

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Efectividad de la aplicación de productos como adyuvantes potencializadores de herbicidas para el control de arvenses en el cultivo de limón en Guerrero

Por:

GERARDO AVALOS DE LOS SANTOS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Efectividad de la Aplicación de Productos como Adyuvantes Potencializadores de
Herbicidas para el Control de Arvenses en el Cultivo de Limón en Guerrero

Por:


GERARDO AVALOS DE LOS SANTOS


TESIS

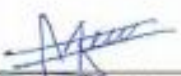
Presentada como requisito parcial para obtener el título de


INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO


Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Agustín Hernández Juárez
Asesor Principal Interno


Dr. José Luis Arispe Vázquez
Asesor Principal Externo


Dr. Juan Mayo Hernández
Coasesor


Dr. Epifanio Castro del Ángel
Coasesor


Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2024

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Gerardo Avalos de los Santos

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) por ofrecerme la oportunidad de ser parte de esta destacada institución y por el inestimable respaldo recibido durante mi trayectoria académica. Mi tiempo en esta universidad ha sido crucial para mi crecimiento tanto personal como profesional, y estoy verdaderamente agradecida por todo lo que he podido aprender y alcanzar gracias a esta experiencia.

Desde el inicio de mi etapa en UAAAN, he disfrutado de un entorno académico extremadamente enriquecedor y motivador. La excelencia en la enseñanza, la dedicación de los profesores y el compromiso con los estándares más altos han sido fundamentales para mi formación.

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mis padres, cuyo apoyo incondicional, amor y sacrificio han sido fundamentales para alcanzar este logro académico. Mi agradecimiento se extiende a mi familia por su paciencia y comprensión a lo largo de este extenso viaje, así como a mis amigos, quienes han estado a mi lado con constante aliento. También deseo expresar mi sincero agradecimiento a mis asesores, cuya orientación experta y dedicación han sido esenciales para la culminación de este proyecto. Sin la firme creencia y el apoyo de todos ustedes, este logro no habría sido posible.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Declaración de no plagio	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
RESUMEN	x
INTRODUCCIÓN	1
Justificación	2
Hipótesis	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Limón en México	3
Producción de Limón a Nivel Mundial.....	4
Producción de Limón a Nivel Nacional	5
Producción de Limón a Nivel Estatal	5
Variedad de Limón Colimex	6
Variedad de Limón LISE	6
Plagas, Enfermedades y Arvenses en el Cultivo de Limón.....	7
Agricultura Convencional	9
Arvenses Resistentes al Glifosato	9
Tipos de Arvenses	10
Metabolitos de plantas.....	10
Bioherbicidas y Herbicidas Químicos	11
Potencializadores de Herbicidas	12

MATERIALES Y MÉTODOS	14
Área de Estudio y Colecta	14
Procesamiento de Muestras	15
Análisis Químico Cualitativo	17
Preparación de Suelo	17
Identificación de Arvenses en la Parcela de Limón	18
Calibración de la Bomba de Aspersión.....	18
Diseño Experimental.....	18
Tratamientos	19
Porcentaje de Control de Arvenses	21
Análisis de Datos.....	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
Extractos	22
Efectividad en Campo	25
CONCLUSIÓN	33
BIBLIOGRAFÍA.....	34
ANEXOS.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Árbol de limón mexicano	3
Figura 2. Producción mundial de limón en el 2022	4
Figura 3. Principales países productores de limón a nivel mundial en el 2022	4
Figura 4. Limón mexicano con espinas en las ramas	6
Figura 5. Limón mexicano sin espinas en las ramas	7
Figura 6. Arvenses sobre las calles de una pacerla de limón.....	8
Figura 7. Envases de herbicidas químicos tirados en parcela	9
Figura 8. Ubicación geográfica del área de estudio.	14
Figura 9. Colecta de limón mexicano en la parcela del INIFAP-CEIGUA	15
Figura 10. Cascara puesta al aire libre a temperatura ambiente.	16
Figura 11. Área de cada replica por tratamiento en experimento en la parcela de limón en Iguala de la Independencia, Guerrero	18
Figura 12. Extractos vegetales.....	23
Figura 13. Aplicación de los tratamientos en el experimento 1 a los 14.....	28
Figura 14. Aplicación de los tratamientos en el experimento 2 a los 14.....	29

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Tratamientos en estudio usados en el experimento 1	19
Cuadro 2. Tratamientos en estudio usados en el experimento 2	20
Cuadro 3. Escala propuesta por la Sociedad Europea de investigación en Maleza (EWRS) para evaluar el control de maleza.....	21
Cuadro 4. Componentes y concentración de los extractos en estudio.....	23
Cuadro 5. Factor A, tratamientos como herbicidas usados para el control de arvenses en cultivo de limón.....	25
Cuadro 6. Factor B, productos como adyuvantes para potencializar el efecto de herbicidas	26
Cuadro 7. Interacción entre los niveles en el factor A y B	26
Cuadro 8. Medias obtenidas en el factor C	27

RESUMEN

Se recolectaron cáscaras de limón y naranja las cuales se secaron a temperatura ambiente. La caracterización de los extractos vegetales se realizó mediante cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC/MS). Las arvenses presentes en la parcela de limón fueron *Sorghum halepense* L. y *Cynodon* sp. Se realizaron dos experimentos en diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial AxBxC, cada bloque con un área de 5 m de ancho por 4 m de largo. Se llevaron a cabo diferentes tratamientos, incluyendo herbicidas químicos y bioherbicidas, dando un total de 336 tratamientos. La evaluación se realizó periódicamente, cada semana (cuatro evaluaciones), con el uso de una escala propuesta por la Sociedad Europea de Investigación en Maleza (EWRS). Se realizó un análisis factorial de siete factores, donde A (tratamientos como herbicidas)= siete niveles, B (potencializadores)= cuatro niveles y C (fechas de evaluación)= cuatro niveles y la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$), con el uso del programa estadístico SAS versión 9.4. En el factor A, en ambos experimentos los niveles mayores en ambos experimentos fueron el Glifosato y el Herbitech. En el factor B, los productos que mayor presentaron efectividad en el control de arvenses en ambos experimentos fueron: el polidimetilsiloxano y la urea. En la interacción de los factores A*B, en el experimento 1, sobresalió la interacción del glifosato a dosis de 7.5 mL/L de agua + 10 g de urea con 86% y para el caso del bioherbicida, sobresalió el Herbitech a dosis de 7.5 mL/L de agua + polidimetilsiloxano a dosis de 2mL/L de agua con 80.75%. En el experimento 2, sobresalió la interacción del glifosato a dosis de 9 mL/L de agua + polidimetilsiloxano a dosis de 2mL/L de agua con 97.08% y en segundo lugar fue el Herbitech a dosis de 9 mL/L de agua + polidimetilsiloxano a dosis de 2mL/L de agua con 92.41%. Para el factor C, los tratamientos presentaron su mayor efectividad durante la segunda evaluación con una media de 25.70%. Estos resultados demuestran el potencial del polidimetilsiloxano y urea para optimizar el uso de herbicidas, no solo en combinación con herbicidas sintéticos, sino también con bioherbicidas, ofreciendo una alternativa eficiente y económica para el manejo de malezas.

Palabras clave: polidimetilsiloxano, urea, malezas, control

INTRODUCCIÓN

Actualmente los rendimientos en la producción de los cultivos van en aumento año tras año, esto en parte gracias al uso de los productos químicos utilizados para el control de plagas, enfermedades y arvenses, los cuales por años se consideraron inocuos para la salud humana, sin embargo, en la actualidad algunos ya representan un peligro mundial. El estado de Guerrero en el ciclo 2021 presentó una producción de limón de 751,946.09 ha, con un valor de MX\$ 16,026,975.10 (SIAP, 2022).

El uso de herbicidas es una práctica común para eliminar el crecimiento de arvenses (Ramalingam *et al.*, 2013). El glifosato es un herbicida de amplio espectro y el más utilizado para el control de arvenses en el mundo (Duke and Powles, 2008; Vila-Aiub *et al.*, 2008) desde su introducción en 1974 por la compañía Monsanto (Actualmente Bayer) con el producto comercial Round up (Woodburn, 2000). Los bioherbicidas, que incluyen productos derivados de plantas superiores, microorganismos y fitotoxinas microbiológicas, han ganado prominencia por su capacidad para atacar de manera específica las especies de malezas sin causar daños significativos a los cultivos deseados ni al entorno (Lamberth, 2016; Cai y Gu, 2016), no obstante, los potenciadores de herbicidas se pueden aplicar de forma segura en los cultivos y tienen un excelente efecto de potenciación de varios herbicidas (EPS, 2009), en la actualidad existen productos comerciales como potencializadores de herbicidas, por ejemplo, algunos solo necesitan usar el herbicida al 70% y 30% del potencializador, aumentando o manteniéndose la eficiencia de trabajo del herbicida, y obteniéndose el beneficio económico del menor costo (Imaas, 2022). La selección adecuada del adyuvante y la dosis correcta es crucial para el éxito de la aplicación de un herbicida. No utilizar un adyuvante, emplear uno incorrecto o innecesario puede resultar costoso, ya que puede reducir la eficacia en el control de malezas, causar daño a los cultivos o generar gastos adicionales en grandes áreas (Legleiter, 2024).

Justificación

Debido a la contaminación del medio ambiente por las múltiples aplicaciones que se hacen en las parcelas a dosis no recomendadas a la etiqueta y efectos indirectos hacia el productor, se necesita la implementación de estrategias que ayuden a potencializar el uso de los productos para el control de arvenses en la producción de limón para obtener alimentos inocuos y eficientar costos de producción.

Objetivo

- Evaluar el efecto de tres productos como adyuvantes potencializadores en herbicidas químicos y bioherbicidas para el manejo de arvenses en el cultivo de limón.

Hipótesis

- El uso de al menos un producto tendrá un efecto potencializador en un herbicida químico o bioherbicida.

REVISIÓN DE LITERATURA

Limón en México

En México, se cultivan dos principales tipos de limón (Figura 1) que juntas cubren la totalidad de la producción nacional, estas son el limón persa, que constituye aproximadamente el 30% de la producción, y el limón mexicano, que representa alrededor del 70%. Cada una de estas variedades se cultiva en diferentes regiones del país, y sus características están estrechamente relacionadas con las condiciones locales de cultivo, como los tipos de suelo y los métodos de riego, ya sea en sistemas de riego controlado o en tierras de temporal. Las áreas productoras de limón persa y limón mexicano presentan notables diferencias en cuanto a sus esquemas de comercialización y las prácticas agrícolas específicas utilizadas. A pesar de estas diferencias, es importante destacar que ambas variedades se complementan de manera natural. Esta complementariedad permite que se satisfagan de manera eficiente las demandas del mercado, tanto en el ámbito nacional como en el internacional, asegurando una oferta continua y adecuada para diversos usos y preferencias del consumidor (SADER, 2020).



Figura 1. Árbol de limón mexicano

Producción de Limón a Nivel Mundial

En el 2022, la superficie dedicada al cultivo de limon y lima alcanzó un total de 1,334,255 ha, con una producción global de 21,529,604.13 t. Este sector agrícola estuvo marcado por una destacada participación de los continentes de Asia y América, que lideraron la producción mundial de estos cítricos (FAOSTAT, 2022). En este ciclo los principales países que presentaron la mayor producción fue India, México y China Continental (Figuras 2 y 3).

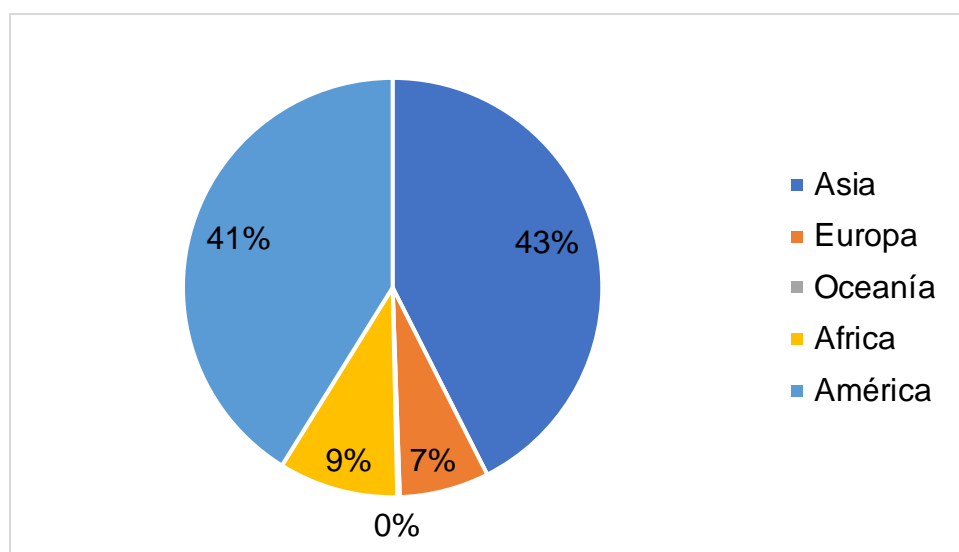


Figura 2. Producción mundial de limón en el 2022.

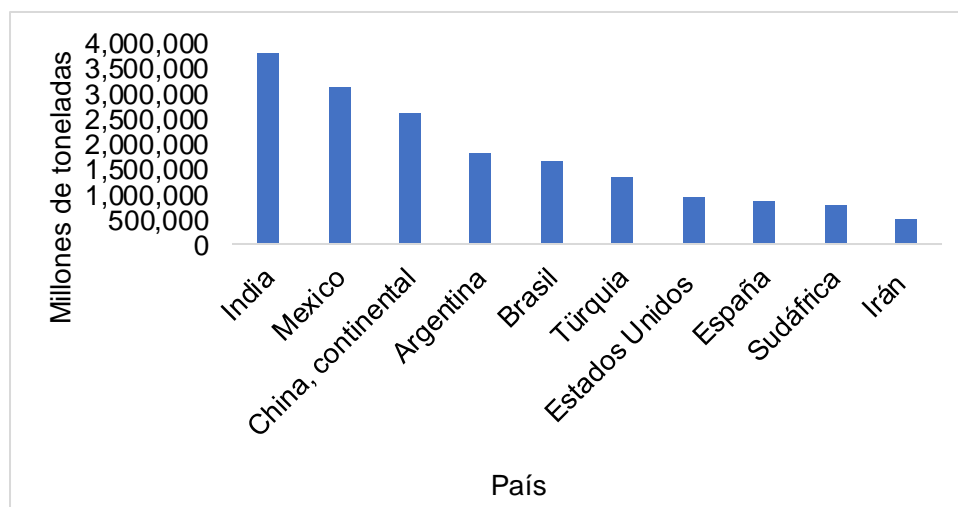


Figura 3. Principales países productores de limón a nivel mundial en el 2022.

Producción de Limón a Nivel Nacional

En México, durante el ciclo agrícola 2022, se sembraron un total de 208,605.79 ha de limón, tanto persa como mexicano, alcanzando una producción de 2,930,856.04 t, lo que resultó en un rendimiento promedio de 15.24 t por ha. De esta producción, el 47.42% corresponde a la variedad de limón mexicano (*Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle), una especie de alto valor económico y cultural en el país. El limón mexicano, también conocido como "limón verde", es fundamental en la gastronomía nacional y en la industria de los jugos y aceites esenciales, lo que refuerza su importancia dentro de la agricultura mexicana. De acuerdo con el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022), estas cifras reflejan no solo el crecimiento sostenido de la producción de cítricos en México, sino también la competitividad del país como uno de los principales productores y exportadores a nivel mundial de esta fruta.

Producción de Limón a Nivel Estatal

En el ciclo agrícola 2022, el estado de Guerrero ocupó el tercer lugar a nivel nacional en producción de limón mexicano; se cultivaron de 6,974.45 ha. A pesar de esta significativa extensión de terreno sembrado, el rendimiento promedio registrado en la entidad fue de 11.91 t/ha, lo que se encuentra por debajo de la media nacional de 15.24 t/ha (SIAP, 2022). Este rendimiento inferior a la media nacional puede estar relacionado con diversos factores, como las condiciones climáticas locales, prácticas agrícolas o limitaciones en el acceso a tecnologías de cultivo más avanzadas. No obstante, la producción de limón en Guerrero sigue siendo relevante dentro del panorama nacional, ya que el estado se mantiene como uno de los principales actores en la oferta de esta fruta, la cual es fundamental para la economía regional y para la cadena productiva de cítricos en México.

Variedad de Limón Colimex

Limón mexicano con espinas (Figura 4), se cultiva en la costa del océano Pacífico, desde Oaxaca hasta Jalisco, sobre todo en los estados de Colima, Guerrero, Michoacán y Oaxaca. Los árboles se caracterizan por ser vigorosos y productivos, con abundante follaje, espinas cortas y muy puntiagudas, además de que sus hojas terminan en punta y son de color verde pálido en el haz. Los árboles son de copa elipsoidal u ovalada y de hábito de crecimiento abierto. Las flores son blancas y pequeñas, en racimos y axilas con seis yemas florales, al tiempo que sus pétalos son blancos, de 1.16 cm de largos, con estambres y el ovario grueso en el ápice (SADER, 2020).



Figura 4. Limón mexicano con espinas en las ramas

Variedad de Limón LISE

Limón mexicano sin espinas (Figura 5), también se recomienda el uso del limón mexicano sin espinas, que es un mutante del anterior y que permite una mayor facilidad de manejo por la ausencia de espinas en sus ramas. Las características internas y externas del fruto son muy similares al de espinas. El uso de este cultivo,

aun cuando tiene una producción similar al anterior, permite incrementar hasta en 20% la rentabilidad por su facilidad de manejo (SADER, 2021).



Figura 5. Limón mexicano sin espinas en las ramas

Plagas, Enfermedades y Arvenses en el Cultivo de Limón

En el cultivo de limón, la presencia de plagas, enfermedades y malezas representa un desafío significativo para los agricultores, ya que estas amenazas pueden afectar gravemente a los árboles y la calidad de sus frutos. Las plagas más comunes incluyen pulgones y escamas, que se alimentan de la savia de los árboles, debilitándolos y transmitiendo enfermedades virales. Los ácaros también son problemáticos, ya que dañan las hojas y reducen su capacidad fotosintética. Otros insectos perjudiciales, como el minador de hojas y el psílido asiático, causan daños directos a las hojas y pueden transmitir enfermedades devastadoras como el huanglongbing, una enfermedad bacteriana que puede ser fatal para los limoneros (Halbert y Núñez, 2004; Halbert y Manjunath, 2004).

Entre las enfermedades fúngicas más importantes se encuentran la mancha grasienta, que deja manchas aceitadas en los frutos y hojas, y la antracnosis, que provoca lesiones necróticas y reduce la calidad del fruto. La gomosis, caracterizada por la exudación de goma, y la melanosis, que produce manchas oscuras en la cáscara, también son preocupantes, ya que afectan tanto la salud del árbol como el

valor comercial de los frutos. La roña y la fumagina, que cubren los frutos y hojas con una capa negra, además de los mohos del fruto que causan pudrición, contribuyen a una disminución de la calidad de la cosecha (Orozco-Santos, 2001).

Por otro lado, las arvenses en el cultivo de limón (Figura 6) representan una amenaza adicional, compitiendo con los árboles por nutrientes, agua y luz; y como consecuencia reducen el crecimiento y la producción. En plantaciones adultas pueden afectar la aplicación de fertilizantes y plaguicidas y dificultar la cosecha (Hernández-Torres *et al.*, 2009; Gómez, 2016), cabe señalar que estos problemas llevan a una reducción en la producción que varía del 20 al 50%, dependiendo de su intensidad y duración en el campo (Kaur *et al.*, 2019).

Las arvenses son un problema significativo en los huertos de limón mexicano debido a las condiciones de humedad que prevalecen durante las lluvias y los riegos frecuentes en la temporada seca, estas condiciones crean un ambiente ideal para la germinación, el crecimiento y la fructificación de diversas especies de malezas. El control de estas plantas no deseadas se lleva a cabo mediante una combinación de métodos manuales, mecánicos y químicos, entre los herbicidas, el glifosato ha sido el más utilizado durante varias décadas en el cultivo de limón, destacándose por su efectividad en la eliminación de malezas (Orozco-Santos y García-Mariscal, 2023).



Figura 6. Arvenses sobre las calles de una pacerla de limón

Agricultura Convencional

La agricultura convencional es fundamental para la producción de alimentos a nivel mundial al proporcionar la mayoría de los alimentos que consumimos a diario (Willer *et al.*, 2017), este tipo de agricultura se caracteriza por el uso intensivo de productos químicos, como pesticidas y fertilizantes, así como por el uso de variedades de alto rendimiento, monocultivos, organismos genéticamente modificados, maquinaria pesada, mecanización intensiva y sistemas de riego (Le Campion *et al.*, 2020). Aunque este modelo es eficiente en términos de producción, presenta importantes problemas de sostenibilidad e impacto ambiental, entre ellos destacan la contaminación del aire, suelo y agua, debido al uso de pesticidas químicos, que pueden afectar la biodiversidad local, generar problemas de salud humana, contribuir al cambio climático y problemas de resistencia a plagas, enfermedades y malezas (Figura 7).



Figura 7. Envases de herbicidas químicos tirados en parcela

Arvenses Resistentes al Glifosato

Desde 1996 al 2022 se reportaron 350 casos de resistencia al glifosato entre arvenses en todo el mundo; sin embargo, se ha registrado resistencia múltiple en 23 especies de malezas en 17 países alrededor del mundo (Arispe-Vazquez *et al.*, 2023), en donde, las familias que han desarrollado mayor resistencia al mayor

número de herbicidas son: Poaceae, Asteraceae, Brassicaceae, Ciperáceae y Amarantaceae (Heap, 2022). Esta evolución de la resistencia de las arvenses al glifosato ha impuesto nuevos desafíos en muchos sistemas de cultivo agronómico, y se han desarrollado nuevas tecnologías para lidiar con esta resistencia (Behrens *et al.*, 2007), por lo que es necesaria la diversificación del manejo de las malezas (Norsworthy *et al.*, 2012; Mortensen *et al.*, 2012).

Tipos de Arvenses

Las arvenses se clasifican en tres tipos principales: anuales, perennes y bi-anuales (FAO, 2024.). Las malezas anuales completan su ciclo de vida en una sola temporada. Comienzan su crecimiento a partir de semillas, pasan por todas las fases de desarrollo hasta florecer y luego mueren antes del final del año. Por otro lado, las malezas perennes pueden sobrevivir varios años y se reproducen a partir de estructuras subterráneas como rizomas, tubérculos o raíces. Las malezas bi-anuales tienen un ciclo de vida que se extiende por dos años: en el primer año germinan y desarrollan una roseta de hojas, mientras que en el segundo año florecen, producen semillas y luego mueren (Donoso *et al.*, 2015; PH, 2023; OSU, 2024; UMA, 2024).

Metabolitos de plantas

Los fitoquímicos que incluyen tanto metabolitos primarios como secundarios de las plantas, son de gran interés en una variedad de sectores, incluidos los agrícolas, farmacéuticos y cosméticos (Elshafie *et al.*, 2023; Reshi *et al.*, 2023). Los metabolitos primarios (MP) son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, mientras que los metabolitos secundarios (MS), también conocidos como metabolitos especializados, desempeñan roles cruciales en la adaptación de las plantas al estrés ambiental y en su defensa contra depredadores y patógenos (Kroymann, 2011; Fernie and Pichersky, 2015; Yang *et al.*, 2018; Isah, 2019; Pang *et al.*, 2021; Fazili *et al.*, 2022; Ochatt *et al.*, 2022; Jeyasri *et al.*, 2023; Salam *et al.*,

2023), estos MS se producen en cantidades pequeñas pero son extremadamente relevantes debido a sus propiedades bioactivas.

Recientemente, se ha reconocido que los MS podrían ser utilizados como base para desarrollar biopesticidas. Los MS se pueden clasificar en varias categorías, como: fenólicos, terpenos, esteroides, alcaloides y flavonoides, cada uno con propiedades específicas que pueden beneficiar tanto a la agricultura como a otras industrias (Guerriero et al., 2018; Kessler y Kalske, 2018). El conocimiento actual sobre cómo obtener plantas con concentraciones elevadas de estos metabolitos es vital para avanzar en técnicas agrícolas y hortícolas que utilicen biomasa económica y sostenible (Selwal et al., 2023). Además de su potencial como biopesticidas, los MS también se aplican en agroquímicos, aditivos alimentarios y en la industria de fragancias (Patil, 2020).

Bioherbicidas y Herbicidas Químicos

Un manejo adecuado de las malezas es fundamental para el cultivo de limón, ya que estas plantas competidoras pueden reducir de manera significativa tanto la cantidad como la calidad de la producción (Blanco y Saavedra, 2014). Para abordar eficazmente este desafío, es esencial aplicar estrategias que se ajusten a las condiciones específicas de cada cultivo y región.

Dentro de las diferentes estrategias disponibles, el uso de métodos biológicos y herbicidas químicos se destaca como dos enfoques principales en el manejo de malezas. Los bioherbicidas, que incluyen productos derivados de plantas superiores, microorganismos y fitotoxinas microbiológicas, han ganado prominencia por su capacidad para atacar de manera específica las especies de malezas sin causar daños significativos a los cultivos deseados ni al entorno (Lamberth, 2016; Cai y Gu, 2016). Estos agentes biológicos ofrecen una alternativa más sostenible y menos invasiva en comparación con los herbicidas químicos, favoreciendo prácticas de manejo que buscan minimizar el impacto ambiental.

Los bioherbicidas son valorados por su integración en estrategias de manejo sostenible. No obstante, su efectividad puede verse influenciada por factores como las condiciones climáticas, el tipo de malezas presentes y la posible resistencia que estas puedan desarrollar. Hasta la fecha, se han documentado más de 20 fitopatógenos con propiedades herbicidas y se han introducido al mercado al menos 15 nuevos agentes de biocontrol clásico (Schwarzländer *et al.*, 2018), reflejando el continuo avance en esta área.

Por otro lado, los herbicidas químicos continúan siendo una herramienta importante para el control de malezas debido a su eficacia rápida y extensa. Estos productos químicos operan al interferir en procesos metabólicos clave en las malezas, ofreciendo una solución efectiva para el manejo a gran escala. Sin embargo, su uso requiere una gestión cuidadosa para evitar problemas como la resistencia en las malezas, impactos negativos sobre la salud del suelo y del agua, y efectos no deseados en organismos no objetivo (WSSA, 2019).

Potencializadores de Herbicidas

La resistencia a los herbicidas está en constante aumento, lo que plantea un desafío creciente en el control de malezas en los campos agrícolas. Esta situación está generando una preocupación significativa entre los agricultores, ya que las estrategias tradicionales de manejo de malezas se están volviendo cada vez menos efectivas. Por esta razón, la incorporación de herramientas y métodos alternativos de manejo se ha convertido en una necesidad urgente y prioritaria en el ámbito agrícola. Explorar y adoptar nuevas técnicas que complementen o sustituyan los métodos convencionales se está convirtiendo en una práctica indispensable para asegurar un control efectivo y sostenible de las malezas (Productiva, 2024).

El uso de herbicidas es una práctica común para eliminar el crecimiento de arvenses (Ramalingam *et al.*, 2013), no obstante, los potenciadores de herbicidas se pueden aplicar de forma segura en los cultivos y tienen un excelente efecto de potenciación de varios herbicidas (EPS, 2009), en la actualidad existen productos comerciales como potencializadores de herbicidas. Algunos solo necesitan usar el herbicida al

70% y 30% del potencializador, aumentando o manteniéndose la eficiencia de trabajo del herbicida y obteniéndose el beneficio económico del menor costo (Imaas, 2022). Además, para el caso de malezas que son difíciles de mojar, es posible que algunos herbicidas no logren controlarlas, no porque éstas sean resistentes a estos herbicidas, sino porque estos herbicidas no logran llegar realmente al sitio donde actúa, y esto se resuelve usando coadyuvantes penetrantes, para asegurar que el activo llegue dentro de la planta (Díaz y Prado, 2018).

Los coadyuvantes químicos se utilizan ampliamente en la en la producción agrícola, algunos son surfactantes verdes; sustancias anfífilas y antimicrobianas que pueden extraerse de plantas y/o obtenerse a través del metabolismo de microorganismos, otros son de síntesis química utilizando extractos naturales (surfactantes de base natural) (Mann y Bidwell, 2001; Sivapathasekaran *et al.*, 2017; Farias *et al.*, 2021; Sangwan *et al.*, 2022). Algunos productos tales como el polidimetilsiloxano y aceites como el de soya, se usan en mL por L de agua, la urea en g por L de agua y en otros productos vienen recomendado en su etiqueta un porcentaje determinado para su uso, por ejemplo: al 1 o 2% o más.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio y Colecta

La investigación se realizó en el Campo Experimental Iguala perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias - (INIFAP-CEIGUA) en Iguala de la Independencia, Guerrero, México. El limón mexicano *Citrus aurantifolia* Christm Swingle se colectó de una parcela experimental de 2 ha, del Campo Experimental Iguala, que se encuentra en las coordenadas geográficas 18.337614 de latitud y -99.511906 de longitud (Figuras 8 y 9). Las cáscaras de naranja se obtuvieron de locales de venta de jugos en la zona centro del Municipio de Iguala de la Independencia.

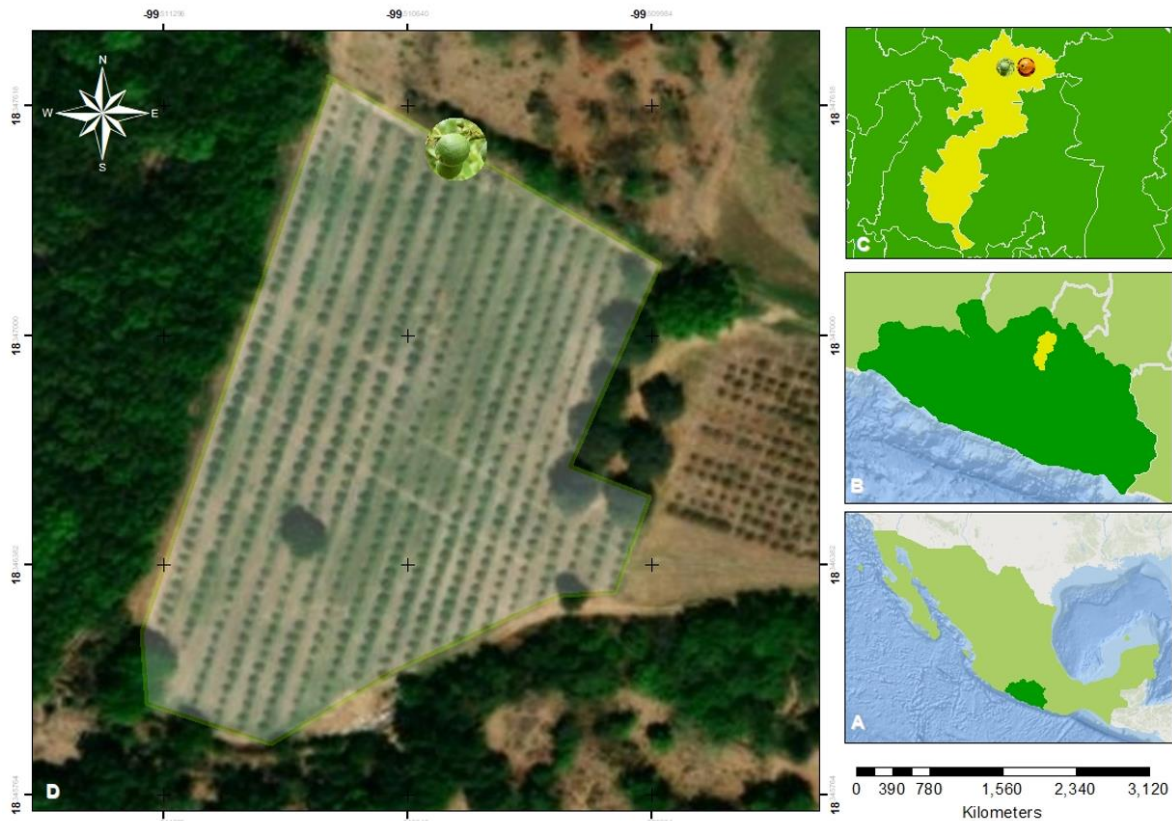


Figura 8. Ubicación geográfica del área de estudio. A= México, B=Estado de Guerrero, C= Municipio de Iguala de la Independencia, D= Parcela de limón mexicano.



Figura 9. Colecta de limón mexicano en la parcela del INIFAP-CEIGUA.

Procesamiento de Muestras

Las cáscaras de naranja y limón fueron secadas al sol a temperatura ambiente, previo a su procesamiento y análisis en el laboratorio (Figura 10). Las cáscaras se molieron hasta obtener un polvo fino en una licuadora, posteriormente, se realizó la extracción de los compuestos utilizando garrafas de 20 L como recipientes. En cada garrafa se colocaron 20 g de cáscara molida y se añadió 1 L de agua de la llave o alcohol etanólico, dependiendo del tipo de extracción. Las garrafas se dispusieron al aire libre a temperatura ambiente, aprovechando la exposición directa a la luz solar intensa durante un periodo prolongado, para la extracción con agua se dejaron las garrafas 53 días, mientras que para la extracción con alcohol etanólico se dejaron solo por 15 días para la extracción. Durante todo el tiempo de extracción, se realizó una monitorización regular para asegurar que las condiciones permanecieran constantes y se hicieron observaciones periódicas del nivel del líquido en las garrafas (Toledo-Aguilar *et al.*, 2024).

La filtración de las soluciones se llevó a cabo al final de los períodos especificados para cada método de extracción en el Laboratorio de Entomología Molecular y

Alternativas de Control de Plagas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Para el caso de extracción de compuestos fitoquímicos mediante agua, se emplearon filtros de alta calidad (Whatman No.1), los cuales separaron los residuos de la cáscara de la solución líquidas que contenía los compuestos bioactivos. Este paso fue repetido varias veces para asegurar que no quedaran partículas sólidas en las soluciones finales, lo que podría interferir con los análisis posteriores. Para la extracción mediante alcohol etanólico, se utilizó una bomba de vacío (Ulvac modelo DTC-22A) con filtros (Whatman No.1) eliminando cualquier partícula residual. Posteriormente el extracto etanólico se sometió a un proceso de evaporación mediante un rotavapor, el cual operó a 150 rpm a 90 °C, concentrando así los compuestos extraídos. Este procedimiento permitió obtener un extracto puro y concentrado, eliminando el alcohol del producto final. El uso del rotavapor (Yamato modelo VR300) permitió eliminar el solvente, preservando la integridad de los compuestos bioactivos extraídos, evitando su degradación por exposición prolongada. Los extractos de cáscara de limón y naranja fueron colocados en frascos ámbar de vidrio para protegerlo de la luz y fueron almacenados en refrigeración a 5°C.

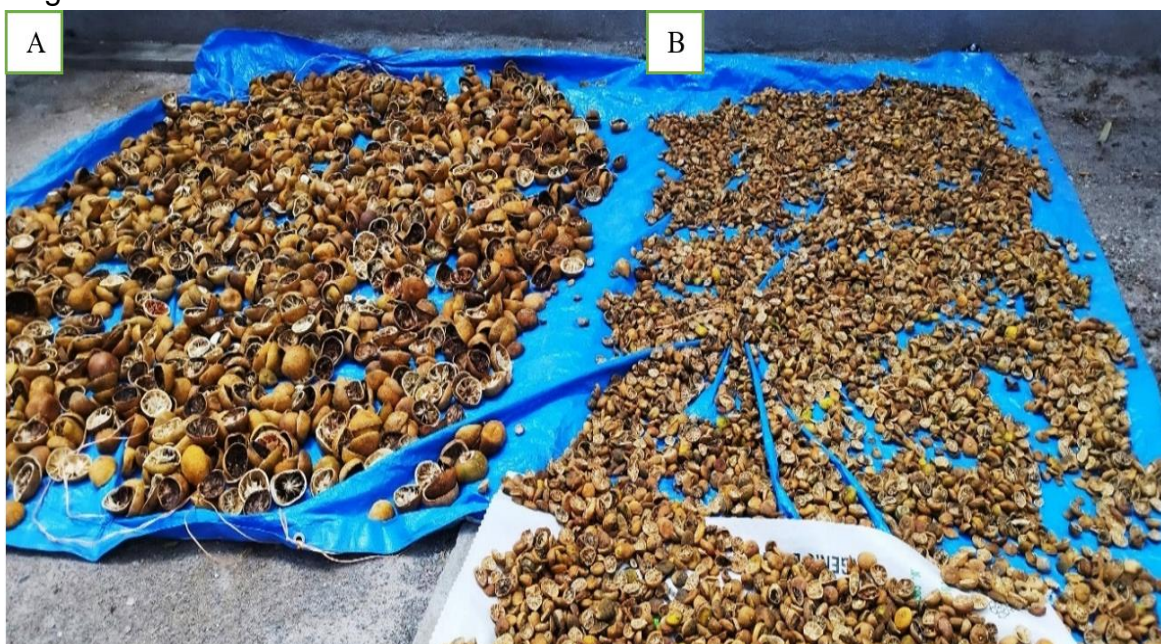


Figura 10. Cascara puesta al aire libre a temperatura ambiente. A= Cascara de naranja, B= Cascara de limón.

Análisis Químico Cualitativo

La caracterización de los extractos vegetales se realizó en el Laboratorio de Sanidad Forestal y agrícola del INIFAP-Campo Experimental Pabellón (CEPAB). Se realizó mediante Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC/MS, por sus siglas en inglés), en un equipo Agilent Technologies 7820A, con detector selectivo de masas (MSD, Agilent Technologies 5975), operado en el modo de barrido completo de radiofrecuencias (full scan) en modo splitless, con un volumen de inyección de 1 μL de muestra. La rampa de temperatura inicial fue 50 $^{\circ}\text{C}$, seguido por un aumento de 10 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ hasta los 300 $^{\circ}\text{C}$, donde se mantuvo por 1 min, posteriormente se agregó un post-run de 3 min a 300 $^{\circ}\text{C}$. El puerto de inyección se mantuvo a 250 $^{\circ}\text{C}$ y la fuente y el cuadrupolo estuvieron a 230 $^{\circ}\text{C}$ y 150 $^{\circ}\text{C}$, respectivamente. La columna que se utilizó fue HP-5MS 5% phenyl methyl silox: 30 m x 250 μm x 0.25 μm . Como gas acarreador se empleó helio de alta pureza, con un flujo de 1 mL min^{-1} con impacto de electrones en modo de ionización 70 eV. Para el análisis de los extractos acuosos se utilizó la técnica de SPME-ID reportada por Rivera-Dávila et al. (2022). Para los extractos etanólicos, éstos previamente se concentraron en un rotavapor a 50 $^{\circ}\text{C}$ hasta un tercio de su volumen; a continuación, el extracto etanólico se pasó por filtros microporo de 0.22 μm . Después de filtrar, se inyectó 1 μL de muestra para su análisis. Las extracciones se realizaron por triplicado. Los compuestos se identificaron con base en sus índices de retención y espectros de masas, empleando la base de datos W9N11.L y un índice de similaridad mayor al 90 %.

Preparación de Suelo

La preparación del suelo se llevó a cabo en mayo de 2024 e involucró un proceso específico que consistió en el paso de una rastra sobre el terreno, para que con las primeras lluvias las arvenses emergieran de manera más uniforme.

Identificación de Arvenses en la Parcela de Limón

Las arvenses presentes en la parcela de limón al momento de realizar el experimento correspondían al zacate Johnson *Sorghum halepense* L. y zacate estrella *Cynodon* sp., las cuales presentaban una altura de 10 cm y algunas plantas hasta 20 cm.

Calibración de la Bomba de Aspersión

Se hizo el trazado en un área de 1 m por 25 m de largo. La calibración del equipo se hizo mediante una aspersora manual de 16 L, primero, se lavó la aspersora mediante agua y jabón y posteriormente se llenó de agua. Se hizo la simulación de aplicación con presión normal en los 25 m² y se contabilizó el tiempo que se tardó, este procedimiento se hizo tres veces.

Diseño Experimental

Se realizaron dos experimentos en diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial factorial $A \times B \times C$, donde A (tratamientos como herbicidas)= siete niveles, B (potencializadores)= cuatro niveles y C (fechas de evaluación)= cuatro niveles, cada bloque consistió en un área de 5 m de ancho por 4 m de largo (Figura 11).



Figura 11. Área de cada replica por tratamiento en experimento en la parcela de limón en Iguala de la Independencia, Guerrero.

Tratamientos

Se llevaron a cabo diferentes tratamientos en dos experimentos, incluyendo herbicidas químicos y bioherbicidas cada uno con tres réplicas, a dosis de 50, 60 y 100%, con y sin el potencializador en estudio, dando un total de 336 tratamientos en el experimento 1 y experimento 2 (Cuadro 1 y 2)

Cuadro 1. Tratamientos en estudio usados en el experimento 1

Tratamientos	Dosis (mL)	Dosis %	Potencializador
	30	100	-----
Naranja Etanol	15	50	10 g de urea/ L de agua
	15	50	5 mL de ASS / L de agua
	15	50	2 mL de polidimetilsiloxano / L de agua
	30	100	-----
Limón Etanol	15	50	10 g de urea/ L de agua
	15	50	5 mL de ASS / L de agua
	15	50	2 mL de polidimetilsiloxano / L de agua
	30	100	-----
Naranja Acuoso	15	50	10 g de urea/ L de agua
	15	50	5 mL de ASS / L de agua
	15	50	2 mL de polidimetilsiloxano / L de agua
	30	100	-----
Limón Acuoso	15	50	10 g de urea/ L de agua
	15	50	5 mL de ASS / L de agua
	15	50	2 mL de polidimetilsiloxano / L de agua
	15	100	-----
Herbitech	7.5	50	10 g de urea/ L de agua
	7.5	50	5 mL de ASS / L de agua
	7.5	50	2 mL de polidimetilsiloxano / L de agua
	15	100	-----
Glifosato	7.5	50	10 g de urea/ L de agua
	7.5	50	5 mL de ASS / L de agua
	7.5	50	2 mL de polidimetilsiloxano / L de agua
	--	--	--
Control	--	--	--
	--	--	--
	--	--	--

ASS= Aceite de semilla de soya

Cuadro 2. Tratamientos en estudio usados en el experimento 2

Tratamientos	Dosis (mL)	Dosis %	Potencializador
	30	100	-----
Naranja Etanol	18	60	10 g de urea/L de agua
	18	60	5 mL de ASS /L de agua
	18	60	2 mL de polidimetilsiloxano /L de agua
	30	100	-----
Limón Etanol	18	60	10 g de urea/L de agua
	18	60	5 mL de ASS/L de agua
	18	60	2 mL de polidimetilsiloxano /L de agua
	30	100	-----
Naranja Acuoso	18	60	10 g de urea/ L de agua
	18	60	5 mL de ASS/L de agua
	18	60	2 mL de polidimetilsiloxano /L de agua
	30	100	-----
Limón Acuoso	18	60	10 g de urea/ L de agua
	18	60	5 mL de ASS/L de agua
	18	60	2 mL de polidimetilsiloxano /L de agua
	15	100	-----
Herbitech	9	60	10 g de urea/ L de agua
	9	60	5 mL de ASS/L de agua
	9	60	2 mL de polidimetilsiloxano /L de agua
	15	100	-----
Glifosato	9	60	10 g de urea/ L de agua
	9	60	5 mL de ASS/L de agua
	9	60	2 mL de polidimetilsiloxano /L de agua
Control	--	--	--
	--	--	--
	--	--	--
	--	--	--

ASS= Aceite de semilla de soya

Porcentaje de Control de Arvenses

La evaluación se realizó periódicamente, cada semana (cuatro evaluaciones), con el uso de una escala propuesta por la Sociedad Europea de Investigación en Maleza (EWRS) (Cuadro 3) (Champion, 2000).

Cuadro 3. Escala propuesta por la Sociedad Europea de investigación en Maleza (EWRS) para evaluar el control de maleza.

Valor	Control de las arvenses (%)	Efecto sobre las Malezas
1	99.0 - 100.0	Muerte
2	96.5 - 99.0	Muy buen control
3	93.0 – 96.5	Buen control
4	87.5 – 93.0	Control suficiente
5	80.0 – 87.5	Control medio
6	70.0 – 80.0	Control regular
7	50.0 – 70.0	Control pobre
8	1.0 – 50.0	Control muy pobre
9	0.0 – 1.0	Sin efecto

Análisis de Datos

Los resultados se manejaron en términos de porcentaje y se realizó un análisis factorial de siete factores, donde A (tratamientos como herbicidas) = siete niveles, B (potencializadores)= cuatro niveles y C (fechas de evaluación)= cuatro niveles, cada bloque consistió en un área de 5 m de ancho por 4 m de largo, y la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$), con el uso del programa estadístico SAS versión 9.4 (SAS Institute, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Extractos

El extracto acuoso de naranja presentó un color café oscuro y se observó la presencia de 10 compuestos químicos, de los cuales el D-limoneno destacó como uno de los predominantes con una concentración de 95.66%, con un tiempo de retención de 4.1 min, seguido del ácido cítrico con 1.11 %. El extracto etanólico de naranja presentó un color amarillo oscuro (Figura 12C, 5D), y se observaron 14 compuestos químicos, de los cuales seis fueron iguales a los obtenidos del extracto acuoso de naranja, pero en concentraciones más altas, a excepción del D-limoneno el cual redujo su concentración en un 60.7% en el extracto etanólico respecto al extracto acuoso. En el extracto etanólico de naranja se presentaron ocho compuestos nuevos entre los que destacan el ácido hexanedioico y el cariofileno los cuales se observaron en concentraciones de 11.18% y 1.8 % respectivamente, los restantes seis compuestos nuevos observados se presentaron en concentraciones \leq a 0.80% (Cuadro 4).

El extracto acuoso de limón presentó un color café rojizo y se observó la presencia de 11 compuestos químicos, su concentración fue de entre 1.75 y 17.77 %. Los compuestos que presentaron las mayores concentraciones fueron el D-limoneno y ácido palmítico con 16.77 y 13.20% respectivamente (Cuadro 4, Figura 12B). Mientras que los ocho compuestos restantes mostraron una concentración \leq a 9.51%. El extracto etanólico de limón presentó un color naranja oscuro, fue el extracto donde se observó el mayor número de compuestos químicos con 25, de los cuales solo 7 fueron iguales a los obtenidos en el extracto acuoso de limón. Su concentración fue de entre 0.15 y 36.94%. Los compuestos que presentaron las mayores concentraciones fueron el ácido cítrico con 36.94 %, seguido del ácido oleico con 32.53% (Cuadro 4, Figura 12D). así mismo se observó que en el extracto etanólico de limón se incrementó la concentración de ácido oléico, ácido cítrico y cariofileno y se redujeron el D-limoneno, beta-Bisaboleno, 4-terpineol, alfa-farneseno y el cariofileno, respecto al extracto acuoso.

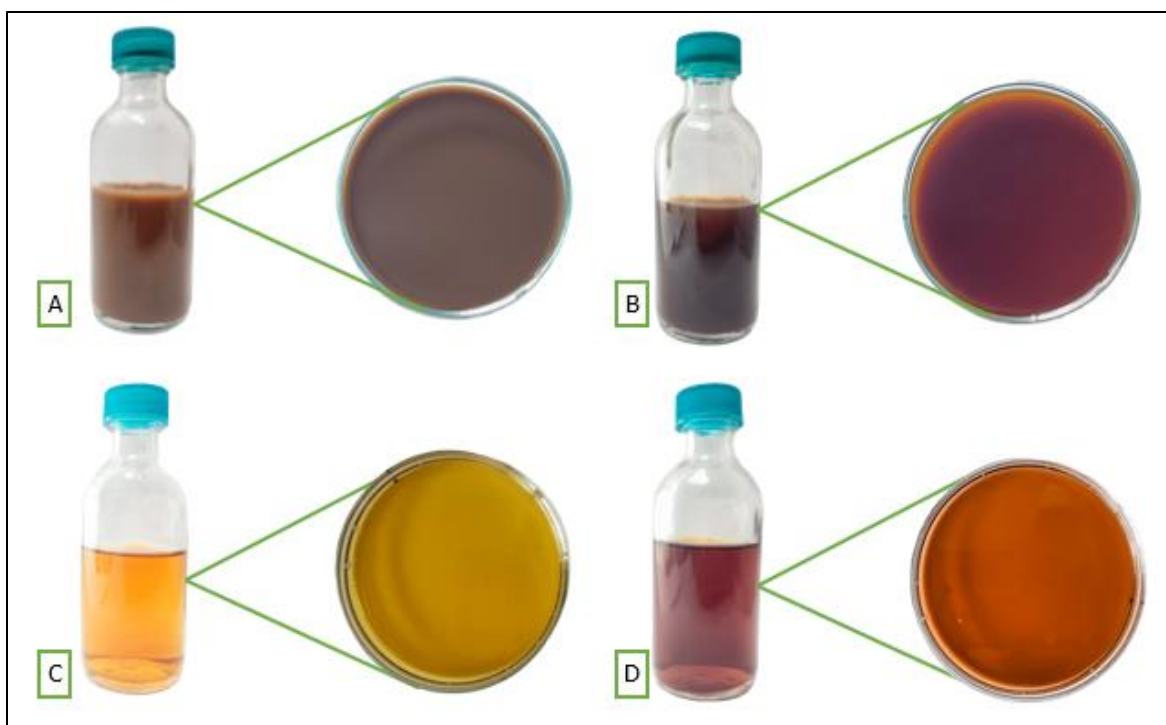




Figura 12. Extractos vegetales. A=Extracto acuoso de naranja, B= Extracto acuoso de limón, C= Extracto etanólico de naranja, D= Extracto etanólico de limón

Cuadro 4. Componentes y concentración de los extractos en estudio

NE	Color	NC	Compuesto**	Tiempo de Retención (min)	Concentración (%)
1		1	D-Limoneno	4.147	95.66
		2	Ácido cítrico	3.056	1.11
		3	Alfa-Terpineno	6.98	0.74
		4	Linalol	5.32	0.44
		5	Ácido palmítico	16.36	0.42
		6	4-Terpineol	6.72	0.41
		7	Ácido oléico	18.02	0.20
		8	Beta-Pineno	2.75	0.19
		9	2-metoxi-4-vinil fenol	8.90	0.13
		10	Alfa-Terpinoleno	5.15	0.12
2		1	D-Limoneno	6.59	16.77
		2	Ácido palmítico	23.39	13.20
		3	Camfeno	12.70	9.51
		4	Ácido oléico	25.05	9.19

	5	Beta-Bisaboleno	18.24	8.28
	6	Ácido cítrico	1.53	5.77
	7	4-Terpineol	12.31	3.44
	8	Alfa-Farneseno	17.24	3.12
	9	Cariofileno	17.06	2.99
	10	Ácido Tetradecanoico	23.56	2.38
	11	Acido 9- octadecanoico- (z)-metil ester	24.61	1.75
	1	D-Limoneno	7.20	57.49
	2	Ácido Hexanedioico	27.23	11.18
	3	Ácido oléico	25.22	6.24
	4	Ácido cítrico	3.97	5.82
	5	Ácido palmítico	23.43	3.21
	6	Cariofileno	18.24	1.80
3	7	Alfa-Terpinoleno	9.95	1.20
	8	β -Pino	5.54	0.82
	9	β -Copaeno	17.06	0.80
	10	α -Copaeno	16.84	0.58
	11	Ácido 9- Octadecanoico	21.25	0.51
	12	Delta-Cadineno	18.50	0.47
	13	Ácido linoleico	26.36	0.32
	14	β -Farneseno	17.54	0.25
	1	Ácido cítrico	4.50	36.94
	2	D-Limoneno	5.10	5.16
	3	Gama-Terpineno	5.45	1.35
	4	p-Cimeno	5.89	0.83
	5	4-Terpineol	7.15	1.10
	6	Alfa-Terpineol	7.33	1.45
	7	Alfa-Mirceno	9.99	0.41
	8	Cariofileno	10.43	3.69
	9	Alfa-Farneseno	10.86	0.84
4	10	Beta-Bisaboleno	11.34	4.06
	11	Ácido laurico	12.04	1.13
	12	(+)- Aromadendreno	12.13	0.28
	13	Ácido mirístico	14.31	0.71
	14	Metil-Palmitato	15.93	0.15
	15	Ácido palmítico	16.54	10.16
	16	Limetin Cis-13-ac.	16.84	1.54
	17	Octadecanoico, metil ester	17.63	0.19

18	Ácido linoléico	18.20	14.70
19	Ácido oléico	18.44	32.53
20	Isopimpinellina	19.20	0.18
21	Ácido hexanedioico	20.25	3.57
22	Acido-6-Octadecenóico	20.73	0.12
23	Pentacosano	20.99	0.09
24	Eicosano	22.47	0.15
25	1,5,8-p-Mentatrieno	22.90	0.64

NE=Numero de extracto, 1= extracto acuoso de naranja, 2= Extracto acuoso de limón, 3= extracto etanólico de naranja, 4= Extracto etanólico de limón. NC=Numero de compuesto. **Compuesto predominante en los 4 extractos.

Efectividad en Campo

De acuerdo a los resultados obtenidos, en ambos experimentos se presentó diferencia altamente significativa en los factores A, B y C ($P=0.0001$) y un coeficiente de variación para el experimento 1 y 2 de 24.42 y 20.09%, respectivamente. En el factor A, los niveles mayores en ambos experimentos fueron el Glifosato y el Herbitech (Cuadro 5), el gasto de la aspersora fue de 0.0257 L por 1 m², es decir, el gasto extrapolado por una ha sería de 257 L. Por otro lado, los extractos acuosos y etanólicos de naranja y limón no presentaron un efecto de control de acuerdo a la EWRS.

Cuadro 5. Factor A, tratamientos como herbicidas usados para el control de arvenses en cultivo de limón

Experimento 1			Experimento 2		
Tratamientos	% efectividad	Ag	Tratamientos	% efectividad	Ag
Glifosato	81.62	a	Glifosato	88.45	a
Herbitech	72.56	b	Herbitech	74.27	b
Naranja Acuoso	0	c	Naranja Acuoso	0	c
Limón Acuoso	0	c	Limón Acuoso	0	c
Limón Etanol	0	c	Limón Etanol	0	c
Limón Etanol	0	c	Limón Etanol	0	c
Control	0	c	Control	0	c

Ag= agrupación estadística, literales con la misma letra son estadísticamente iguales, de acuerdo a Tukey al 0.05.

En el factor B, los productos que mayor presentaron efectividad en el control de arvenses en ambos experimentos fueron: el polidimetilsiloxano y la urea (Cuadro 6).

Cuadro 6. Factor B, productos como adyuvantes para potencializar el efecto de herbicidas

Tratamientos	% efectividad	Ag	Tratamientos	% efectividad	Ag
Polidimetilsiloxano	23.6786	a	Polidimetilsiloxano	27.0714	a
Urea	23.3452	a	Dosis al 100%	25.9048	a
Dosis al 100%	21.4643	c	Urea	22.3571	b
Aceite de semilla de soya	19.619	c	Aceite de semilla de soya	17.6548	c

Ag= agrupación estadística, literales con la misma letra son estadísticamente iguales, de acuerdo a Tukey al 0.05.

En la interacción de los factores A*B (herbicidas y adyuvantes), en el experimento 1, sobresalió la interacción del glifosato a dosis de 7.5 mL/L de agua + 10 g de urea con 86% y para el caso del bioherbicida, sobresalió el Herbitech a dosis de 7.5 mL/L de agua + polidimetilsiloxano a dosis de 2mL/L de agua con 80.75%. En el experimento 2, sobresalió la interacción del glifosato a dosis de 9 mL/L de agua + polidimetilsiloxano a dosis de 2mL/L de agua con 97.08% y en segundo lugar fue el Herbitech a dosis de 9 mL/L de agua + polidimetilsiloxano a dosis de 2mL/L de agua con 92.41% (Cuadro 7).

Cuadro 7. Interacción entre los niveles en el factor A y B

Experimento 1 (herbicidas al 50%)			Experimento 2 (herbicidas al 60%)		
Tratamientos	% de efectividad	Ag	Tratamientos	% de efectividad	A g
A*B			A*B		
62	86	a	64	97.083	a
64	85	ab	54	92.417	a
61	82.333	ab	61	91.167	a
54	80.75	ab c	51	90.167	ab
52	77.417	bc	62	83.667	bc
63	73.167	cd	63	81.917	c
51	67.917	de	52	72.833	d

53	64.167	e	53	41.667	e
31	0	f	31	0	f
32	0	f	32	0	f
33	0	f	33	0	f
34	0	f	34	0	f
41	0	f	41	0	f
42	0	f	42	0	f
43	0	f	43	0	f
44	0	f	44	0	f
11	0	f	11	0	f
12	0	f	12	0	f
13	0	f	13	0	f
14	0	f	14	0	f
21	0	f	21	0	f
22	0	f	22	0	f
23	0	f	23	0	f
24	0	f	24	0	f
71	0	f	71	0	f
72	0	f	72	0	f
73	0	f	73	0	f
74	0	f	74	0	f

Ag= agrupación estadística, literales con la misma letra son estadísticamente iguales, de acuerdo a Tukey al 0.05.

Para el factor C, los tratamientos presentaron su mayor efectividad durante la segunda evaluación (Figura 13 y 14) (14 días después de la aplicación) con una media de 25.70%, posteriormente, la efectividad de los tratamientos en las siguientes las fechas de evaluación 3^a (21 días después de la aplicación) a la 4^a (28 días después de la aplicación) tiende a disminuir el efecto de control (Cuadro 8).

Cuadro 8. Medias obtenidas en el factor C

Experimento 1			Experimento 2		
Fecha	% efectividad	Ag	Fecha	% efectividad	Ag
2	25.7024	A	2	24.8929	A
3	25.4881	A	3	24.75	A
1	25.1905	A	1	23.4881	A
4	11.7262	B	4	19.8571	B



Figura 13. Aplicación de los tratamientos en el experimento 1 a los 14. A= Efecto del tratamiento Herbitech a dosis de 15 mL/L de agua (dosis de etiqueta), B= Efecto del tratamiento Herbitech a dosis de 7.5 mL/L de agua + 10 g de urea/L de agua, C= Efecto del tratamiento Herbitech a dosis de 7.5 mL/L de agua + 5 mL de aceite de semilla de soya/L de agua, D= Efecto del tratamiento Herbitech a dosis de 7.5 mL/L agua + 2 mL de polidimetilsiloxano /L de agua, E= Efecto del tratamiento glifosato a dosis de 15 mL/L (dosis de etiqueta), F= Efecto del tratamiento glifosato a dosis de 7.5 mL/L de agua + 10 g de urea/L de agua, G= Efecto del tratamiento glifosato a dosis de 7.5 mL/L de agua + 5 mL de aceite de semilla de soya/L de agua, H= Efecto del tratamiento glifosato a dosis de 7.5 mL/L de agua + 2 mL de polidimetilsiloxano /L de agua, I= control

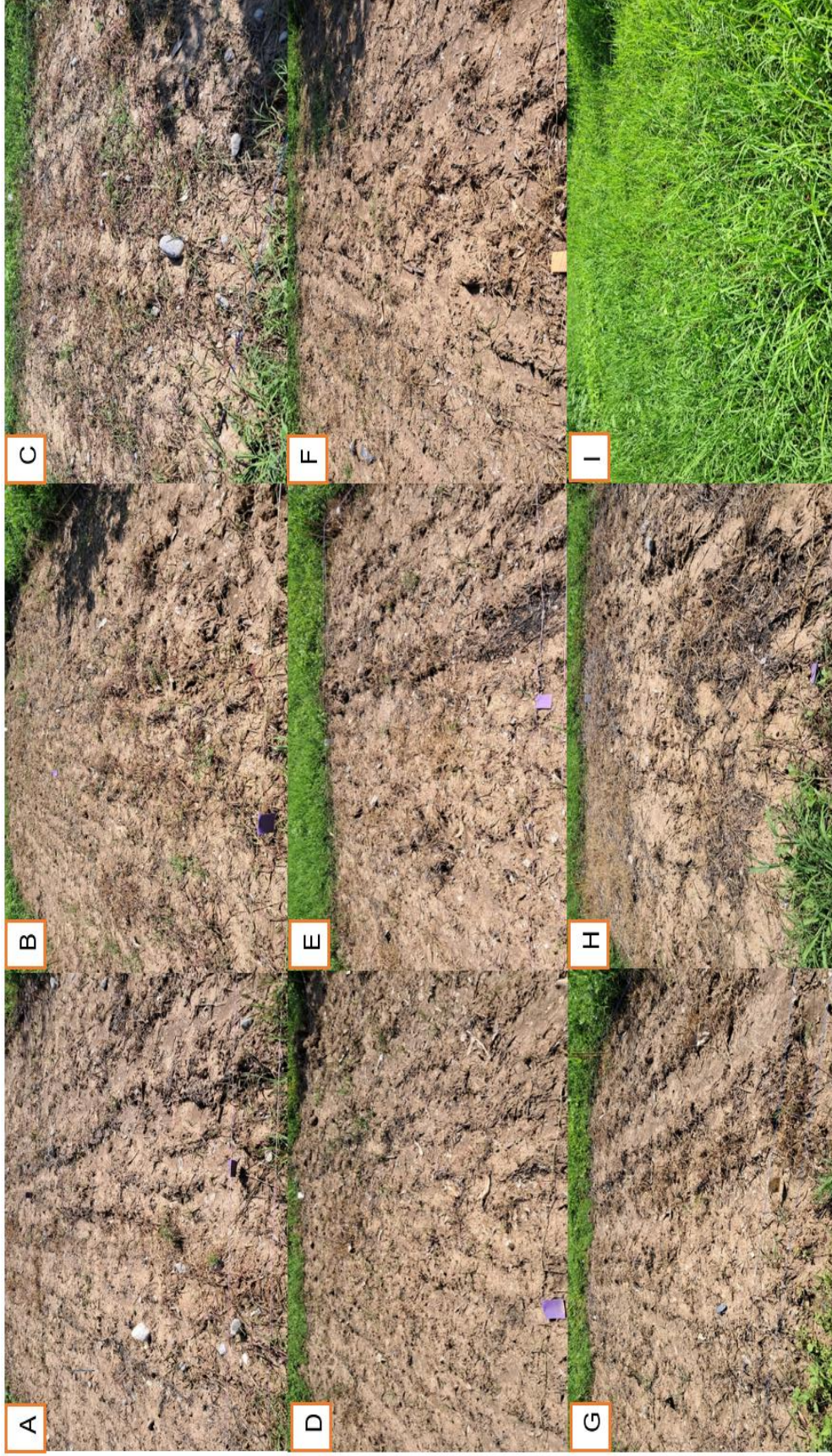


Figura 14. Aplicación de los tratamientos en el experimento 1 a los 14. A= Efecto del tratamiento Herbitech a dosis de 15 mL/L de agua (dosis de etiqueta), B= Efecto del tratamiento Herbitech a dosis de 7.5 mL/L de agua + 10 g de urea/L de agua, C= Efecto del tratamiento Herbitech a dosis de 7.5 mL/L de agua + 5 mL de aceite de semilla de soya/L de agua, D= Efecto del tratamiento Herbitech a dosis de 7.5 mL/L agua + 2 mL de polidimetilsiloxano /L de agua, E= Efecto del tratamiento glifosato a dosis de 15 mL/L (dosis de etiqueta), F= Efecto del tratamiento glifosato a dosis de 7.5 mL/L de agua + 10 g de urea/L de agua, G= Efecto del tratamiento glifosato a dosis de 7.5 mL/L de agua + 5 mL de aceite de semilla de soya/L de agua, H= Efecto del tratamiento glifosato a dosis de 7.5 mL/L de agua + 2 mL de polidimetilsiloxano /L de agua, I= control

Los adyuvantes son productos químicos aditivos para pulverización que se añaden a los herbicidas para mejorar el efecto de control (Dan *et al.*, 2009; Martins *et al.*, 2009, Maciel *et al.*, 2011; Adetunji *et al.*, 2021), por lo tanto, la elección del adyuvante en una formulación agroquímica es crucial (Castro *et al.*, 2013), es decir, la selección adecuada del adyuvante y la dosis correcta es crucial para el éxito de la aplicación de un herbicida. No utilizar un adyuvante, emplear uno incorrecto o innecesario puede resultar costoso, ya que puede reducir la eficacia en el control de malezas, causar daño a los cultivos o generar gastos adicionales en grandes áreas (Legleiter, 2024).

En nuestro experimento sobresalió el uso de glifosato y el BH2, para el caso del glifosato, su mecanismo de acción se basa en la inhibición de una enzima esencial para la síntesis de aminoácidos en las plantas, conocida como EPSP (5-enolpiruvilsiquimato-3-fosfato sintasa) (Zulet-González *et al.*, 2018), mientras que el BH2, la etiqueta de este producto menciona que es un producto sistémico y de contacto, de amplio espectro, que se utiliza para el control post-emergente de malezas de hoja ancha y angosta (BioTech, 2024), siendo malezas de hoja angosta a controlar en este estudio (*S. halepense* L. y *Cynodon* sp.). Cabe señalar que los herbicidas orgánicos su acción tiende a ser menos persistente y más suave en comparación con los herbicidas sintéticos químicos (Sigma, 2024).

En esta investigación se usó el polidimetilsiloxano (derivado del silicio) como potencializador, el cual pertenece a un grupo de compuestos organosilícicos poliméricos que se utilizan ampliamente como polímero orgánico a base de silicio (Zaman *et al.*, 2019) y se usa regularmente en muchas aplicaciones científicas y de ingeniería (Xu *et al.*, 2011), es uno de los elastómeros más prometedores debido a sus notables propiedades, como buena estabilidad térmica, biocompatibilidad, resistencia a la corrosión, flexibilidad, bajo costo, facilidad de uso, inercia química, características hiperplásticas y permeabilidad a los gases (Ariati *et al.*, 2021) y cuando se integra en formulaciones agroquímicas, elimina rápidamente la espuma, lo que mejora la eficacia general del producto, compuestos como el polidimetilsiloxano presentan una versatilidad excepcional, lo que permite una

integración perfecta en diversos productos agroquímicos sin comprometer el rendimiento (ROMAKK, 2024). Los coadyuvantes de organosilicona son importantes para todos los propósitos prácticos de las pulverizaciones de pesticidas y, al ser preferidos por los agricultores, están ampliamente disponibles en el mercado (Mullin *et al.*, 2016).

Para el caso de la urea, se presentó el mayor efecto de interacción en el experimento 1, en donde se usó el glifosato o el BH2 al 50% + 10 g de urea por 1 L de agua, es decir, extrapolado a 1 ha serían 100 kg de urea. Otros autores mencionan que el la mezcla de glifosato y urea no provoca envenenamiento del cultivo de maíz y que el uso del herbicida glifosato a 1,44 kg por ha + urea 10 kg por ha en maíz y sin algún efecto de fitotoxicidad al cultivo, (Samai y Muhidin, 2021). En nuestro estudio usamos la urea a una dosis de 10 g por 1 L de agua, si lo extrapolamos a 1 ha de acuerdo a nuestro gasto obtenido, sería 2. 570 kg de urea por 1 ha, es decir, tres veces menos a lo recomendó por Samai y Muhidin, (2021), efecto posiblemente por lo cual, la urea en nuestro estudio obtuvo el segundo y tercer lugar como potencializador en el experimento 1 y 2, respectivamente. Desde antes se mencionaba que las dosis bajas de glifosato eran bastante efectivas en la supresión del crecimiento de malezas y que tendían a aumentar con el aumento de la concentración de coadyuvantes añadidos (Utomo y Soebardja, 1990), para el experimento 1, se usó el glifosato y BH2 a dosis del 50%, es decir, 7.5 mL por 1 L de agua y para el experimento 2, se usó el glifosato y herbitech al 60%, es decir, 9 mL por 1 L de agua, cabe señalar que la dosis de los productos como potencializador no aumentó para el experimento 2.

El aceite de soya, se aplica comúnmente como adyuvante con otros herbicidas y mejora la actividad herbicida al aumentar la penetración y aumentar la persistencia del ingrediente activo (Baker *et al.*, 2018), no obstante, en este estudio el efecto del aceite de soya como potencializador fue más similar a la dosis del 100% de los herbicidas en el experimento 1, posiblemente porque en el experimento 2 se agregó más producto de los herbicidas en estudio y no de los potencializadores, aparte del tamaño de las malezas, sobrepasan lo recomendado (15 cm de altura).

Existen diversos factores que podrían influir en la efectividad de los potencializadores en los herbicidas, tal como: debe realizarse una aplicación adecuada en el momento adecuado, en este estudio, la aplicación se hizo en arvenses de 10 cm y algunas tenían hasta 20 cm de altura, una correcta aplicación con reducir la dosis de herbicida en más del 50% en comparación con la utilizada sin adyuvantes (Vargas y Roman, 2006) y la aplicación de estos bioherbicidas se recomienda con un tamaño de hasta 15 cm, ya que el efecto se reduce con malezas más grandes (Arispe-Vázquez *et al.*, 2024).

CONCLUSIÓN

La aplicación de los extractos no generó ningún efecto de control sobre las arvenses. El glifosato y el herbitech fueron los únicos tratamientos con mayor interacción al utilizar la dosis al 50% + polidimetilsiloxano como potenciador a una dosis de 2 ml/L de agua y la urea a dosis de 10 g/L de agua. La segunda y tercera semana después de las aplicaciones de los tratamientos mostraron el mayor impacto en el control de malezas. Estos resultados demuestran el potencial del polidimetilsiloxano y urea para optimizar el uso de herbicidas, no solo en combinación con herbicidas sintéticos, sino también con bioherbicidas, ofreciendo una alternativa eficiente y económica para el manejo de malezas.

BIBLIOGRAFÍA

- Adetunji, C.O., Jeevanandam, J., Inobeme, A., Olaniyan, O.T., Anani, O.A., Thangadurai, D., Islam, S. (2021). Application of biosurfactant for the production of adjuvant and their synergetic effects when combined with different agro-pesticides. *Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science*, 255-277. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823380-1.00006-X>
- Ariati, R., Sales, F., Souza, A., Lima, R.A., Ribeiro, J. (2021). Polydimethylsiloxane Composites Characterization and Its Applications: A Review. *Polymers*: 13(23):4258. <https://doi.org/10.3390/polym13234258>
- Arispe-Vázquez, J.L., Cadena-Zamudio, D.A., Tamayo-Esquer, L.M., Noriega-Cantú, D.H., Toledo-Aguilar, R., Felipe-Victoriano, M., Barrón-Bravo, O.G., Reveles-Hernández, M., Ramírez-Sánchez, S.E., y Espinoza-Ahumada, C.A. (2023). A Review of the Current Panorama of Glyphosate Resistance among Weeds in Mexico and the Rest of the World. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v16i7.261>
- Arispe-Vazquez, J.L., Toledo-Aguilar, R., Noriega-Cantú, DH. (2024). Tecnología alternativa para el control de arvenses mediante el uso de un potencializador: caso bioherbicida. *Agro-Divulgación*, 4(5):115-117.
- Baker, B.P., Grant, J.A., Malakar-Kuenen, R. (2018). Soybean Oil Profile. New York State IPM Program. <https://hdl.handle.net/1813/56142>
- Behrens, M.R., Mutlu, N., Chakraborty, S., Dumitru, R., Jiang, W.Z., LaVallee, B.J., Herman, P.L., Clemente, T.E., Weeks, D.P. (2007). Dicamba resistance: Enlarging and preserving biotechnology-based weed management strategies. *Science*. 316: 1185–1188. <https://doi.org/10.1126/science.1141596>
- BioTech, (2024). ¿Como funciona Herbitech? <https://biotechmexico.com/herbitech>

- Blanco, M., Saavedra, C.G. (2014). Manejo de malezas y su control [en línea]. Santiago: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. No. 303.
- Cai, X., Gu, M., (2016). Bioherbicides in organic horticulture. *Horticulturae*: 2, 3. <https://doi.org/10.3390/horticulturae2020003>
- Castro, M.J.L., Ojeda, C., Cirelli, A.F. (2013). Surfactants in Agriculture. In: Lichtfouse, E., Schwarzbauer, J., Robert, D. (eds) Green Materials for Energy, Products and Depollution. Environmental Chemistry for a Sustainable World, vol 3. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6836-9_7
- Champion, G.T. (2000). Bright and the field scale evaluations herbicides tolerant. G M Trials. AICC New slwtter, December 2000, 7.
- Dan, H.A., Dan, L.G.M., Barroso, A.L.L., Souza, C.H. (2009). Effect of pH of the spraying at drying of the *Braquiaria brizanta* with glyphosate. *Global Science and Technology*. 2: 1–6.
- Díaz, M.M.V., Prado B.A.M. (2018). Consideraciones para maximizar la eficiencia del glifosato. *Revista Frutícola Copefrut S.A*: 40(1): 24-8.
- Donoso, P., Navarro, C., Soto, D., Gerding, V., Thiers, O., Pinares, J., Escobar, B., Sanhueza, M.J. (2015). Manual de plantaciones de raulí (*Nothofagus alpina*) y coihue (*Nothofagus dombeyi*) en Chile. Temuco, Chile. Universidad Austral de Chile – Universidad Católica de Temuco. 203 p. ISBN: 978-956-9412-23-3
- Duke, S.O., and Powles, S.B. (2008). Glyphosate-resistant weeds and crops. Editorial. *Pest management science*: 64:317–318. doi:10.1002/ps.1561
- Elshafie, H.S., Camele, I., Mohamed, A.A. (2023). A Comprehensive Review on the Biological, Agricultural and Pharmaceutical Properties of Secondary Metabolites Based-Plant Origin. *International journal of molecular sciences*. 24:3266. <https://doi.org/10.3390/ijms24043266>

- EPS, (2009). European Patent Specification. Herbicide potentiators. <https://patents.google.com/patent/EP1344454B1/ko>
- FAO, (2024). Capítulo 2. La clasificación y ecología de las malezas. <https://www.fao.org/4/t1147s/t1147s06.htm>
- Farias, C.B., Almeida, F.C., Silva, I.A., Souza, T.C., Meira, H.M., Soares da Silva, R.D., Luna, J.M., Santos, V.A., Converti, A., Banat, I.M., Sarubbo, L.A. (2021). Production of green surfactants: Market prospects. *Electronic Journal of Biotechnology*, 51, 28-39.
- Fazili, M.A., Bashir, I., Ahmad, M., Yaqoob, U., Geelani, S.N. (2022) *In vitro* strategies for the enhancement of secondary metabolite production in plants: a review. *Bull Natl Res Cent.* 46:35. <https://doi.org/10.1186/s42269-022-00717-z>
- Fernie, A.R., Pichersky, E. (2015). Focus Issue on Metabolism: Metabolites, Metabolites Everywhere. *Plant physiology.* 169:1421–1423.
- Gómez, C.A. (2016). Malezas en plantaciones cítricas y métodos de control. Artículo de Divulgación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://inta.gob.ar/documentos/malezas-en-plantaciones-citricas-caracteristicas-y-metodos-de-control>
- Guerriero, G., Berni, R., Muñoz-Sanchez, J.A., Apone, F., Abdel-Salam, E.M., Qahtan, A.A., Alatar, A.A., Cantini, C., Cai, G., Hausman, J.F., Siddiqui, K.S., Hernández-Sotomayor, S.M.T., Faisal, M. (2018). Production of plant secondary metabolites: Examples, tips and suggestions for biotechnologists. *Genes.* 9:309. <https://doi.org/10.3390/genes9060309>
- Halbert, S.E., and Manjunath, K.L. (2004). Asian citrus psyllids (Sternorrhyncha: Psyllidae) and greening disease of citrus: a literature review and assessment of risk in Florida. *Florida Entomologist.* 87: 330-353.

- Halbert, S.E., and Núñez, C.A. (2004). Distribution of the asian citrus psyllids. *Diaphorina citri* Kuwayama (Rhynchota: Psyllidae) in the Caribbean basin. *Florida Entomologist*. 87:401- 402.
- Heap, I. (2022). Encuesta internacional sobre malezas resistentes a herbicidas.: <https://weedsociety.org/Home.aspx>
- Hernández-Torres, I., Acosta-Díaz, E., y de la Fuente-Saucedo, H. (2009). Manejo integrado de maleza. pp. 157-191. In: Rocha-Peña, M.A., Padrón-Chávez, J. E. (eds.). El cultivo de los cítricos en el estado de Nuevo León. Libro Científico No. 1. INIFAP. CIRNE. Campo Experimental General Terán. Cd. General Terán, N. L., México.
- Imaas, (2022). Potencializador de agroquímicos (IMAAS 333). <https://imaas.com/agroquimicos/>
- Isah, T. (2019) Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biological Research* 52:39. <https://dx.doi.org/10.1186/s40659-019-0246-3>
- Jeyasri, R., Muthuramalingam, P., Karthick, K., Shin, H., Choi, S.H., Ramesh, M. (2023). Methyl jasmonate and salicylic acid as powerful elicitors for enhancing the production of secondary metabolites in medicinal plants: an updated review. *Plant Cell Tiss Organ Cult*. 153: 447–458. <https://doi.org/10.1007/s11240-023-02485-8>
- Kaur, P., Kaur, P., and Bhullar, M.S. (2019). Environmental aspects of herbicide use under intensive agriculture scenario of Punjab. *Herbicide Residue Research in India*. Springer, Cham, pp 105–157.
- Kessler, A., Kalske, A. (2018). Plant secondary metabolite diversity and species interactions. *Annu Rev Ecol Evol Syst*. 49:115–138. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062406>

- Kroymann, J. (2011). Natural diversity and adaptation in plant secondary metabolism. *Curr Opin Plant Biol* 14:246–251. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2011.03.021>
- Lamberth, C., (2016). Naturally occurring amino acid derivatives with herbicidal, fungicidal or insecticidal activity. *Amino Acids*. 48(4): 929–940. <https://doi.org/10.1007/s00726-016-2176-5>
- Le Campion, A., Oury, FX., Heumez, E., Rolland, B. (2020). Conventional versus organic farming systems: dissecting comparisons to improve cereal organic breeding strategies. *Org Agr*. 10:63–74. <https://doi.org/10.1007/s13165-019-00249-3>
- Legleiter, T., Butts, T., Essman, A., Ikley, J., Lancaster, S., Werle, R. (2024). Adjuvants with Herbicides. When and Why They Are Needed.
- Maciel, C.D.G., Poletine, J.P., de Oliveira, N.A.M., Guerra, N., Justiniano W. (2011). Eficiência de paraquat e msma isolados e associados a adjuvantes no manejo de plantas daninhas. *Global Science and Technology*. 4: 70–81.
- Mann, R., and Bidwell, J. (2001). The acute toxicity of agricultural surfactants to the tadpoles of four Australian and two exotic frogs. *Environ. Pollut*. 114: 195–205.
- Martins, D., Carbonari, C.A., Terra, M.A., and Marchi, S.R. (2009). Action of adjuvants on the absorption and translocation of glyphosate in *Eichhornia crassipes*. *Planta Daninha*. 27: 155–163.
- Mortensen, D.A., Egan, J.F., Maxwell, B.D., Ryan, M.R., Smith, R.G. (2012). Navigating a critical juncture for sustainable weed management. *BioScience*. 62(1): 75–84. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.12>
- Mullin, C.A., Fine, J.D., Reynolds, R.D. & Frazier, M.T. (2016) Toxicological risks of agrochemical spray adjuvants: organosilicone surfactants may not be safe. *Frontiers in Public Health*. 4: 92.

- Norsworthy, J.K., Ward, S.M., Shaw, D.R., Llewellyn, R.S., Nichols, R.L., Webster, T.M., Bradley, K.W., Frisvold, G., Powles, S., Burgos, N.R., Witt, W.W., Barrett, M. (2012). Reducing the risks of herbicide resistance: Best management practices and recommendations. *Weed Science*. 60: 31-62. <https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00155.1>
- Ochatt, S., Alan, A.R., Bhattacharya, A., Hano, C., Kiselev, K.V., Marconi, P.L., Otoni, W.C., Park, S.Y., Tang, K.X., Weathers, P.J. (2022). Secondary metabolites: a boon from plants, the best chemist in nature: preface from the editors. *Plant Cell Tiss Organ Cult*. 109:1–6. <https://doi.org/10.1007/s11240-022-02289-2>
- Orozco-Santos, M. (2001). Enfermedades presentes y potenciales de los cítricos en México. Universidad Autónoma Chapingo. Primera Reimpresión. México. 150 p.
- Orozco-Santos, M., García-Mariscal, K. P. (2023). Manejo integrado de maleza en limón mexicano. Folleto Técnico No. 26. INIFAP-CIRPAC Campo Experimental Tecomán. Tecomán, Colima, México. 30 P.
- OSU, (2024). Know the life cycles of plants — annuals, biennials and perennials. <https://extension.oregonstate.edu/gardening/techniques/know-life-cycles-plants-annuals-biennials-perennials>
- Pang, Z., Chen, J., Wang, T., Gao, C., Li, Z., Guo, L., Xu, J., Cheng, Y. (2021). Linking plant secondary metabolites and plant microbiomes: A review. *Front Plant Sci*. 12:621276. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.621276>
- Patil, A.S. (2020). Plant Secondary Metabolites: Isolation, Characterization & Biological Properties. Studera Press.
- PH, (2023). Perennial Weeds: 11 of the Most Commonly Found in Gardens. <https://planthouseaesthetic.com/outdoor-plant-care/perennial-weeds-11-of-the-most-commonly-found-in-gardens/>

- Productividad, (2024). Potenciador de herbicidas para mejorar la concentración de moléculas químicas. <https://www.productivacm.com/archivos/8323>
- Ramalingam, S.P., Chinnagounder, C., Perumal, M., Palanisamy, M.A. (2013). Evaluation of new formulation of oxyfluorfen (23.5% EC) for weed control efficacy and bulb yield in onion. *American Journal of Plant Sciences*. 4(4): 890-895. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.44109>
- Reshi, Z.A., Ahmad, W., Lukatkin, A.S., Javed, S.B. (2023). From Nature to Lab: A Review of Secondary Metabolite Biosynthetic Pathways, Environmental Influences, and In Vitro Approaches. *Metabolites*. 13(8):895. <https://doi.org/10.3390/metabo13080895>
- Rivera-Dávila, O.L., Sánchez-Martínez, G., Rico-Martínez, R. (2022). Toxicity tests, bioaccumulation and residuality of pyrethroid insecticides commonly used to control conifer bark beetles in Mexico. *Ecotoxicology*. 31:782–796. <https://doi.org/10.1007/s10646-022-02546-2>
- ROMAKK, (2024). Aqueous Silicone Defoamer of Activated Polydimethylsiloxane: Enhancing Agrochemical Efficiency through Foam Reduction. <https://romakksilicones.com/aqueous-silicone-defoamer-of-activated-polydimethylsiloxane-enhancing-agrochemical-efficiency-through-foam-mitigation/>
- SADER, (2020). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Si la vida te da limones... ojalá que sean de la variedad COLIMEX. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/si-la-vida-te-da-limones-ojala-que-sean-de-la-variedad-colimex?idiom=es>
- SADER, (2021). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Desarrolla Agricultura nueva variedad de limón, que ofrece mayor rendimiento y adaptación en beneficio de productores de Colima y Michoacán. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/desarrolla-agricultura-nueva-variedad-de-limon-que-ofrece-mayor-rendimiento-y-adaptacion-en-beneficio-de-productores-de-colima-y-michoacan?idiom=es>

- Salam, U., Ullah, S., Tang, Z.H., Elateeq, A.A., Khan, Y., Khan, J., Khan, A., Ali, S. (2023). Plant Metabolomics: An Overview of the Role of Primary and Secondary Metabolites against Different Environmental Stress Factors. *Life*. 13:706. <https://doi.org/10.3390/life13030706>
- Samai, S., Muhidin, (2021). Urea effectivity as herbicide adjuvant to control weed in minimum tillage system. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 807 042065, pp 1-7.
- Sangwan, S., Kaur, H., Sharma, P., Sindhu, M., Wati, L. (2022). Routing microbial biosurfactants to agriculture for revitalization of soil and plant growth. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 313–338.
- SAS Institute, (2012). SAS/STAT User's Guide: Software Version 9.4. Statistical Analysis System Institute. Cary, North Carolina, USA.
- Schwarzländer, M., Hinz, H.L., Winston, R.L. (2018). Biological weed control: an analysis of introductions, establishment rates and success rates, worldwide. 63: 319. <https://doi.org/10.1007/s10526-018-9890-8>
- Selwal, N., Rahayu, F., Herwati, A., Latifah, E., Supriyono, S.C., Kade S.I.B., Mahayu, W.M., Wani, A.K. (2023). Enhancing secondary metabolite production in plants: Exploring traditional and modern strategies. *Journal of Agriculture and Food Research*.
- SIAP (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sigma, (2024). Herbicidas Orgánicos para Agricultura Sostenible. <https://sigma-agro.com/agroquimico/herbicidas-orgnicos-para-agricultura-sostenible>
- Sivapathasekaran, C., Sen, R. (2017). Origin, properties, production and purification of microbial surfactants as molecules with immense commercial potential. *Tenside Surfactants Deterg.* 54, 92–104.

- UMA, 2024. A Guide to Weed Life Cycles. <https://ag.umass.edu/turf/factsheets/guide-to-weed-life-cycles>
- Utomo, I.H. and Soebardja, B. (1990). Efikasi penggunaan glifosat + surfaktan pulse untuk mengendalikan alang-alang Prosiding Konferensi. HIGI X (Malang: Universitas Brawijaya) pp 434–7
- Vargas, L., Roman, E.S. (2006). Conceitos e aplicações dos adjuvantes. Passo Fundo: Embrapa Trigo. 10 pp. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 56).
- Vila-Aiub, M.M., Vidal, R.A., Balbi, M.C., Gundel, P.E., Trucco, F., Ghersa, C. M. (2008). Glyphosateresistant weeds of South American cropping systems: an overview. *Pest management science*. 64: 366–371. doi:10.1002/ps.1488
- Willer, H., Lernoud, J. (2017). Organic Agriculture Worldwide 2017: Current Statistics; Research Institute of Organic Agriculture (FiBL): Frick, Switzerland.
- Woodburn, A.T. (2000). Glyphosate: production, pricing and use worldwide. *Pest. Manag. Sci.* 56: 309-312. doi:10.1002/(SICI)1526-4998(200004)56:4<309::AID-PS143>3.0.CO;2-C
- WSSA. (2019). WSSA Position Statement on Biological Control of Weeds <https://old.wssa.net/wssa/weed/biological-control/>
- Xu, W., Chahine, N., Sulchek T (2011). Extreme hardening of PDMS thin films due to high compressive strain and confined thickness. *Langmuir : the ACS journal of surfaces and colloids*. 27(13): 8470–8477. <https://doi.org/10.1021/la201122e>
- Yang, L., Wen, K.S., Ruan, X., Zhao, Y.X., Wei, F., Wang, Q. (2018). Response of Plant Secondary Metabolites to Environmental Factors. *Molecules* (Basel, Switzerland) 23:762. <https://doi.org/10.3390/molecules23040762>
- Zaman, Q., Zia, K. M., Zuber, M., Mabkhot, Y. N., Almalki, F., Hadda, T. B. (2019). A comprehensive review on synthesis, characterization, and applications of polydimethylsiloxane and copolymers. *International Journal of Plastics Technology*. 23: 261–282. <https://doi.org/10.1007/s12588-019-09259-y>

Zulet-González, A., Fernández-Escalada, M., Gil-Monreal, M., Mercedes, Royuela A.Z. (2018). Efecto del glifosato y de diferentes intermediarios metabólicos en la regulación de la ruta del siquimato. *PHYTOMA*, 3:46-5.

ANEXOS

Cuadro 1. ANOVA Experimento 1

Procedimiento ANOVA					
Variable dependiente: Y					
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	111	455229.4256	4101.1660	141.74	<.0001
Error	224	6481.3333	28.9345		
Total corregido	335	461710.7589			
R-cuadrado Coef Var Raíz MSE Y Media					
0.985962 24.42064 5.379082 22.02679					
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
A	6	409521.6964	68253.6161	2358.90	<.0001
B	3	888.7470	296.2490	10.24	<.0001
A*B	18	2534.2321	140.7907	4.87	<.0001
C	3	11894.5565	3964.8522	137.03	<.0001
A*C	18	29984.7560	1665.8198	57.57	<.0001
B*C	9	45.7411	5.0823	0.18	0.9963
A*B*C	54	359.6964	6.6610	0.23	1.0000

Cuadro 2. ANOVA Experimento 2

Procedimiento ANOVA					
Variable dependiente: Y					
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	111	489027.8304	4405.6561	201.95	<.0001
Error	224	4886.6667	21.8155		
Total corregido	335	493914.4970			
R-cuadrado Coef Var Raíz MSE Y Media					
0.990106 20.09162 4.670704 23.24702					
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
A	6	458787.1012	76464.5169	3505.06	<.0001
B	3	4515.4137	1505.1379	68.99	<.0001
A*B	18	17018.8988	945.4944	43.34	<.0001
C	3	1387.4375	462.4792	21.20	<.0001
A*C	18	4032.8750	224.0486	10.27	<.0001
B*C	9	770.0268	85.5585	3.92	0.0001
A*B*C	54	2516.0774	46.5940	2.14	<.0001

Cuadro 3. Resultados en el factor A (Productos) en el experimento 1

Procedimiento ANOVA			
Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Y			
Note: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.			
Alpha			0.05
Grados de error de libertad			224
Error de cuadrado medio			28.93452
Valor crítico del rango estudentizado			4.20776
Diferencia significativa mínima			3.2669
Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.			
Tukey Agrupamiento	Media	N	A
A	81.625	48	6
B	72.563	48	5
C	0.000	48	3
C			
C	0.000	48	4
C			
C	0.000	48	1
C			
C	0.000	48	2
C			
C	0.000	48	7

Cuadro 4. Resultados en el factor A (Productos) en el experimento 2

Procedimiento ANOVA			
Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Y			
Note: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.			
Alpha			0.05
Grados de error de libertad			224
Error de cuadrado medio			21.81548
Valor crítico del rango estudentizado			4.20776
Diferencia significativa mínima			2.8367
Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.			
Tukey Agrupamiento	Media	N	A
A	88.4583	48	6
B	74.2708	48	5
C	0.0000	48	3
C			
C	0.0000	48	4
C			
C	0.0000	48	1
C			
C	0.0000	48	2
C			
C	0.0000	48	7

Cuadro 5. Resultados en el factor B (dosis) en el experimento 1

Procedimiento ANOVA			
Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Y			
Note: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.			
Alpha			0.05
Grados de error de libertad			224
Error de cuadrado medio			28.93452
Valor crítico del rango estudentizado			3.66058
Diferencia significativa mínima			2.1484
Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.			
Tukey	Agrupamiento	Media	N B
	A	23.6786	84 4
	A		
B	A	23.3452	84 2
B			
B	C	21.4643	84 1
	C		
	C	19.6190	84 3

Cuadro 6. Resultados en el factor B (dosis) en el experimento 2

Procedimiento ANOVA			
Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Y			
Note: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.			
Alpha			0.05
Grados de error de libertad			224
Error de cuadrado medio			21.81548
Valor crítico del rango estudentizado			3.66058
Diferencia significativa mínima			1.8655
Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.			
Tukey Agrupamiento	Media	N	B
A	27.0714	84	4
A			
A	25.9048	84	1
B			
B	22.3571	84	2
C			
C	17.6548	84	3

Cuadro 7. Resultados en el factor C (Fechas de evaluación) en el experimento 1

Procedimiento ANOVA			
Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Y			
Note: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.			
Tukey Agrupamiento	Media	N	C
A	25.7024	84	2
A			
A	25.4881	84	3
A			
A	25.1905	84	1
B	11.7262	84	4

Cuadro 8. Resultados en el factor C (Fechas de evaluación) en el experimento 2

Procedimiento ANOVA			
Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Y			
Note: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.			
Tukey Agrupamiento	Media	N	C
A	24.8929	84	2
A			
A	24.7500	84	3
A			
A	23.4881	84	1
B	19.8571	84	4