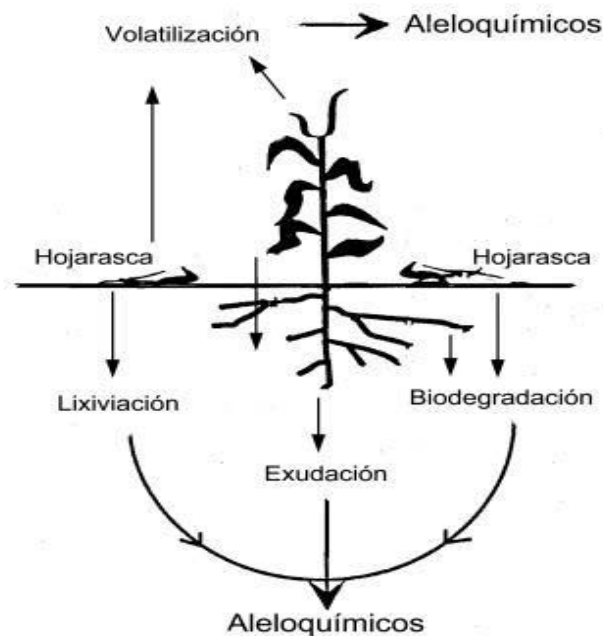


Figura 1. Vías de liberación de sustancias alelopáticas de una planta al medio ambiente.

### **Alelopatía en la agricultura**

La utilización de residuos alelopáticos como una herramienta de manejo en las plantas puede ser uno de los usos más prácticos aplicables de la alelopatía en los agroecosistemas. De todas las estrategias posibles de desarrollo de la alelopatía para el control de malas hierbas, el manejo de residuos tóxicos es el de resultados disponibles más exitosos y reales (Putnam, 1998).

An *et al.*, (2000), simularon el fenómeno alelopático causado por la descomposición de residuos de las plantas, sus análisis teóricos revelaron que la descomposición de estos residuos puede inhibir o estimular el crecimiento de las plantas y esta inhibición puede estar confinada a un periodo limitado.

### **Inducción de compuestos aleloquímicos por estrés ambiental**

Es un hecho conocido que sustancias alelopáticas son inducidas por estrés ambiental (Figura 2). Hasta hace poco tiempo muchos estudios verificaron los mecanismos de un sistema de autodefensa, incluyendo la alelopatía en las plantas,

especialmente referida al metabolismo de fenilpropanoides e isoterpenoides. Las plantas responden al estrés ambiental por medio de una variedad de reacciones bioquímicas que pueden proporcionar protección contra los agentes causantes. El incremento de compuestos fenólicos y terpenoides alelopáticos bajo condiciones de estreses ambientales ha sido bien documentado. Por ejemplo, un fortalecimiento de la luz UV-B induce la acumulación de fenilpropanoides y flavonoides en diferentes especies tales como frijoles, perejil, papa, tomate, maíz, centeno, cebada y arroz (FAO, 2004).

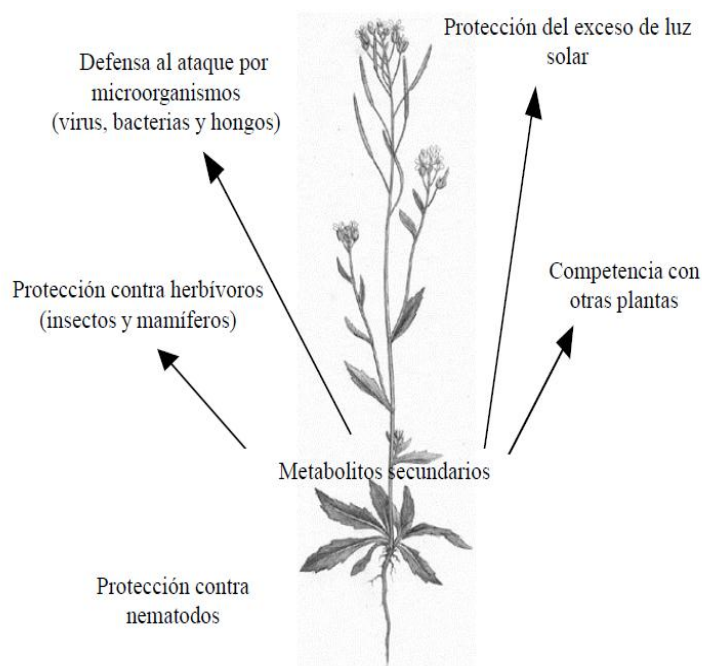


Figura 2. Respuesta de defensa de la planta (metabolitos secundarios) por estrés biótico y abiótico.

## Clasificación de los Aleloquímicos

En diferentes especies de plantas se producen diferentes metabolitos secundarios, aunque es frecuente encontrar en una misma planta diversas mezclas de estos, originando combinaciones que varían en su composición y abundancia en las diversas células, tejidos y órganos de la planta, los cuales se modifican con la edad de los mismos y con las condiciones ambientales (Gómez *et al.*, 2003); afectando los procesos fisiológicos de las plantas, los cuales dependerá de la concentración o de las formas en que se utilicen, estas sustancias resultan perjudiciales para otras especies o para la misma que los produce (Sampietro y Sampietro, 2003). Diversos estudios de alelopatía ha permitido obtener una clasificación de los metabolitos secundarios que a continuación se mencionan:

**Gases tóxicos:** Entre ellos está el etileno que ha sido utilizado como hormona para favorecer algunas especies vegetales; además en especies de los géneros *Brassica* y *Sinapsis* (Crucíferas) se han identificado compuestos alelopáticos como el allylisotiocianato y el  $\beta$ -fenetilisotiocianato.

**Ácidos orgánicos y aldehídos:** Los ácidos alifáticos, algunos de los cuales forman parte del ciclo de Krebs, son inhibidores de la germinación y su efecto se puede separar del causado por el pH bajo de una solución; por otra parte, se ha encontrado que los ácidos alifáticos de bajo peso molecular se forman en la descomposición anaeróbica de residuos de plantas en el suelo.

**Lactonas simples no saturadas:** Entre ellas se encuentra el ácido parasorbico encontrado en *Sorbus aucuparia* L.; otros estudios mencionan la psilotina y psilotinina son producidas por *Psilotum nudum* L. y *Twesiperis tannensis* L. respectivamente, la protoanemonina es producida por varias ranunculáceas, son poderosos inhibidores de crecimiento aunque el rol de estos compuestos en alelopatía no se conoce completamente.

**Terpenoides.** Todos los terpenoides, tanto los que participan del metabolismo primario como los más de 25.000 metabolitos secundarios, son derivados del compuesto IPP (Isopentenildifosfato o "5-carbono isopentenildifosfato") que se forman en la vía del ácido mevalónico. Es un grupo grande de metabolitos con actividad biológica importante. Están distribuidos ampliamente en las plantas y

muchos de ellos tienen funciones fisiológicas primarias. Unos pocos, como los que forman los aceites esenciales, están restringidos a solo algunas plantas.

**Compuestos nitrogenados o alcaloides.** Los alrededor de 12.000 alcaloides que se conocen, contienen uno o más átomos de nitrógeno, son biosintetizados principalmente a partir de aminoácidos. Los alcaloides poseen una gran diversidad de estructuras químicas (Robinson 1981). Son fisiológicamente activos en los animales, aún en bajas concentraciones, por lo que son muy usados en medicina. Ejemplos conocidos son la cocaína, la morfina, la atropina, la colchicina, la quinina, y la estricnina.

**Compuestos alifáticos:** Existe una forma abundante en la naturaleza, generados en el epiplón de las plantaciones y son compuestos poco conocidos por su actividad inhibitoria de la germinación de semillas y el crecimiento de plantas. Comprenden varios ácidos (p.ej. oxálico, crotónico, fórmico, butírico, acético, láctico y succínico) y alcoholes (tales como metanol, etanol, n-propanol y butanol) solubles en agua, que son constituyentes comunes presentes en plantas y suelo. Bajo condiciones aeróbicas los ácidos alifáticos son rápidamente metabolizados en el suelo, por lo cual no pueden considerarse una importante fuente de actividad alelopática.

**Lípidos y ácidos grasos:** Existen varios ácidos grasos tanto de plantas terrestres como acuáticas que son inhibitorios de crecimiento vegetal. Se pueden citar entre otros los ácidos linoleíco, mirístico, palmítico, láurico e hidroxiesteárico. Su rol en alelopatía no está completamente investigado.

**Glucósidos cianogénéticos.** Cumplen funciones de defensa, ya que al ser hidrolizados por algunas enzimas liberan ácido cianhídrico (Hegnauer, 1977), proceso llamado cianogénesis. Algunos tipos parecen haberse originado muchas veces evolutivamente, mientras que otros parecen haber aparecido una sola vez, y tienen por lo tanto una distribución restringida a sólo algunos taxones emparentados.

**Compuestos aromáticos:** Estos comprenden la más extensa cantidad de agentes alelopáticos. Incluye fenoles, derivados del ácido benzoico, derivados del ácido cinámico, quinonas, cumarinas, flavonoides y taninos.

**Fenoles simples:** Entre ellos las hidroxiquinonas y la arbutina, las cuales inhiben el crecimiento de varias plantas.



**Ácido benzoico y sus derivados:** Derivados del ácido benzoico tales como los ácidos hidroxibenzoico y vainílico, están comúnmente involucrados en fenómenos alelopáticos. Dentro de las especies que los contienen se pueden citar el pepino (*Cucumis sativus* L.), avena (*Avena sativa* L.) y sorgo (*Sorghum vulgare* L.). También se detectó la presencia de estos frecuentemente en el suelo.

**Ácido cinámico y sus derivados:** 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 (*Cucumis sativus* L.), girasol (*Helianthus annuus* L.) y guayule (*Parthenium argentatum* L.). Otros derivados de los ácidos cinámicos tales como clorogénico, cafeico, p-cumárico, y ferúlico (figura 3) están ampliamente distribuidos en el reino vegetal y son inhibitorios 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 y derivados:** Algunos compuestos de este grupo se han examinado por su actividad herbicida, y otros tienen comprobados efectos adversos sobre las plantas, varias de las quinonas y sus derivados provienen de la ruta metabólica del ácido shikímico.

**Cumarinas:** Pertenecen al grupo de las lactonas del ácido o-hidroxicinámico con cadenas de isoprenoides, cumarinas, esculina y psoralen; son potentes inhibidores de la germinación. Inhibidores de este grupo comúnmente son producidos por granos de leguminosas y cereales, las cumarinas están presentes en muchas plantas, la metil esculina fue identificada en Ruta, Avena e Imperata. Compuestos tales como escopolina, escopoletina y furanocumarinas tienen capacidad inhibitoria del crecimiento vegetal.

**Flavonoides:** Una amplia variedad de flavonoides tales como floridzina (producida por *Malus* y algunas ericáceas) y sus productos de degradación tales como glicósidos de quempferol, quercetina y myrcetina son agentes alelopáticos bien conocidos.

**Taninos:** Los 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 presentes en suelos de bosques en concentraciones suficientes para inhibir la nitrificación. Los taninos condensados, los cuales se originan de la polimerización oxidativa de las 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 circulación de minerales en el suelo.

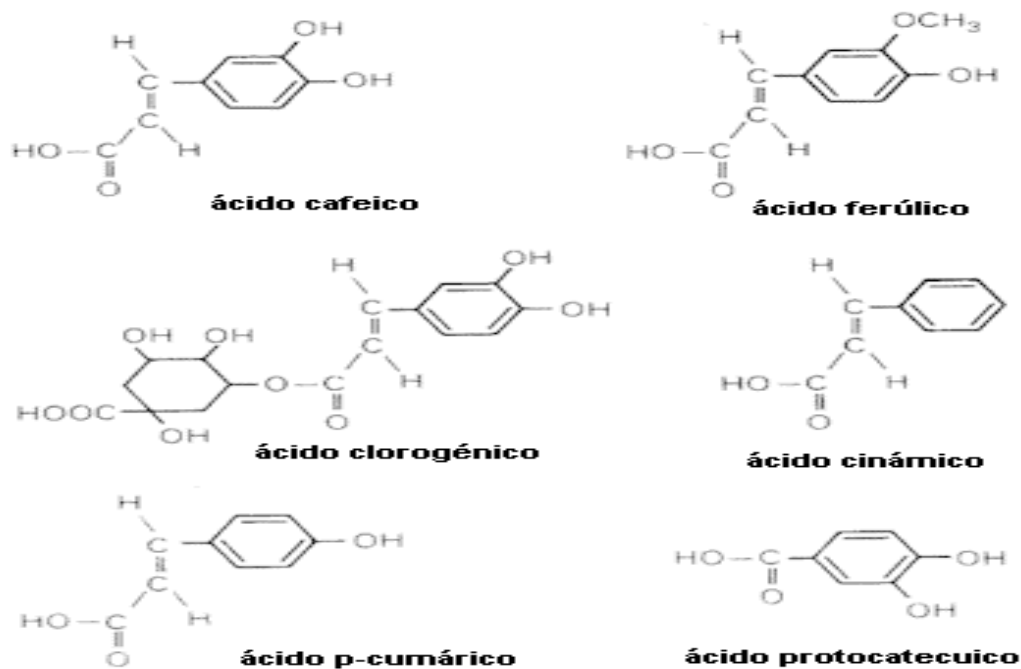


Figura 3. Estructura química de algunos agentes alelopáticos. Fuente: Sampietro y Sampietro, 2003.

### Biosíntesis de aleloquímicos

La mayoría de los agentes alelopáticos son metabolitos secundarios derivados de las rutas del acetato-mevalonato o del ácido shikímico (Figura 4); así mismo provienen de la ruta metabólica del acetato-mevalonato terpenos, esteroides, ácidos orgánicos solubles en agua, alcoholes de cadena lineal, aldehídos alifáticos, cetonas, ácidos grasos insaturados simples, ácidos grasos de cadena larga, poliacetilenos, naftoquinonas, antroquinonas, quinonas complejas y floriglucinol. Proviene de la vía metabólica del shikímico, fenoles simples, el ácido benzoico y sus derivados, el

ácido cinámico y sus derivados, cumarinas, sulfuros, glicósidos, alcaloides, cianhidrinas, algunos de los derivados de quinonas y taninos hidrolizables y condensados. Existen también compuestos (p. ej. los flavonoides) en cuya síntesis participan metabolitos de las dos rutas. Como es previsible, las concentraciones de estos compuestos en los tejidos varían según el ritmo de biosíntesis, almacenamiento y degradación. También son afectados por los balances internos de reguladores de crecimiento vegetal y otros factores bióticos y abióticos.

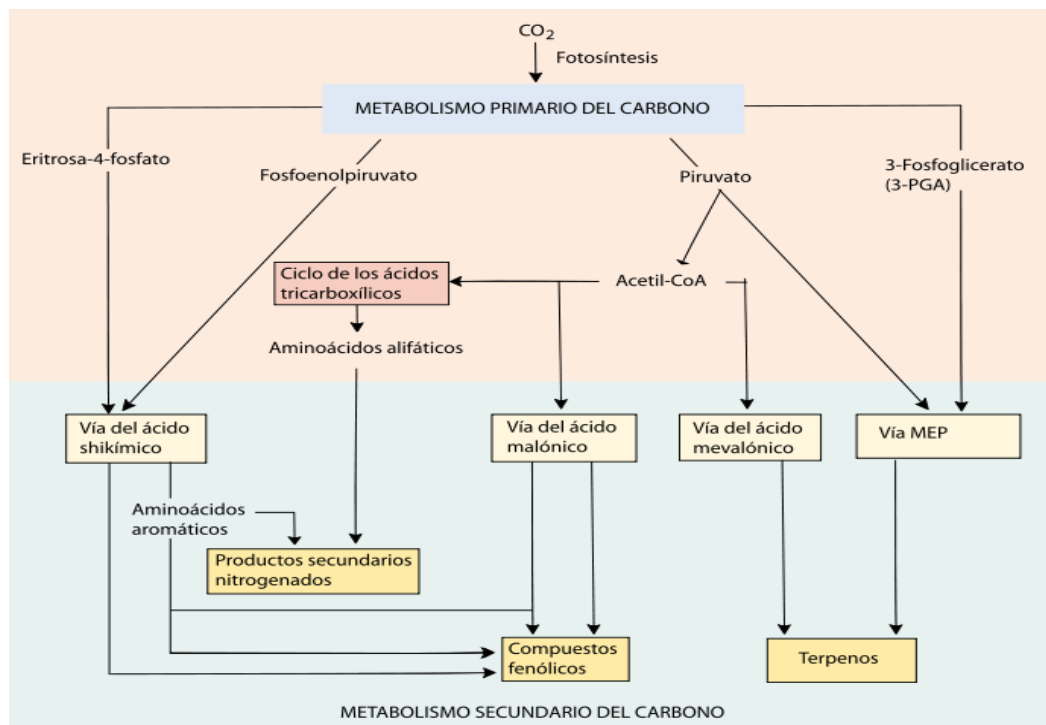


Figura 4. Ruta de la Biosíntesis de metabolitos secundarios. Fuente: Lincoln y Zeiger, 2006.

Todos los fenilpropanoides son derivados del ácidocinnámico como se muestra (Figura 5) el cual es formado a partir de la fenilalanina por acción catalítica de la fenilalanina amonioliasa (PAL), la enzima ramificada entre el metabolismo primario (proceso «shikimate») y secundario (fenilpropanoide). Se sabe que muchos compuestos fenólicos no tienen solamente una capacidad fisiológica funcional sino también potencial alelopático para las plantas.

Los terpenoides tienen distintas funciones en las plantas como hormonas (giberelinas, ácido absídico), pigmentos fotosintéticos (fitol, carotenoides), transportadores de electrones (ubiquinona, plastofatos), mediadores de la unión de

polisacáridos (fosfatos de poliprenilo) y componentes estructurales de las membranas (fitosteroles). Además de las funciones universales fisiológicas, metabólicas y estructurales muchos compuestos terpenoides específicos (comúnmente en las familias C<sub>10</sub>, C<sub>15</sub> y C<sub>20</sub>) sirven para la comunicación y la defensa. Se ha determinado que terpenoides específicos inducidos han sido correlacionados con interacciones planta-planta, planta-insecto y planta-patógeno.

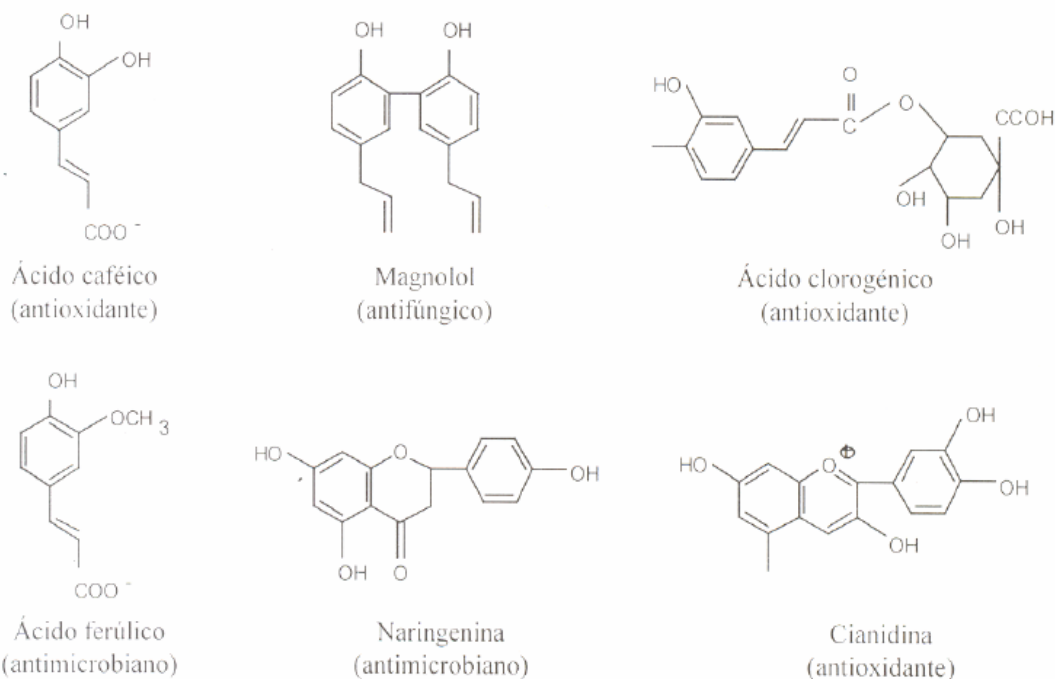


Figura 5. Estructuras de fenilpropanoides (ácidoscafeico, clorogenico y ferulico) del lignanomagnolol y flavonoides (naringinina y cianiadina) con actividad biológica. Fuente: Petersen *et al.*, 1999.

Los isoprenoides entre los cuales las estructuras más simples generan moléculas volátiles con propiedades alelopáticas sobresalen resinas de coníferas, sábila y eucalipto. Se han identificado más de 5000 compuestos nitrogenados, tipo alcaloides, como cafeína, quinina, codeína, morfina ([www.ciencia-ahora.cl](http://www.ciencia-ahora.cl)).

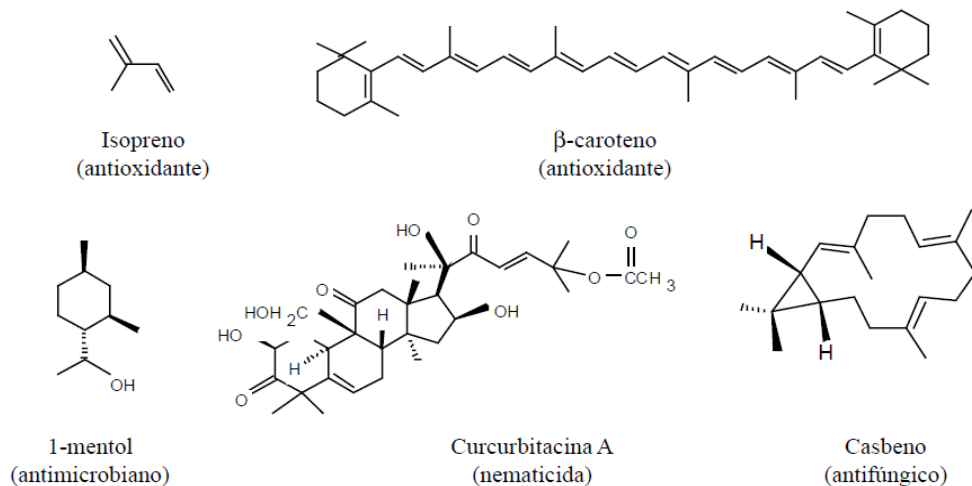


Figura 6. Estructuras de terpenoides con actividad biológica. Se muestran como ejemplos al hemiterpenoisopreno, el monoterpeneo 1-mentol, el interpenoidecucurbitacina (Fuente: Logan *et al.*, 2000).

### Modo de acción de los inhibidores alelopáticos

El estudio del modo o mecanismo de acción de los productos químicos alelopáticos y sintéticos ha producido grandes descubrimientos para los investigadores, en el caso de uno de los grupos importantes de herbicidas, las acetanilidas, los distintos compuestos tienen acción directa sobre la síntesis de proteínas en las especies susceptibles. Sin embargo, en el caso de los químicos alelopáticos, la diferencia entre los efectos primarios y secundarios ha sido difícil de establecer, y si bien en ambientes aislados pueden aclararse ciertos tópicos, casi siempre queda sin resolver el hecho de si la sustancia con el efecto verificado se encuentra en el medio natural en las concentraciones necesarias para que se registre el mismo efecto. Así mismo se indican que el efecto inhibitorio de los químicos alelopáticos sobre la germinación y el crecimiento sólo resume el resultado del efecto sobre muchos procesos individuales. Hay dos modos de acción de compuestos alelopáticos el indirecto y directo:

**Modo de acción indirecto:** Incluye los efectos ocasionados por la alteración de propiedades del suelo, del estado nutricional y de la actividad de poblaciones de organismos benéficos.

- a) **Efectos en la toma de nutrientes:** Los compuestos alelopáticos afectan en la toma de iones como el K por parte de las plantas.
- b) **Efectos sobre otras poblaciones.** El efecto sobre la actividad de una población benéfica o perjudicial, como microorganismos, insectos o nematodos.

**Modo de acción directo:** Comprende los efectos sobre varios procesos del crecimiento y el metabolismo de las plantas y se clasifican en primarios y secundarios.

- a) **Efectos primarios:** involucran procesos metabólicos como:
  - i. **Inhibición de la división celular:** En el caso de la disminución de la actividad mitótica de las raíces de plantas, por efecto de un extracto clorofórmico obtenido de *Raphanus sativus L.*
  - ii. **Inhibición de la fotosíntesis.** En lo relacionado con la apertura de estomas y la síntesis de pigmentos clorofílicos.
  - iii. **Efectos en la respiración:** Estudios han demostrado que el efecto de la juglona sobre la fosforilación oxidativa indica que los aleloquímicos pueden estimular o inhibir la respiración, proceso esencial de producción de energía metabólica. En el caso de la estimulación, la secuencia de la fosforilación oxidativa puede ser desacoplada, resultando en una ausencia en la fosforilación del ATP. Muchos compuestos aislados del suelo han mostrado su poder inhibitorio sobre la respiración de las raíces de las plantas.
  - iv. **Efectos sobre la síntesis de proteínas.** Para monitorear este tipo de efectos de los aleloquímicos, se han utilizado azúcares y aminoácidos marcados con  $^{14}\text{C}$ .
  - v. **Cambios en la permeabilidad de las membranas:** Estudios han demostrado que los compuestos fenólicos aumentan el flujo de  $\text{K}^+$  de los tejidos de las raíces; el sitio de acción inicial es el plasmalema; a bajo pH y el tonoplasto causan pérdidas masivas de  $\text{K}^+$ .
  - vi. **Inhibición de la actividad de enzimas:** Una gran variedad de enzimas es inhibida por la presencia de aleloquímicos; los taninos inhiben la

actividad de peroxidasas, catalasa, celulasa, poligalacturonasa, amilasa y otra variedad de enzimas, además compuestos que presentan aceites esenciales inhiben la asparaginasintetasa.

**b) Efectos Secundarios:** Incluyen los siguientes procesos:

- i. **Interferencia con la germinación:** Los frutos y semillas que contienen compuestos fenólicos, flavonoides o sus glucósidos, así como taninos, investigaciones muestran que estos compuestos actúan como agentes inhibidores de germinación.
- ii. **Interferencia con el crecimiento:** Estudios con extracto de *Raphanus sativus L.* ha demostrado que afecta el crecimiento de plántulas de achicoria (*Cichorium intybus L.*), así mismo lixiviados del suelo y de residuos descompuestos de *Lolium multiflorum L.*, logrados con lluvia artificial, resultaron tóxicos para el crecimiento de plántulas de avena.

### **Estudio potencial de plantas alelopáticas**

El proceso de identificación de plantas alelopáticas consiste en cinco grandes apartados (1978): estudio del área, estudio del suelo, trabajo en el laboratorio, trabajo en el invernadero y experiencias de campo (Figura 7) (Ballester y Vieitez, 1978).

1) **Estudio del área:** El primer paso que debe darse en el estudio de la alelopatía es el determinar el área objeto del trabajo, en el cual una planta, potencialmente alelopática, es la especie dominante o está en vías de serlo por eliminación de especies vecinas. Deberá estudiarse botánicamente - la zona y, a ser posible, hacer una historia bibliográfica de la misma al objeto de conocer la evolución que ha seguido a lo largo del tiempo la composición vegetal.

También, deberá definirse geográfica y climatológicamente dicha zona para conocer datos tales como precipitación anual, dirección más frecuente de los vientos, temperaturas medias anuales.

2) **Estudio del suelo:** Se debe determinar las características del suelo en cuanto a profundidad, composición, pH, macro y micronutrientes e incluso hacer un estudio de su microbiología: todo ello puede indicarnos si la especie dominante lo es porque

el suelo posee algún factor determinado que facilite su presencia, o bien, porque realmente se produce un mecanismo alelopático.

Si efectivamente, con estos estudios previos, seguimos suponiendo que el fenómeno es alelopático, se pueden iniciar los estudios de laboratorio; si fuesen negativos, habrá que pensar que la inhibición observada se produce por mecanismos competitivos.

3) **Estudio en laboratorio:** En el laboratorio se eligen semillas-test con las que se determinará la actividad biológica de la planta objeto de estudio; esta elección debe hacerse de acuerdo con lo observado en el campo, es decir, las semillas-test deben ser de las mismas especies que son inhibidas en la zona objeto de estudio, una vez elegidas, se realizan los ensayos de elongación y germinación: de extractos (como agente extractante deberá usarse siempre agua, por ser la extracción acuosa ecológicamente más significativa de la extracción orgánica), de contacto, de compuestos volátiles y el biohistograma que parcialmente ayudará a conocer la identidad química de los inhibidores. Deberá determinarse la concentración de la planta que produce una inhibición significativa: si esta concentración es muy elevada, la inhibición obtenida lo podrá ser por un efecto iónico, debido a las sales minerales presentes en el extracto acuoso, lo que no sería ya un proceso alelopático, por ejemplo se ha encontrado que la germinación de semillas de remolacha era totalmente inhibida por disoluciones que contenían 0,40 M de K<sup>+</sup> (como nitrato o cloruro), o bien 0,30 M de Na<sup>+</sup> (también como nitrato o cloruro); así mismo la germinación de las semillas de trébol es parcialmente inhibida por disoluciones 0,05 M de C1K, y totalmente por disoluciones 0.1 M. Una vez observada la inhibición, el paso siguiente es el estudio químico de los compuestos orgánicos responsables de la misma. Una de las técnicas es el estudio de compuestos fenólicos como agentes alelopáticos presentes en diferentes especies de Ericáceas han sido descritas recientemente, estas técnicas llevan a la identificación de compuestos fenólicos sencillos (fenoles), ácidos fenólicos, cinámicos, lactonas de estos ácidos.

4) **Estudio en invernadero:** Comprobados los efectos inhibidores de la planta objeto de estudio en condiciones de laboratorio, será necesario reproducirlos en invernadero, aproximándose lo más posible a las condiciones de campo, el cual estudiará el grado de penetración de los inhibidores en el suelo y se verá si éste



afecta, de alguna forma, a la estructura de aquéllos. También se tendrá en cuenta lo que se menciona anteriormente respecto a la inhibición iónica, y finalmente se estudiarán químicamente los responsables de dicha inhibición.

5) **Estudios de campo:** para determinar el papel que desempeñan los mecanismos competitivos en este último ensayo se determina si la dominancia de la especie objeto de estudio se debe simplemente a su acción alelopática, a mecanismos competitivos o bien si los dos fenómenos se dan simultáneamente.

Este es, en líneas generales, un esquema de trabajo muestra en el estudio de la alelopatía, el objeto de acortarlo, es en previsión de que la especie elegida no sea alelopática, podrá iniciarse el estudio en el laboratorio, sin haber hecho previamente un reconocimiento exhaustivo del área o de las condiciones edáficas.

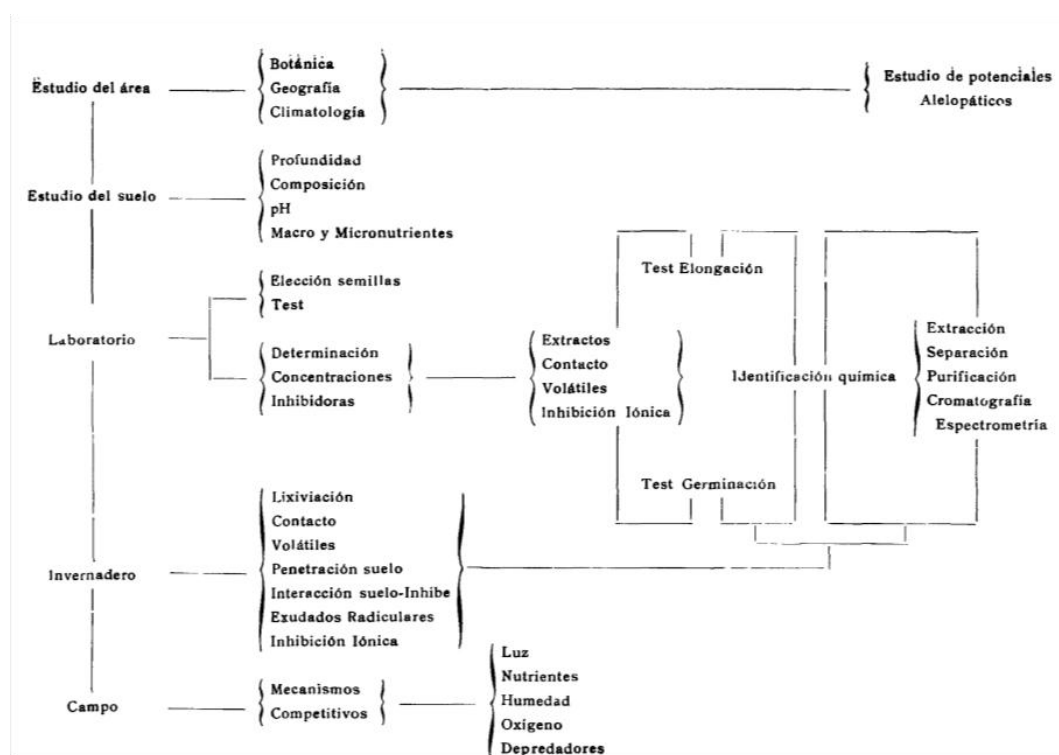


Figura 7. Estudio potencial de plantas alelopáticas.

## Generalidades del orégano

Según Martínez (2005), el orégano es originario de Europa y de Asia occidental pero se cultiva en todo el mundo, crece en pastizales secos y al lado de los bosques, sobre todo en las colinas y montañas, hasta 2000 msnm, sin embargo, se le halla en mayor abundancia entre los 1400 y 1800 msnm.

Crece espontáneamente en todo el continente euroasiático, a condición de que el clima sea entre templado y subtropical, no demasiado seco. Es fácil encontrarlo en laderas pedregosas y terraplenes, zanjas húmedas y bordes de caminos, matorrales y bosques. Resiste bien las heladas, sobre todo el orégano rojo especie *vulgare*, se extiende por la parte septentrional del área de la especie, desde Inglaterra y Escandinavia y a través de Europa, hasta Asia y Taiwan. La especie *virens*, ocupa el extremo occidental del área de la especie, desde Canarias y Azores, Península Ibérica y nordeste de África, hasta Baleares. En España, la primera predomina en el norte y nordeste y la segunda en el noroeste, centro y suroeste.

El orégano es considerado un recurso forestal no maderable que se desarrolla en las zonas áridas y semiáridas de México, en un hábitat de vegetación caracterizado por matorral desértico chihuahuense, matorral micrófilo, matorral rosetófilo, izotal matorrales halófilo y gisófilo, matorral tamaulipeco, matorral submontano, bosque de montaña, bosque de encino, bosque de pino, bosque de oyamel. El orégano se asocia con comunidades donde destacan especies como: *Agave lechugilla*, *Larrea tridentata*, *Flourenzia cerna*, *Acacia rigidula*, *Opuntia rastrera* *Patherum incanum*, *Leucophy frutesces*, *Agave* sp. (Berlanga et al., 2005).

En México se desarrollan dos especies de *Lippia* con características semejantes a las del orégano europeo (*Origanun* spp.), consideradas sustitutos de éste: *L. palmeri* Wats en Baja California, Sonora y parte de Sinaloa, y *L. graveolens* de mayor distribución en el resto de la República Mexicana. Por la calidad del aceite esencial contenido en la hoja, su explotación comercial es superior a las 4000 ton anuales y más de 90 % de la producción de la hoja se exporta a Estados Unidos de América y Japón (Huerta, 1997).

La mayor producción de orégano para fines comerciales es la de género *Lippia* cuyas especies más abundantes en México son: *Lippia berlandieri* Shauer y *Lippia*

*graveolens* H.B.K. esta producción se concentra en los estados de Durango, Guanajuato, Jalisco, Querétaro, San Luis Potosí y zacatecas (CONAFOR, 2005).

En la zona norte de Jalisco, cada año se recolectan entre 400 y 700 toneladas de orégano y existe el interés de darle valor agregado mediante la producción de aceites esenciales debido a su alta cotización en el mercado internacional (Martínez, 2005).

Por su parte Berlanga *et al.*, (2005) menciona que el orégano es considerado un recurso forestal no maderable que se desarrolla en las zonas áridas y semiáridas de México, en un hábitat de vegetación caracterizado por matorral desértico chihuahuense, matorral micrófilo, matorral rosetófilo, izotal matorrales halófilo y gisófilo, matorral tamaulipeco, matorral submontano, bosque de montaña, bosque de encino, bosque de pino, bosque de oyamel. El orégano se asocia con comunidades donde destacan especies como: *Agave lecheguilla*, *Larrea tridentata*, *Flourenzia cernua*, *Acacia rigidula*, *Opuntia rastrera* *Patherum incanum*, *Leucophy frutences*, *Agave* sp.

### **Composición química del orégano**

En cuanto a la composición química del orégano se han identificado flavonoides como la apigenina y la luteolina, agliconas, alcoholes alifáticos, compuestos terpénicos y derivados del fenilpropano (Justesen, 2001). En *O. vulgare* se han encontrado ácidos coumérico, ferúlico, caféico, r-hidroxibenzóico y vainillínico (Milos, *et al.*, 2000). Los ácidos ferúlico, caféico, r-hidroxibenzóico y vainillínico están presentes en *O. onites* (Gerothanassis, 1998). Los aceites esenciales de especies de *Lippia* contienen limoneno, carvacrol,  $\beta$ -cariofileno, r-cimeno, canfor, linalol, a-pineno y timol, los cuáles pueden variar de acuerdo al quimiotipo (Pascual *et al.*, 2001). En extractos metanólicos de hojas de *L. graveolens* se han encontrado siete iridoides minoritarios conocidos como loganina, secologanina, secoxiloganina, dimetilsecologanosido, ácido logánico, ácido 8-epi-logánico y carioptosido; y tres iridoides mayoritarios como el ácido carioptosídico y sus derivados 6'-O-p-coumaroil y 6'-O-cafeoil Rastrelli, (1998). También contiene flavonoides como naringenina y pinocembrina, lapachenol e icterogenina.

## Usos del orégano

Por su parte Arcila *et al.*, (2005) menciona los diferentes usos del orégano, se usa como condimento de alimentos, también en la elaboración de cosméticos, fármacos y licores; motivos que lo han convertido en un producto de exportación. Adicionalmente, la organización mundial de la salud estima que cerca del 80 % de la población en el mundo usan extractos vegetales o sus compuestos activos, por ejemplo los terpenoides, para sus cuidados primarios de salud.

## Potencial Antimicrobiano

Existen múltiples estudios sobre la actividad antimicrobiana de los extractos de diferentes tipos de orégano. Se ha encontrado que los aceites esenciales de las especies del género *Origanum* presentan actividad contra bacterias gram negativas como *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Yersinia enterocolitica* y *Enterobacter cloacae*; y las gram positivas como *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Listeria monocytogenes* y *Bacillus subtilis*. Tienen además capacidad antifúngica contra *Cándida albicans*, *C. tropicalis*, *Torulopsis glabrata*, *Aspergillus niger*, *Geotrichum* y *Rhodotorula*; pero no contra *Pseudomonasa aeruginosa*. Se ha evaluado la actividad antimicrobiana de los componentes aislados, así como el del aceite esencial.

Los fenoles carvacrol y timol poseen los niveles más altos de actividad contra microorganismos gram negativos, excepto para *P. aeruginosa*, siendo el timol más activo. Otros compuestos, como el g-terpineno y r-cimeno no mostraron actividad contra las bacterias estudiadas. Los valores de la concentración mínima inhibitoria (CMI) para los aceites esenciales se han establecido entre 0.28-1.27 mg/ml para bacterias, y de 0.65-1.27 mg/ml para hongos.

En el caso de *E. coli* O157:H7 existe una relación concentración/efecto a 625 ml/L con actividad bactericida después de 1 minuto de exposición al aceite, mientras que después de 5 minutos se requirieron 156 y 312 ml/L. Dicha acción antimicrobiana posiblemente se debe al efecto sobre los fosfolípidos de la capa externa de la membrana celular bacteriana, provocando cambios en la composición de los ácidos grasos. Se ha informado que las células que crecen en

concentraciones subletales de carvacrol, sintetizan dos fosfolípidos adicionales y omiten uno de los fosfolípidos originales.

Se ha demostrado que para los aceites de *L. multiflora* y *L. chevalieri*, los valores de CMI y de la concentración mínima bactericida (CMB) son más bajos para inhibir los microorganismos gram negativos (*Salmonella enterica*, *Escherichia coli*, *Shigella disentería*, *Proteus mirabilis*, *Enterococcus faecalis*) que para los gram positivos (*Staphylococcus camorum*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria innocua*, *Bacillus cereus*). *L. multiflora* presenta alta actividad antimicrobiana debido a su alto contenido de timol y sus derivados. *L. chevalieri* contiene un alto porcentaje de p-cimeno, el cual ejerce un efecto antagónico con el carvacrol y el timol, lo que explica su baja actividad antimicrobiana.

El extracto etanólico de una línea clonal de orégano inhibió la acción de *Listeria monocytogenes* en caldo y otros productos de carne. También se ha encontrado que el aceite esencial de orégano es muy valioso en la inhibición de *E. coli* O157:H7. Otros microorganismos como *Acinetobacterbaumanii*, *Aeromonas veronii*biogroup *sobria*, *Candida albicans*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella entérica* subsp. *entérica serotipety phimurium*, *Serratia marcescens* and *Staphylococcus aureus*, se han logrado inhibir gracias a la presencia de extractos de orégano (2 % v/v). Estos estudios tienen importantes implicaciones para la industria alimentaria.

### **Efecto antiparasítico**

El aceite esencial de *L. multiflora* es considerado un agente efectivo contra la infestación por piojos (*Pediculus humanuscorporis* y *Pediculus humanuscapitatis*) y por el artrópodo *Sarcoptes scabiei*; incluso en mayor grado que el bencil benzoato, la droga más comúnmente empleada contra estos parásitos. En esta especie de orégano, los componentes mayoritarios en su aceite son el cimeno (8 %), limoneno (15 %), linalol (34 %), geraniol (20 %) y timol (4 %). Entre los compuestos monoterpénicos volátiles presentes comúnmente en aceites esenciales, es conocida la capacidad del terpineol y del  $\alpha$ - y  $\beta$ -pineno para matar piojos, aunque estos compuestos sólo se encuentran en bajas cantidades en dicho aceite esencial (3%, 1 % y 4 % respectivamente). El aceite esencial de *L. multiflora* posee actividad

antimalaria en diluciones tan altas como 1/8000 y 1/12000 lo que representa una alternativa interesante contra esta enfermedad debido a su baja toxicidad. Los extractos de *L. berlandieri* poseen actividad anti giardia elevada, con una mortalidad de los trofozoitos del 90%, mayor que la causada por timidazol (79 %), la droga típica usada para el tratamiento de la giardiasis.

### **Acción Estrogénica**

Los flavonoides son un grupo de fitoquímicos que poseen actividad hormonal. La habilidad de proteger contra la osteoporosis y enfermedades cardiovasculares, acciones atribuidas a estrógenos endógenos como el  $17\beta$ -estradiol, ha fundamentado la acción estrogénica de los flavonoides. Por otro lado, algunos de ellos presentan actividad antiestrogénica pues han demostrado prevenir la formación de tumores de mama.

Se ha encontrado que algunos alimentos, hierbas y especias contienen una gran cantidad de sustancias con actividad estrogénica. El orégano (*O. vulgare*) es una de las seis especies con más alta capacidad para ligar progesterona, junto con la verbena, la cúrcuma, el tomillo, el trébol rojo y la damiana. Además se cree que el orégano puede poseer una ligera actividad estrogénica *in vivo* cuando es consumido a través de los alimentos. Sin embargo, se requiere más investigación para determinar con exactitud si los componentes del orégano poseen actividad estrogénica.

### **Capacidad antígenotóxica**

La dieta es una fuente potencial de sustancias carcinogénicas a las que se exponen los humanos. Esto ha provocado un gran interés en buscar fuentes de nutrientes y de no-nutrientes que ayuden a prevenir o contrarrestar el efecto adverso que pudiesen ocasionar los aditivos sintéticos, tóxicos naturales, las sustancias generadas durante el procesamiento y los contaminantes accidentales. Se ha encontrado que algunos monoterpenos presentes en los aceites esenciales son inhibidores efectivos de la carcinogénesis. El aceite esencial de orégano tiene la capacidad de inducir un incremento en la actividad de la enzima detoxificante glutathione S-transferasa (GST) cuando se administra oralmente, lo cual

sugiere un potencial anticarcinogénico. Los monoterpenos con diferentes grupos funcionales tales como hidrocarburos, aldehídos y cetonas son inhibidores *in vitro* de las monooxigenasas CYP2B1, por lo que pueden alterar la biotransformación de sustancias tóxicas. Algunos modelos animales para cáncer han demostrado que varios monoterpenos poseen propiedades anticarcinogénicas actuando a diferentes niveles moleculares y celulares. Por ejemplo el carvacrol (50 y 100 mM) reduce en 25 y 35 %, respectivamente, el número de células de melanoma murino (B16F10), línea celular con un potencial metastásico elevado. Los extractos acuosos de *O. vulgare* y *O. majorana* presentaron importantes efectos antimutagénicos. La galangina y la quercetina, obtenidas de extractos metanólicos de hojas de orégano (*O. vulgare*), son flavonoides con actividad antimutagénica contra sustancias encontradas comúnmente en los alimentos. Por ejemplo, en nuestro laboratorio hemos encontrado un efecto protector del aceite esencial de orégano mexicano (*L. graveolens*) en la cepa TA98 de *S. thypimurium*, contra 1-nitropireno, con una reducción de la mutagenicidad del 46 % a una dilución de  $1.25 \times 10^{-5}$ . La cantidad de galangina y quercetina requerida para inhibir el 50 % de la mutagenicidad de 20 ng del carcinógeno Trp-P-2 fue de 0.12 y de 0.81 mg, respectivamente, mientras que los extractos de hexano, cloruro de metilo y acetato de etilo de orégano presentaron la mayor actividad inhibitoria (68-72 %).

El tectol y la lipidoquinona presentes en *L. sidoides* mostraron inhibición *in vitro* contra células humanas de leucemia promielocítica (HL60) y leucemia linfoblástica aguda (CEM). En *L. dulcis*, (+)-animol inhibe células de melanoma murino (B16F10). También las células HeLa fueron muy sensibles a las flavonas como la eupafolina. Se sabe que los patrones de sustitución en los anillos A y B tienen diferente influencia en la actividad contra diferentes células tumorales. El aceite de *O. vulgare* (dilución hasta 1:10000) presentó altos niveles de citotoxicidad contra células HeLa y de cáncer ovárico humano. También *O. majorana* presenta actividad antitumoral y citotóxica contra líneas tumorales.

Por otro lado, varios estudios clínicos han demostrado que *Oregano spp* presenta alergenicidad, por lo que se debe evitar el consumo excesivo de *O vulgare* y *O. majorana* durante el embarazo además de sus propiedades abortivas.

## Usos y aplicaciones industriales

El orégano (*O. vulgare*) tiene usos medicinales, culinarios y cosméticos. Es utilizado en forma fresca y seca en la cocina mediterránea y de América Latina. Las especies de *Lippia* tiene usos tradicionales y farmacológicos tales como culinarios, analgésicos, antiinflamatorios, antipiréticos, sedantes, antidiarréico, tratamiento de infecciones cutáneas, antifúngico, tratamiento de desórdenes hepáticos, diurético, antihipertensivo, remedio de desórdenes menstruales, antimicrobiano, repelente, antimalaria, antiespasmódico, tratamiento de enfermedades respiratorias, de sífilis y gonorrea, contra la diabetes, abortivo y anestésico local.

Debido a la capacidad antioxidante de los extractos acuosos del orégano, se sugiere que éstos pueden ser empleados como sustitutos de los antioxidantes sintéticos. La peroxidación lipídica es uno de los principales problemas en la industria de los cárnicos, durante el procesamiento, la preparación y el almacenamiento. En un intento por disminuir este problema se ha probado el efecto antioxidante de hojas, flores, extractos y aceite esencial de orégano con resultados positivos. Otra forma interesante de evitar la peroxidación de los ácidos grasos en la carne es utilizando los aceites esenciales del orégano como suplemento en la alimentación de los animales destinados para consumo humano.

## Actividad insecticida

El aceite esencial de *O. syriacum* contiene un alto nivel de carvacrol (61 %), el cual posee una concentración letal media (LC50) = 37.6 mg/L, seguido del timol (21.8%) con un LC50= 36 mg/L contra larvas del mosquito *Culex pipiens*. Entre otros compuestos activos se tiene a la mentona, el 1,8-cineol, el linalol y el terpineol. Los aceites esenciales de *O. majorana* y *O. compactum* poseen una alta actividad insecticida contra huevos y adultos de *Mayetiola destructor*.

Los aceites esenciales de plantas representan una alternativa para la protección de los cultivos contra plagas. Algunos aceites esenciales y sus componentes poseen un amplio espectro de actividad contra insectos, ácaros, hongos y nemátodos, tales como *Rhizopertha dominica*, *Tribolium castaneum*, y *Sitophilus oryzae*, plagas que atacan granos almacenados y contra *Musca domestica*.



## Formas de obtención de extractos

Para la extracción de compuestos como (taninos, terpenoides, alcaloides y fenoles) la clave son los solventes de acetona: agua en relación (7:3), se pesan 5 g de muestra fresca, se colocan en matraces de 250 mL y se añaden 250 mL de acetona-agua (7:3) y este proceso se lleva a cabo en ausencia de luz, la temperatura que no debe exceder los 60 °C, agitación constante.

Otra técnica descrita por Laynez y Mendez (2007) es la colección del follaje y se deja secar a temperatura ambiente por 24 h y después en estufa (72 h, 50 °C), posteriormente se prepara el extracto al 15 % p/v, cortando el follaje en trozos no mayores a 3 cm y se licua en agua sin llegar a pulverizar, enseguida el extracto al 15 % p/v se deja reposar por 48 h en recipientes de vidrios tapados y finalmente se separa el líquido de la parte sólida a través de un proceso de filtrado (papel filtro Whatman).

### Otras técnicas

Otras técnica para la obtención de sustancias alelopáticas empleada es la menciona por Zamorano (2006) aislamiento de compuestos aleloquímicos y el descubrimiento de su estructura; entre tales técnicas se encuentra la Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC, por sus siglas en inglés); además de la Técnica *in vitro* en donde las propiedades alelopáticas de una especie pueden ser manipuladas en el laboratorio, utilizando el cultivo *in vitro*, merced al aumento en la cantidad de los metabolitos secundarios responsables de la alelopatía (Gómez *et al.*, 2003).

### Técnicas de evaluación del efecto de los extractos

Una de las formas más sencillas de examinar las propiedades alelopáticas de una especie es mediante bioensayos, en los que se cuantifica la germinación y/o emergencia de plántulas (Zamorano, 2006).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Ubicación del experimento**

El presente trabajo se realizó en la cámara bioclimática del departamento de Parasitología Agrícola, ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro 25° 21' 08.07" Latitud Norte y 101° 01' 37.89" Longitud Oriente, la cual se localiza en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Bajo condiciones controladas de temperatura que oscila entre los 36 °C como máximo y 5°C como mínima, tiene una humedad relativa de 16 % como mínima y 45 % como máxima aproximadamente.

### **Obtención de las semillas**

Se utilizó semilla de Chile y tomate de venta comercial, siendo estas garantizadas y certificadas, libre de patógenos, tales como hongos o enfermedades.

### **Obtención de los aceites.**

Se utilizaron metabolitos secundarios purificados de orégano en aceites como son; timol y carvacrol, procedentes del Estado de Saltillo, Coahuila.

### **Elaboración del bioensayo**

El 6 de mayo de 2011 se inició el experimento y se terminó el 25 de mayo del mismo año. Se prepararon las concentraciones a emplear de 2000, 1500, 1000, 600, 300 y 100 ppm, se depositaron 10 semillas por cada caja petri, teniendo 6 tratamientos y un testigo (agua) con 3 repeticiones, se regaron cada tercer día durante todo el experimento. Se realizaron cuatro muestreos, el primero a los 10 días después de establecido el experimento y los otros 3 cada tercer día. Se realizó el conteo en cada muestreo para saber el número de semillas germinadas.

### **Diseño experimental**

En este trabajo de investigación el diseño utilizado fue un Completamente al Azar, con 6 tratamientos y un testigo, con 3 repeticiones, para analizar los resultados obtenidos se utilizó el paquete de diseños experimentales de la Universidad Autónoma de Nuevo León-Facultad de Agronomía (Olivares, 1994).

### **Variables**

Las variables que se evaluaron fueron el número de semillas germinadas por caja petri.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se muestran los resultados de germinación de semillas de chile y tomate, en condiciones de laboratorio. El Diseño fue completamente al azar (Siete tratamientos con cuatro repeticiones). Se uso el SAS para el análisis (S.A.S, 2002).

### Análisis de emergencia de semilla de chile con Timol

Como puede observarse en el cuadro 2, hubo diferencia altamente significativa entre los tratamientos empleados con un 99.99 % de confianza comparados con el testigo. De acuerdo a la  $r^2$  hay una variación de 95 % en los datos de acuerdo a los tratamientos utilizados, mientras que la variación del 5 % restante, aunque esto depende de factores no considerados en el experimento.

El coeficiente de variación es de 14.7, es alto lo cual nos muestra la diferencia que existe entre los tratamientos.

Cuadro 2. ANOVA de la semilla germinada de chile con Timol

FV	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado media	F-Valor	Pr > F
Tratamientos	6	28249.81214	4708.30202	75.55	<.0001
Error	21	1308.67750	62.31798		
Total	27	29558.48964			
R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Media		
0.955726	14.76828	7.894174	53.45357		

En el análisis de medias podemos observar que el testigo mantiene su germinación total como se esperaba y que hay un comportamiento similar en 100, 300 y 600 ppm ya que mantienen en un rango muy similar la germinación de semilla

de chile con el metabolito secundario timol y estadísticamente no hay diferencia entre ellas. Para el caso de 2000 ppm la germinación es baja e inhibe el desarrollo de acuerdo a la medio obtenida de 39.25. Las concentraciones de 1000 y 1500 ppm se comportan similar de acuerdo a las medias obtenidas, mostrando valores muy bajos de 11.75 y 9.92 respectivamente (Cuadro 3).

La emergencia de semillas de chile tuvo mejor a 100, 600 y 300 ppm de timol, con diferencias altamente significativas con el resto de las concentraciones. El testigo tuvo mejor emergencia, esto nos indica que hubo un buen control del ensayo con una  $R^2$  de 0.95 a concentraciones altas se observa inhibición de la emergencia de las semillas.

En comparación con el testigo ningún tratamiento mejoro la germinación ya que todos se mantuvieron por debajo del testigo, lo que nos indica que el timol en la germinación de semilla de chile inhibe el desarrollo y evita que este germine adecuadamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Medias de la semilla germinada de chile con Timol (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

Agrupamiento Tukey	Media	Tratamiento
A	100	0 (Testigo)
B	79.75	100
B	69.50	600
B	64.00	300
C	39.25	2000
D	11.75	1000
D	9.92	1500

### Análisis de emergencia de semilla de chile con Carvacrol

Como puede observarse en el cuadro 4, de acuerdo a la  $r^2$  hay una variación de 95 % en los datos de acuerdo a los tratamientos utilizados, mientras que la variación del 5 % restante depende de factores no considerados en el experimento.

El coeficiente de variación es de 24.2, es alto y determina la diferencia que existe entre los tratamientos.

Cuadro 4. ANOVA de la semilla germinada de chile Carvacrol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	47856.92857	7976.15476	63.92	<.0001
Error	21	2620.50000	124.78571		
Total correcto	27	50477.42857			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Media
0.948086	24.20906	11.17075	46.14286

La concentración de 100 ppm estadísticamente se comporto similar al testigo, entrando dentro del mismo rango de germinación. Las concentraciones de 300 y 600 ppm se comportan similares de acuerdo a las medias encontradas. Para el caso de las concentraciones de 1000, 1500 y 2000 ppm no se encontró germinación y hubo un comportamiento estadístico similar de acuerdo al análisis de medias(Cuadro 5).

El testigo mostro el porcentaje total de germinación de semillas de timol, caso contrario a las concentraciones empleadas con timol en donde ninguna concentración alcanzo el 100 % de germinación de las semillas de chile, mostrando un efecto inhibitorio (Cuadro 5).

Cuadro 5. Medias de la semilla germinada de chile con carvacrol (Tukey  $P \leq 0.05$ )

Agrupamiento Tukey	Media	Tratamiento
A	100	0 (Testigo)
A	88.25	100
B	68.25	300
B	66.50	600
C	0	1000
C	0	1500
C	0	2000

### Análisis de emergencia de semilla de Tomate con Timol

Como puede observarse en el cuadro 6, podemos concluir que hubo diferencia altamente significativa entre los tratamientos empleados con un 99.99 % de confianza comparados con el testigo. De acuerdo a la  $r^2$  hay una variación de 95 % en los datos de acuerdo a los tratamientos utilizados, mientras que la variación del 5 % restante depende de factores no considerados en el experimento.

El coeficiente de variación es de 5.5, es muy bajo, nos muestra que existe poca variabilidad entre los tratamientos.

Cuadro 6. ANOVA de la semilla germinada de tomate timol.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	7249.714286	1208.285714	84.02	<.0001
Error	21	302.00000	14.380952		
Total correcto	27	7551.714286			
R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Media		
0.960009	5.518827	3.792223	68.71429		

El testigo mostro su 100 % de germinación, no siendo así en ningún caso de las concentraciones de timol en semillas de tomate ya que solo alcanzaron un 77.5 % de germinación en las concentraciones mas bajas comportándose similar estadísticamente a la dosis de 100, 300 y 2,000 ppm, habiendo traslape entre 1,000

y 1500 ppm obteniendo mas de un 50 % de germinación. La concentración de 600 ppm mostro los menos porcentajes de mortalidad comportándose estadísticamente diferente a los demás tratamientos.

Cuadro 7. Medias de la semilla germinada de tomate con Timol (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

Agrupamiento Tukey	Media	Tratamiento
A	100	0 (Testigo)
B	77.50	300
B	71.50	100
B	71.50	2000
C	59.00	1000
DC	51.50	1500
D	50.00	600

### **Análisis de emergencia de semilla de Tomate con Carvacrol**

De acuerdo a la  $r^2$  hay una variación de 95 % en los datos de acuerdo a los tratamientos utilizados, mientras que la variación del 5 % restante depende de factores no considerados en el experimento. El coeficiente de variación es de 10.8, existe un poco variabilidad entre los tratamientos.

Cuadro 8. ANOVA de la semilla germinada de tomate Carvacrol

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	19325.35714	3220.89286	78.44	<.0001
Error	21	862.31000	41.06238		
Total correcto	27	20187.66714			
R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Media		
0.957285	10.89398	6.407994	58.82143		

El carvacrol se comporto muy similar en la germinación de tomate con timol, lo cual nos indica que causa mayores efectos inhibitorios los metabolitos secundarios sobre tomate, siendo este mas susceptible a la inhibición de la germinación.



Cuadro 9. Medias de la semilla germinada de tomate con carvacrol (Tukey  $P \leq 0.05$ )

Agrupamiento Tukey	Media	Tratamiento
A	100	0 (Testigo)
B	67	100
B	66	600
B	65	300
CB	59	1000
C	49.75	1500
D	5	2000

El comportamiento del testigo siempre fue el mejor ya que para los dos cultivos (chile, tomate) germinó el 100 % de las semillas empleadas.

Los metabolitos secundarios se pueden emplear como herbicida preemergente debido a los resultados obtenidos donde se observa claramente una inhibición.

## CONCLUSIÓN

La alelopatía tendrá un gran impacto sobre los sistemas de producción agrícola, tanto en aquellos sistemas de bajos insumos como en los de altos insumos. Es poco probable que la alelopatía por sí sola pueda reemplazar totalmente a otras prácticas de control de malezas ya que su efectividad es influenciada por muchos factores. Sin embargo, una reducción del uso de los herbicidas será un beneficio para los agricultores y también reducirá el impacto en el ambiente. En la actualidad no hay disponibles cultivares comerciales con propiedades alelopáticas pero existe la posibilidad de obtener nuevos cultivares alelopáticos regulando su capacidad para producir compuestos alelopáticos.

Se observó que a dosis bajas la germinación se comporta casi como el testigo; sin embargo, hay inhibición lo que nos indica que los metabolitos secundarios de timol y carvacrol pueden ser empleados como herbicidas preemergentes y a la hora de establecer el cultivo ya no causen ningún efecto negativo en la germinación.

## LITERATURA CITADA

- An, M.; Pratley, J. and Haig, T. 2000. Allelopathy: from concept to reality. <http://me.csu.edu.au/agronomic/papers/314/.Html>.
- Ávila, I.; Murillo W.; Durango, E.; Torres, F.; Quiñones, W.; Echeverri, F. 2007. Efectos Alelopáticos Diferenciales de Extracto de Eucalipto. *Scientia et Technica* Año XIII, No 33. UTP. ISSN 0122-1701. Mayo de 2007.
- Azofeifa, A. y Moreira, M. 2008. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile Jalapeño (*Capsicum annum* L. CV. HOT) en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 32(1): 19-29. ISSN: 0377-9424 / 2008.
- Ballester, A. y Vieitez, A. 1978. Estudio De Potenciales Alelopáticos en Comunidades Vegetales. *Anales Del Instituto Botánico A. J. Cavanilles*. Tomo XXXIV. Vol. II
- Bedin, C.; Mendes, L.; Trecente, V.; Silva, J.; 2006. Efeito Alelopatico de Extracto de *Eucalyptus critriodora* Na Germinação de Sementes de Tomate (*Lycopersicum esculentum* M.) *Revista científica eletrônica de agronomia – issn: 1677-0293*
- FAO, 2004. Manejo de Malezas para países en desarrollo (Addendum I). *Estudios FAO: Producción y protección vegetal-120 Add.1 2004*. 318 P. ISBN: 9253050195
- García, I.; Miranda, G.; González, L.; Nieto F. 2006. Estudios preliminares de la fermentación de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.). *Investigación Universitaria Multidisciplinaria - Año 5, N°5, diciembre 2006*.
- Gómez, C.; Arango R.; Arévalo, P.; Delgado, C.; Guzmán, M.; León, S.; Marentes, D.; Correa, E.; Vargas S. 2003. Algunos Estudios de alelopatía de *Rumex crispus* L. *Polygonum segetum* HBK., en Colombia. *Revista Corpoica*. Vol. 4. N°1. Septiembre 2003.
- Hernández, J.; García, R.; Valdivia, R.; Omaña, J. 2004. Evolución de Competitividad y Rentabilidad del Cultivo del Tomate Rojo (*Lycopersicum esculentum* L.) en Sinaloa, México. *Agrociencia* 38: 431-436.

[http://es.wikipedia.org/wiki/Metabolitos\\_secundarios\\_de\\_las\\_plantas](http://es.wikipedia.org/wiki/Metabolitos_secundarios_de_las_plantas)

<Http://www.cadenahortofruticola.org/admin/bibli/311alelopatia.pdf> Fecha de consulta:  
28/10/2011

<Http://www.ciencia-ahora.cl/Revista16/05Alelopatia.pdf>

<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/solanaceae/nicotiana-glauca/fichas/ficha.htm>

Instituto Cristiano De Promoción Campesina. 1998. Alelopatia. Área De Técnicas Agropecuarias Sostenibles.

Isaza, J.; Jiménez, F.; Galván, J.; Restrepo, J. 2007. Actividad Alelopática de Algunas Especies de los Géneros *Miconia*, *Tibouchina*, *Henriettella*, *Tococa*, *Aciotis* y *Bellucia* (Melastomataceae). Scientia Technica Año XIII, No 33, Mayo de 2007. UTM. ISSN 0122-1701.

Putnam, A.R.; Duke, W.B. 1978. Allelopathy in Agroecosystems, Ann. Rev. Phytopathol.16: 431-451.

S.A.S. Institute. 2002. The SAS System for Windows, Release 9.0. SAS, Institute, Cary N. C. U.S.A.

Sampietro, D. y Sampietro A. 2003. Alelopatía: Concepto, Características, Metodología de Estudio e Importancia; Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia; Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel Tucumán, Argentina.

Secretaria de Información Agroalimentaria y Pesca SIAP. 2010. Chile Verde [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=138&Itemid=7725/10/2011](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=138&Itemid=7725/10/2011)

Secretaria de Información Agroalimentaria y Pesca SIAP. 2010. Tomate Rojo (jitomate) [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=264&Itemid=9925/10/2011](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=264&Itemid=9925/10/2011)

Sobrero, M.; Ochoa, M.; Chaila S. 2004. Potencial Alelopático de *Wedelia glauca*: Efecto sobre especies hortícolas. Planta Daninha, Viçosa-MG, v.22, n.1, p.71-75.

Torres, S.; Puente M.; De Cupere F.; Puerto M.; Rodríguez M. 2003. Efecto Alelopático del Boniato (*Ipomoea batatas* L. (Lam.), sobre la germinación y crecimiento de cultivos y malezas. Centro Agrícola, año 30, no. 1.

Vargas, J. y Martínez, M.; 2004. Un Modelo Econométrico del Mercado del Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en México, 1970-1994. Vol. 8 Núm. 2 pp. 115-133.

[www.biologia.edu.ar/plantas/alelopatia.htm](http://www.biologia.edu.ar/plantas/alelopatia.htm)

Zamorano, C. 2006. Alelopatía: Un Nuevo Reto en la Ciencia de las Arvenses en el Trópico. *Agron.* 14(1): 7-15, Agosto 2006.

Zarate, J.; García R.; Zavala, F.; Pérez, Soto, M. 2006. Fitotóxicidad de los extractos de *Calia secundiflora* (Ort.) Yakovlev. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 12(2):197-202, 2006.

# **A P E N D I C E**

Cuadro A1. Porcentajes de germinación de semilla de chile con el aceite timol (*Capsicum annum L.*)

<b>Concentraciones</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>
0	100	100	100	100
100	73	80	83	83
300	50	63	70	73
600	57	67	77	77
1000	3.3	6.7	17	20
1500	3.3	6.7	6.7	23
2000	27	40	43	47

M1= Muestreo uno; M2= Muestreo dos; M3= Muestreo tres; M4= Muestreo cuatro.

Cuadro A2. Porcentajes de germinación de semilla de chile con el aceite carvacrol (*Capsicum annum L.*)

<b>Concentraciones</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>
<b>2000 ppm</b>	0	0	0	0
<b>1500 ppm</b>	0	0	0	0
<b>1000 ppm</b>	0	0	0	0
<b>600 ppm</b>	10	19	25	26
<b>300 ppm</b>	15	18	24	25
<b>100 ppm</b>	25	27	27	27
<b>Testigo</b>	7	8	8	8

M1= Muestreo uno; M2= Muestreo dos; M3= Muestreo tres; M4= Muestreo cuatro.

Cuadro A3. Porcentajes de germinación de semilla de chile con el aceite timol (*Lycopersicum esculentum* L.)

<b>Concentraciones.</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>
<b>2000 ppm</b>	19	22	22	23
<b>1500 ppm</b>	14	16	16	16
<b>1000 ppm</b>	16	17	19	19
<b>600 ppm</b>	14	15	15	16
<b>300 ppm</b>	22	23	23	25
<b>100 ppm</b>	20	22	22	22
<b>Testigo</b>	7	8	8	8

M1= Muestreo uno; M2= Muestreo dos; M3= Muestreo tres; M4= Muestreo cuatro

Cuadro A4. Porcentajes de germinación de semilla de chile con el aceite carvacrol (*Lycopersicum esculentum* L.)

<b>Concentraciones.</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>
<b>2000 ppm</b>	1	1	2	2
<b>1500 ppm</b>	12	13	16	19
<b>1000 ppm</b>	13	18	19	21
<b>600 ppm</b>	17	20	21	21
<b>300 ppm</b>	19	19	20	20
<b>100 ppm</b>	20	20	20	20
<b>Testigo</b>	7	8	8	8

M1= Muestreo uno; M2= Muestreo dos; M3= Muestreo tres; M4= Muestreo cuatro.