



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
COORDINACIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**MANEJO DE ÁRBOLES DE NARANJA CON SEQUÍA Y SÍNTOMAS
DE *Candidatus Liberibacter asiaticus* MEDIANTE FERTILIZACIÓN
ORGÁNICA Y QUÍMICA**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Presenta:

CARLOS JULIÁN TORRES GONZÁLEZ:

Bajo la dirección del Dr. GUSTAVO ALMAGUER VARGAS



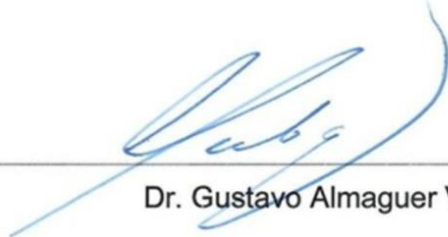
Chapingo, Texcoco, Estado de México, mayo de 2024

**MANEJO DE ÁRBOLES DE NARANJA CON SEQUÍA Y SÍNTOMAS
DE *Candidatus Liberibacter asiaticus* MEDIANTE FERTILIZACIÓN
ORGÁNICA Y QUÍMICA**

Tesis realizada por **CARLOS JULIÁN TORRES GONZÁLEZ** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



Dr. Gustavo Almaguer Vargas

ASESOR:



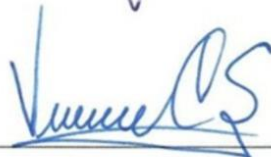
Dra. María Edna Álvarez Sánchez

ASESOR:



Dr. Raúl Nieto Angel

ASESOR:



Dra. Viviana Alexandra Carvajal Salazar

CONTENIDO

I. ÍNDICE DE CUADROS	V
II. ÍNDICE DE FIGURAS	VI
III. DEDICATORIAS	VII
IV. AGRADECIMIENTOS	VIII
V. DATOS BIOGRÁFICOS.....	IX
VI. RESUMEN GENERAL.....	X
VII. GENERAL ABSTRACT.....	XI
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	6
1.1.1 Objetivo general.....	6
1.1.2 Objetivos específicos	6
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA	7
2.1 Importancia y ventajas del uso de compostas.....	7
2.2 Soya forrajera: Importancia y ventajas.....	8
2.3 Asociación de cultivos naranja-soya forrajera	8
2.4 Necesidades del suelo en el cultivo de naranja	9
2.5 Fotosíntesis y captura de carbono.....	9
2.6 HuangLongBing (HLB) en cítricos.....	10
2.7 Sequías y cambio climático.....	11
2.8 Literatura citada	16
3. ARTÍCULO. ORANGE TREE MANAGEMENT UNDER DROUGHT CONDITIONS AND HUANGLONGBING SYMPTOMS.....	23
3.1. ABSTRACT	23
3.1. RESUMEN	24
3.3. INTRODUCCIÓN	25
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.4.1. Ubicación	25
3.4.2. Material y montaje del experimento	27
3.4.3. Tipo de composta y cobertera.....	27
3.4.6. Tratamientos.....	27

3.4.5. Diseño experimental	28
3.4.6. Variables a evaluar	29
3.4.6.1. Floración	29
3.4.6.2. Conteo final de frutos y estimación del rendimiento en los naranjos	29
3.4.6.3. Análisis de suelo.....	29
3.4.6.4. Asimilación neta de dióxido de carbono	30
3.4.6.5. Humedad y temperatura del suelo.....	30
3.4.7. Análisis estadístico	30
3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
3.5.1. Floración	31
3.5.2. Rendimiento de naranjos	32
3.5.3. Humedad del suelo	34
3.5.4. Temperatura del suelo	36
3.5.5. Estimación de la asimilación de CO ₂	37
3.6 CONCLUSIONES	39
3.7. LITERATURA CITADA.....	40

I. ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos aplicados árboles de naranja en Álamo, Veracruz con síntomas de sequía y HLB.	28
Cuadro 2. Análisis de suelo sin tratamiento y de la composta, noviembre 2021. ...	29
Cuadro 3. Número de flores por m ² en promedio en cada tratamiento	31
Cuadro 4. Número total de naranjas por árbol en cada tratamiento	32
Cuadro 5. Intercambio neto de CO ₂ en hojas de árboles de naranja.....	37
Cuadro 6. Intercambio neto de CO ₂ en la soya forrajera (tratamientos de “soya” y “soya-composta”) y en los pastos.	38
Cuadro 7. Porcentaje de humedad de suelo en cada tratamiento	35
Cuadro 8. Lecturas de temperaturas de suelo en cada tratamiento	36

II. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. A) Adulto del psilido asiático de los cítricos <i>Diaphorina citri</i> Kuwayama (Homoptera: <i>Psyllidae</i>), vector del HLB. B) Síntomas del HLB en las hojas y frutos.....	10
Figura 2. Precipitaciones con datos del Sistema Meteorológico Nacional	13
Figura 3. Predicciones de precipitaciones de DAYMET con datos climatológicos de la NASA	13
Figura 4. Predicciones mensuales desde el 2019 al 2023.	14
Figura 5. Temperatura ambiental anual. Valor promedio, máximo y mínimo.	14
Figura 6. Ubicación geográfica de Álamo Temapache.....	26
Figura 7. Estimación de rendimiento por hectárea.....	34

III. DEDICATORIAS

A la vida por darme la oportunidad de vivir este sueño, de recorrer este camino llamado vida. Porque ahora he encontrado el significado de estar aquí.

Se la dedico a mis padres. Ellos han sido lo más importante en mi formación. Se la dedico a ellos para que vean que las cosas pueden cambiar y que esto no solo fue un gusto momentáneo, esto apenas comienza, será toda una vida.

Principalmente es para Carlos ese rebelde que siempre piensa en un mundo mejor y que con altibajos, pero ha llegado hasta aquí. Este solo es el principio del camino. Va dedicada a ti, es la culminación del primer paso de muchos más grandes que vendrán.

IV. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo por darme la oportunidad de cumplir esta meta y contribuiré a cumplir el camino y objetivos que me he trazado.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada durante mi estadía en el posgrado.

A los integrantes de mi comité de asesores, Dr. Gustavo Almaguer Vargas, Dr. María Edna Álvarez Sánchez, Dr. Raúl Nieto Angel y la Dra. Viviana Alexandra Carvajal Salazar por su apoyo incondicional, enseñanza, dedicación. La oportunidad que me dieron de ser parte de este aprendizaje donde me inicio en la investigación no lo hubiera podido hacer sin sus cuestionamientos hacia mí para mejorar. De todo corazón nunca lo olvidaré, son para mí un ejemplo de la disciplina y la visión que no debo perder.

Agradezco a los profesores investigadores que me impartieron clases porque me abrieron el mundo a temas que impactaron mi presente y me impulsaron a buscar respuestas en lo que sucede a mi alrededor.

Un agradecimiento especial a mis amigos los foráneos que son un grupo excelente que me hicieron sentir como en casa, me comprendieron y también impulsaron a dar lo mejor de mí. Somos los mejores.

A todas y cada una de las personas que me ayudaron para seguir hasta concluir este posgrado, a mis padres, mis hermanas y todas las personas que me apoyaron en algún momento tanto económica como moralmente durante este trayecto.

A todos ustedes gracias porque valió y seguirá valiendo la pena todo este esfuerzo en conjunto. Estamos en tiempos cruciales y algo muy bueno y grande se va a lograr. Lo mejor está por venir.

V. DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Carlos Julián Torres González
Fecha de nacimiento: 11 de diciembre de 1987
Lugar de nacimiento: Nezahualcóyotl, Estado de México
No Cartilla militar: 9190757
CURP: TOGC871211HMCRNR05
Profesión: Ingeniero en Mecatrónica
Cedula profesional: 7348340

Desarrollo académico

Bachillerato: CONALEP, Reynosa, Tamaulipas.
(2002 – 2005)
Licenciatura: Instituto Tecnológico de Reynosa, Reynosa,
(2005 – 2011) Tamaulipas.

VI. RESUMEN GENERAL

MANEJO DE ÁRBOLES DE NARANJA CON SEQUÍA Y SÍNTOMAS DE *Candidatus Liberibacter asiaticus* MEDIANTE FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y QUÍMICA

La producción de cítricos y en especial de naranja se ve seriamente amenazada al presentar bajo rendimiento y calidad en el fruto, relacionado principalmente con la incidencia de HuangLongBing (HLB). Efecto que se incrementa por períodos prolongados de escasez de agua de lluvia y alta temperatura. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la fertilización química al suelo y foliar, fertilización orgánica con composta y soya forrajera como cobertera en árboles de naranja 'Valencia' (*Citrus sinensis*) con síntomas asociados al HLB. Se trabajó en un huerto comercial de 25 años de edad en temporal en el Municipio de Álamo, Veracruz. Los tratamientos utilizados fueron soya, soya-composta, composta, fertilización química con sulfato de amonio al suelo y aspersion foliar. Se empleó un diseño experimental completamente al azar con 15 repeticiones. Las variables evaluadas fueron número de frutos y su peso por árbol, el número de flores producidas por metro cuadrado, CO₂ asimilado; humedad y temperatura del suelo en el área de goteo de los árboles. El tratamiento con soya mostró los mejores resultados en la floración y número de frutos que fue de 150 por árbol. Este tratamiento también presentó la mayor retención de humedad (36 %) y la menor temperatura del suelo (31.4 °C), tanto a 15, 20 y 30 cm de profundidad. La mayor asimilación de CO₂ se presentó en los árboles del tratamiento con soya-composta.

Palabras clave: cítricos, humedad, soya, nutrición, sulfato de amonio

Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Carlos Julián Torres González

Director de Tesis: Dr. Gustavo Almaguer Vargas

VII. GENERAL ABSTRACT

MANAGEMENT OF ORANGE TREES IN DROUGHT AND HUANGLONGBING SYMPTOMS BY MULCHING, ORGANIC AND CHEMICAL FERTILIZATION

Citrus production, especially orange production, is seriously threatened by low yield and fruit quality, mainly related to the incidence of HuangLongBing (HLB). This effect is increased by prolonged periods of rainwater shortage and high temperature. The objective of this research was to evaluate the effect of soil and foliar chemical fertilization, organic fertilization with compost and forage soybean as a mulch on 'Valencia' orange trees (*Citrus sinensis*) with symptoms associated with HLB. Work was carried out in a 25-year-old commercial rainfed orchard in the municipality of Alamo, Veracruz. The treatments used were soybean, soybean-compost, compost, chemical fertilization with ammonium sulphate to the soil and foliar spraying. A completely randomized experimental design with 15 replications was used. The variables evaluated were number of fruits and their weight per tree, number of flowers produced per square meter, CO₂ assimilation, soil moisture and temperature in the drip area of the trees. The soybean treatment showed the best results in flowering and number of fruits which was 150 per tree. This treatment also showed the highest moisture retention (36 %) and the lowest soil temperature (31.4 °C) at 15, 20 and 30 cm depth. The highest CO₂ assimilation occurred in the trees that received soybean-compost treatment.

Keywords: citrus, moisture, soybeans, nutrition, ammonium sulfate.

Thesis of Master of Science in Horticulture, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Carlos Julián Torres González

Thesis Director: Dr. Gustavo Almaguer Vargas

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La citricultura en México es considerada como una de las actividades agrícolas más importantes dentro de la agricultura debido a la mayor superficie cultivada en de los frutales y empleos que genera. Entre los cítricos el más relevante, en cuanto a la superficie sembrada y el volumen de producción, es la naranja (Enríquez, 2023).

A nivel nacional, el estado de Veracruz aportó hasta 2018 cerca del 50 % de la producción nacional de naranja, esto lo llevó a establecerse como la entidad más importante en la producción de este cítrico en el país. (Mercado et al., 2020; Oble et al., 2018; Rivera-López, 2020). Tan solo el municipio de Álamo Temapache produjo más del 30 % de la producción del estado lo que representa el 24 % del total nacional (Mercado et al., 2020).

En distintas zonas de México, como en el caso de Álamo Temapache, las precipitaciones han disminuido drásticamente en años recientes, ejemplo de esto es que, de las más de 60 mil hectáreas sembradas de cítricos en el municipio, 40 mil de ellas han sido reportadas como siniestradas debido a la marcada sequía, lo que representa un 70 % de la superficie total (Valdés-Rodríguez, 2022). Un estrés ocasionado por una falta de agua en periodos prolongados puede causar daños como defoliación, deterioro y disminución de la copa de los árboles. También, reduce el crecimiento de nuevos brotes y hojas, con lo que se disminuyen los carbohidratos disponibles para el crecimiento de los frutos (Luna-Flores et al., 2012). La escasez de agua en el suelo también reduce la absorción de nutrientes y el cultivo lo expresa en una menor tasa de crecimiento y por ende menor rendimiento (Núñez et al., 2017). Los árboles afectados por la sequía son dañados fácilmente por enfermedades como el HuangLongBing (HLB) (Valdés-Rodríguez, 2022).

De hecho, en los últimos años, la citricultura en México, principalmente el cultivo de naranja ha presentado la aparición progresiva de enfermedades tales como el HuangLongBing (*Candidatus Liberibacter spp.*). El vector transmisor de esta enfermedad es la *Diaphorina citri*, del cual se tiene registro que apareció en México desde el 2002 (Ortega-Arenas et al., 2013). Sin embargo, el HLB se manifestó

inicialmente en los estados de Yucatán hasta el 2009 (Garza-Saldaña et al., 2017), Colima en el 2010, Michoacán en 2010 (Robles et al., 2013); en Chiapas y Veracruz, en el 2011 (Hernández-Landa et al., 2017) y en Baja California Sur, Hidalgo y San Luis Potosí en 2012 (Garza-Saldaña et al., 2017).

En Veracruz, específicamente en Álamo, la mayoría de los árboles ya presentan síntomas de HLB (Hernández-Landa et al., 2017). Los árboles con esta enfermedad tienen una pérdida generalizada de su vigor, con una reducción progresiva de la copa, lo que se traduce en una disminución en la producción del fruto (Barrón & Hernández, 2014). Se presentan hojas con machas amarillas y un moteado asimétrico, nervaduras gruesas, hojas pequeñas y con efecto de orejas de conejo, así mismo, en los árboles se observa una caída excesiva de hojas y frutos. Los frutos suelen ser pequeños, poco desarrollados y deformes, las semillas pueden ser abortadas, el fruto tiene una maduración irregular y el jugo es amargo (Barrón & Hernández, 2014). En etapas avanzadas de la enfermedad el árbol muere en un lapso de 3 a 8 años (Robles et al., 2013). Esto representa un riesgo mayor al 50 % de pérdidas en la producción (Hernández-Landa et al., 2017).

Debido a que actualmente no existen métodos directos para erradicar este patógeno en los árboles ya infectados, se están llevando a cabo prácticas culturales para controlar al psílido-vector *Diaphorina citri* como medida alterna para disminuir el daño por HLB y de esta forma se puede evitar la dispersión hacia los ejemplares hospederos o incluso a otras regiones y estados (Barrón & Hernández, 2014).

Además de esto, factores bióticos y abióticos como vectores transmisores de enfermedades, lluvias irregulares con largos periodos de sequía, suelos con pH alcalinos, y altas temperaturas, entre otras cosas, pueden ocasionar que los árboles sean aún más vulnerables a esta enfermedad (Sangüesa-Barreda et al., 2015).

Cabe destacar, que desde que se detectó la aparición de la enfermedad en el norte de Veracruz en 2011, no había afectaciones considerables y la producción seguía siendo estable hasta el 2018, sin embargo, desde el 2019, comenzó a haber una disminución en la precipitación con largos periodos de sequía y los árboles

comenzaron a tener un descenso paulatino de la producción (Alemán et al., 2007). Asimismo, los síntomas de la presencia de HLB en los árboles fueron en aumento con pérdida en el vigor y un marcado descenso de la producción de 20 t·ha⁻¹ (todavía en 2019) a no más de 3 a 5 t·ha⁻¹ en el 2021.

Otra enfermedad que presentan una gran cantidad de árboles es la Gomosis, que puede ser causada por *Lasiodiplodia* spp. (Bautista-Cruz et al., 2014; Sáenz et al., 2019). Varios factores influyen en la proliferación de esta enfermedad como salpicaduras de la lluvia, estancamientos de agua y mal drenaje, sistemas de riego por aspersión, variedades susceptibles y uniones de injertos cercanos al suelo (Bautista-Cruz et al., 2014). Para la multiplicación y esparcimiento del patógeno se requiere una humedad relativa superior al 80 % y temperaturas entre 28 a 32 °C (Bautista-Cruz et al., 2014). La infección inicia en el suelo por las esporas que se pueden transportar por medio del agua y pasar por el tronco hasta las raíces (Srinivasulu et al., 2018). La gomosis aparece generalmente en el cuello del tallo, en la unión del injerto y el portainjerto (Tanoi & Kobayashi, 2015). El patógeno afecta la corteza de la raíz hasta descomponer sus fibras (Yan et al., 2017), esto ocasiona una disminución de la absorción de agua y nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y hierro, lo que traerá consigo que el árbol presente clorosis, defoliación y un menor crecimiento vegetativo y del fruto (Srivastava & Shirgure, 2018).

Para que los árboles sigan productivos, es conveniente realizar un manejo integrado, que ha mostrado ser un método de control racional y eficaz de plagas y enfermedades que combina el uso de productos fitosanitarios, organismos benéficos y prácticas culturales, tales como coberturas físicas, prácticas culturales, compostas, fertirrigación, selección varietal, etc. (Anguiano et al., 2013). El objetivo principal de un manejo integrado es mitigar las consecuencias negativas de un enfoque con manejo tradicional con beneficios tales como reducción de la exposición de los trabajadores a productos químicos, uso de métodos de manejo naturales con el menor daño para el medio ambiente, eliminación de la contaminación del suelo, prevención de la resistencia a enfermedades, todo ello

traería como consecuencia una agricultura sostenible a largo plazo (Garza-Saldaña et al., 2017).

Es importante resaltar que en los últimos años se ha presentado un incremento en los precios de los fertilizantes sintéticos, de los insecticidas y fungicidas, además de una disminución en su disponibilidad por el desabasto (De Miguel, 2021). En el caso de la urea, se presenta una situación parecida, ya que ha tenido un incremento de tres veces su precio respecto al que tenía hace un año en el 2021 (De Miguel, 2021). La fertilización orgánica, por tanto, vuelve a cobrar importancia en la nutrición de los árboles (De Miguel, 2021).

Una de las formas de fertilizar de manera orgánica es usando leguminosas, las cuales han sido empleadas como cultivos de cobertera de múltiples propósitos ya que ayudan a prevenir la erosión del suelo, regulan la humedad, atraen insectos polinizadores, facilitan el control de malas hierbas y plagas, además de servir como fuente de abono verde, materia orgánica y fijadores de nitrógeno (Villalobos & Tobía, 2004). Por otra parte, las compostas además de aportar nutrientes favorecen la retención de humedad y contribuyen a reducir la dependencia de fertilizantes químicos (Bautista-Cruz et al., 2014).

En el municipio de Álamo ya se ha tratado de introducir ciertas leguminosas como *Canavalia*, *Mucuna* y *Arachis pintoii*, pero sin éxito debido a problemas climáticos (falta de humedad) o a que no han sido del agrado del productor. Hasta hace un par de años se inició con el cultivo de soya forrajera junto a los árboles; sin embargo, no hay estudios en la literatura que refieran el efecto del uso de soya forrajera asociado con árboles de naranja en estas condiciones ni su relación con la presencia de *Diaphorina citri*. No se tiene conocimiento sobre cuáles son los beneficios que traerá el uso de soya forrajera como cultivo asociado con los árboles de naranja con presencia HLB.

Algunos productores también han realizado incorporaciones de compostas, pero lo hacen de manera empírica, pues no se conoce la cantidad de composta que

necesitan los árboles dadas las condiciones en que se encuentran, porque se necesita un análisis de suelo.

La importancia de esta investigación es tal que, si se logra mitigar el daño por HLB en los árboles por medio de un manejo integrado, se podría incrementar la producción de estos. Además, ayudaría a los productores a tomar medidas posteriores como puede ser sustituir paulatinamente los árboles más enfermos y viejos, ya que sustituir el 100 % de la plantación no es una opción porque esto representa al menos una pérdida de 3 años de posible cosecha para los productores.

Un manejo integrado puede favorecer una producción más rentable y con mayores beneficios ecológicos. Por otro lado, al tener resultados favorables, entidades como ANAPROCI, que es la asociación nacional de jugueras y empacadoras de cítricos, podrá atender de mejor forma la problemática del daño que está causando el HLB en la citricultura. Así mismo, los gobiernos municipales, estatales y federales, podrían extender los esfuerzos hacia ese objetivo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de la cobertera, la fertilización orgánica y química en la mitigación del daño causado por la sequía y HuangLongBing en árboles de naranja en el municipio de Álamo, Veracruz.

1.1.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la fertilización orgánica con cultivo de cobertera y adición de composta en árboles de naranja con síntomas de HLB en la brotación y amarre de fruto como indicadores de rendimiento.
- Evaluar el efecto de la fertilización química al suelo y aspersion foliar en árboles de naranja con síntomas de HLB en la brotación y amarre de fruto como indicadores de rendimiento.
- Cuantificar en condiciones de manejo orgánica y convencional la capacidad de captura de dióxido de carbono de los árboles de naranja, soya forrajera y pasto asociado.
- Evaluar el efecto de la cobertera en la temperatura y la humedad edáfica, para entender los beneficios de este tipo de manejo.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia y ventajas del uso de compostas

Incorporar residuos orgánicos en el suelo representa una excelente alternativa como fuente de nutrición vegetal para la producción de cultivos (Bautista-Cruz et al., 2014). El compostaje es un proceso que sirve para transformar estos residuos en un producto de gran beneficio que se incorpora al suelo como abono orgánico, el cual mejora las condiciones físicas y nutrimentales del mismo (Trinidad-Santos & Velasco-Velasco, 2018). El efecto más significativo que se produce sobre un suelo con la adición de residuos orgánicos es el aumento de su contenido en materia orgánica (Bautista-Cruz et al., 2014).

Al utilizar los abonos orgánicos en forma frecuente en los suelos agrícolas, se incrementa el contenido de materia orgánica a mediano y largo plazo y, con ello, la disponibilidad de nutrimentos (Bulluck et al., 2002). Esto es, los árboles cuentan con mayor disponibilidad de macronutrimentos (N, K, P, Ca, Mg y S) y micronutrimentos (Fe, Mn, Cu, Zn Ni, B, Mo y Cl) y se incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Trinidad-Santos & Velasco-Velasco, 2018). Las mejores respuestas de los suelos agrícolas a la incorporación de abonos orgánicos son aquellos de textura media a gruesa, como los suelos francos, areno-franco, arcillo-franco y arenosos (Bulluck et al., 2002).

La adición de compostas como abonos orgánicos al suelo, es una opción para mejorar sus condiciones físicas y químicas, incrementar la mineralización del carbono y estimular la actividad biológica (Hargreaves et al., 2008; Lovieno et al., 2009; Roldán et al., 2003). Las compostas contribuyen a mejorar la estructura, retención de humedad en el suelo, estabilidad de agregados, y a disminuir la pérdida de nutrimentos reduciendo el escurrimiento del agua de riego y lluvia, previniendo de esta forma la erosión del suelo (Bastida et al., 2007; Martínez, 2019; Tello & Vega, 2015). Así mismo, incrementan la capacidad del suelo para retener cationes intercambiables (Weber et al., 2007). La rapidez para mineralizar la materia orgánica dependerá de la naturaleza química y física de los residuos orgánicos, de los

microorganismos que intervinieron en la descomposición y de las condiciones fisicoquímicas de este proceso (temperatura, humedad, aireación, y pH) (Bulluck et al., 2002; Trinidad-Santos & Velasco-Velasco, 2018).

2.2 Soya forrajera: Importancia y ventajas

Esta planta herbácea tiene su origen en centro y Sudamérica se ha cultivado, principalmente, por su valor alimenticio para el ganado, debido a que gran parte de su contenido aéreo se encuentra conformado por material herbáceo con altos niveles de proteína (38 %) y una alta digestibilidad (82 %), buen balance de aminoácidos y bajos costos comparados con otras fuentes proteicas (Torres et al., 2018). Como especie fijadora de nitrógeno se utiliza acompañada de otros cultivos como parte de una asociación y rotación (Barquero, 2024).

Una característica importante de la soya es que, bajo ciertas condiciones de estrés, tiene capacidad de refoliación, es decir, la posibilidad de producir hojas nuevas si las llega a perder (Torres et al., 2018). Además, puede obtener gran parte de sus necesidades de nitrógeno de la atmósfera, a través de la fijación biológica, reduciendo así las cantidades de fertilizante necesario (Torres et al., 2018). Cabe mencionar, que los iones hidrógenos liberados por la fijación del nitrógeno, participan en el proceso de acidificación del suelo (Villalobos & Tobía, 2004).

2.3 Asociación de cultivos naranja-soya forrajera

La asociación de cultivos presenta una mayor eficiencia biológica comparada con los monocultivos, ya que se aprovechan todos los espacios disponibles en el suelo sembrado al mismo tiempo, reduce también la erosión del suelo debido a una protección física, cumpliendo su función como cobertera; además, atrae insectos benéficos, entre ellos polinizadores o a los que combaten a otros insectos que son considerados plaga (López et al., 2019). Esta asociación aumenta la productividad de los cultivos de manera que los nutrientes del suelo son mejor aprovechados, entre otras cosas, porque se integran mayores cantidades de biomasa lo que influye en la productividad (Tamayo & Alegre, 2022). Utilizar soya forrajera como cultivo de asociación con cítricos presenta la ventaja, además de lo anterior, que es una

especie fijadora de nitrógeno y por medio de los rizobios que forman nódulos en las raíces de los árboles, a través de los cuales capturan el nitrógeno del aire, lo fijan en la raíz y hacen disponible para sí misma y para el suelo (Tamayo & Alegre, 2022). Estas bacterias se activan en presencia de leguminosas ya que siempre presentes en el suelo y mediante un sistema de micorrizas pueden incrementar su alcance a las raíces de los árboles (Torres et al., 2018).

2.4 Necesidades del suelo en el cultivo de naranja

Para que el cultivo de naranja tenga una adecuada producción y desarrollo, al igual que todos los cítricos, se requiere de suelos bien drenados con texturas arenosas a francas con buena profundidad (Yan et al., 2017). De forma que cuando los suelos tienen presente una proporción de arcilla superior al 50 %, el crecimiento de las raíces se ve seriamente disminuido (Villalobos & Tobía, 2004). También, la permeabilidad del suelo debe oscilar entre 20 y 25 $\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ y deben evitarse suelos con una permeabilidad arriba de los 40 $\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$, los cuales son incapaces de retener agua, o inferiores a 5 $\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$, los cuales tienen gran facilidad de encharcamiento (Hillary, 2020). La conductividad en el extracto de saturación deberá estar entre 1.7 y 3.2 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Hillary, 2020).

Para el cultivo de naranja se prefieren suelos con pH entre 5.5 a 7.0 con salinidad baja (Pérez & Nava, 2021); cuando los niveles de pH bajan a 4.5 la producción puede verse perjudicada y disminuir a la mitad debido a la toxicidad ocasionada por iones de aluminio y metales pesados, de igual forma presentando disponibilidad restringida de fósforo (El-Salhy et al., 2010). Bajo condiciones de pH mayores que 7.5, la disponibilidad de nutrientes puede ser limitada, sobre todo en nitrógeno y micronutrientes, a pesar de que estén presentes en el suelo cantidades altas de estos nutrientes (El-Salhy et al., 2010).

2.5 Fotosíntesis y captura de carbono

La captura de carbono es el proceso mediante el cual el dióxido de carbono (CO_2) es tomado de la atmósfera y transformado en oxígeno (O_2), carbohidratos y carbonatos, mediante la fotosíntesis (Anguiano et al., 2013). Cualquier cultivo, como

en este caso el de naranja o soya forrajera, pueden representar una importante alternativa práctica y real para la regulación ambiental, al generar una alta producción de biomasa y así maximizar el proceso de la fotosíntesis; y, por lo tanto, la capacidad de almacenar el carbono del aire (López et al., 2018). Tanto en la naranja como en la soya, existe una asimilación de CO₂ por fotosíntesis, pero también se tiene una emisión de CO₂ por procesos tales como la respiración “oscura” y la fotorrespiración (Zermeño-González et al., 2012). Entre ambos flujos de carbono se establece un intercambio neto de CO₂ conocido como asimilación neta que es lo que está capturando dicho cultivo (Zermeño-González et al., 2012).

2.6 HuangLongBing (HLB) en cítricos

La enfermedad más importante que afecta a los cítricos es el psilido de origen asiático *Diaphorina citri* Kuwayama, el cual ocasiona daños directos e indirectos en la planta hospedante (Alemán et al., 2007).



a)



b)

Figura 1. a) Adulto del psilido asiático de los cítricos *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: *Psyllidae*), vector del HLB. b) Síntomas del HLB en las hojas y frutos. Fuente: Elaboración propia

Los primeros son causados debido a que las ninfas y adultos extraen grandes cantidades de savia durante el proceso de alimentación, lo que propicia la formación de fumagina en la superficie de las hojas y causa distorsión en brotes jóvenes (Alemán et al., 2007), mientras que los daños indirectos se deben a que la *D. citri* es un eficiente vector de la enfermedad denominada HuangLongBing (Figura 1) causada por las bacterias *Candidatus Liberibacter* var. *asiaticus*, *africanus* y

americanus, reconocida actualmente como la más destructiva para este cultivo, al reducir la producción sustancialmente y causar la muerte de la plantación en un periodo de cinco años (Torres-Pacheco et al., 2013).

2.7 Sequías y cambio climático

De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) éste se define como cualquier cambio en el clima con el tiempo, debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas (Díaz, 2012). A lo largo de la historia se han registrado cambios en el clima, pero tomaron cientos o miles de años en presentarse (Díaz, 2012). Sin embargo, de acuerdo con registros disponibles, ningún cambio había sido tan rápido como el actual (Sangüesa-Barreda et al., 2015).

Ahora bien, el aumento de los GEI (especialmente CO₂) están afectando los patrones climáticos normales y cambiando rápidamente las condiciones físicas, con aumento de las temperaturas atmosféricas, derretimiento de polos y glaciares, aumento del nivel del mar, disminución de los inviernos, entre otros eventos (Zhang et al., 2022), en consecuencia, la cantidad de precipitación también cambiará (Montzka et al., 2011).

En términos generales, la sequía se define como un déficit anómalo de humedad en relación con una línea base normal, pero se clasifica con mayor precisión de acuerdo a la parte del ciclo hidrológico en que ocurren estas anomalías de humedad (Wach & Piotr, 2022). Por lo general, la sequía comienza con una falta de precipitaciones (sequía meteorológica), se propaga a lo largo del ciclo hidrológico a lo largo del tiempo (generalmente de días a años), afecta la humedad del suelo (sequía agrícola) y luego afecta la escorrentía, la descarga y el flujo en los acuíferos y embalses superficiales (sequía hidrológica) (Tarjuelo et al., 2010).

Las sequías son un fenómeno complejo y multivariado que se encuentra influenciado por distintos factores físicos y biológico (Zhang et al., 2022). Dicha complejidad impide explicaciones simples de causa y efecto, lo que hace que las investigaciones sobre cambio climático y la sequía sean una tarea desafiante (Tarjuelo et al., 2010). Desde una perspectiva antropométrica, las sequías son el

resultado de un proceso que involucra complejas relaciones e interacciones entre las decisiones y actividades humanas (por ejemplo; deforestación, baja precipitación, elevadas temperaturas), la variabilidad natural de las condiciones climáticas (por ejemplo, baja precipitación, elevadas temperaturas), índice de radiación, pérdida de la capa de ozono y el fenómeno de la niña y por supuesto, el cambio climático global (Zhang et al., 2022).

Cabe mencionar que las sequías pueden ocurrir cada año o cada cierta cantidad de años, durar años o década, con la posibilidad de diversos niveles de sequía (Wach & Piotr, 2022). Por lo tanto, resulta difícil distinguir los eventos aleatorios de aquellos que pueden ser causados por el calentamiento antropogénico causado por el hombre principalmente (Zhang et al., 2022). No obstante, cuanto más coinciden los periodos de sequía con las tendencias de aumento de las temperaturas y descenso en las precipitaciones, así como con las predicciones de los modelos informáticos a través del tiempo, más certeza se puede tener para señalar el cambio climático (Wach & Piotr, 2022; Zhang et al., 2022).

Ahora bien, en ambientes tropicales, las sequías afectan a la producción agrícola, ya que principalmente provocan estrés hídrico, el cual es uno de los principales factores para inducir la floración en naranja, ya que determina en gran medida la época, la intensidad y la manera en que se distribuirá la floración (Garzón, 2013).

Además de las condiciones de sequía, cuando se presenta exceso de humedad y/o temperaturas extremas, se vuelven muy sensible y crítica la floración, brotación y la formación de frutos (Vélez et al., 2012).

En árboles adultos de naranja, los requerimientos hídricos anuales son de 1200 a 2000 mm, los cuales deben ser bien distribuidos a lo largo del año a excepción de los meses de diciembre a febrero (Panigrahi, (2023). La disminución de agua en estos meses, pero no en su totalidad, induce a una posterior floración para el mes de marzo (Panigrahi, (2023). En general si la precipitación es menor a 1200 mm anuales, se debe complementar con riego (Garzón et al., 2013).

De acuerdo con datos obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional, el déficit de precipitación en la región huasteca comienza en realidad en la segunda mitad de

2010, y continúa hasta nuestros días. En Álamo Veracruz, las precipitaciones han disminuido a partir del 2014 y en ninguno de estos años han superado los 1250 mm anuales. El año 2023 es el que tiene menor precipitación en los últimos 4 años con 700 mm (Figura 2).

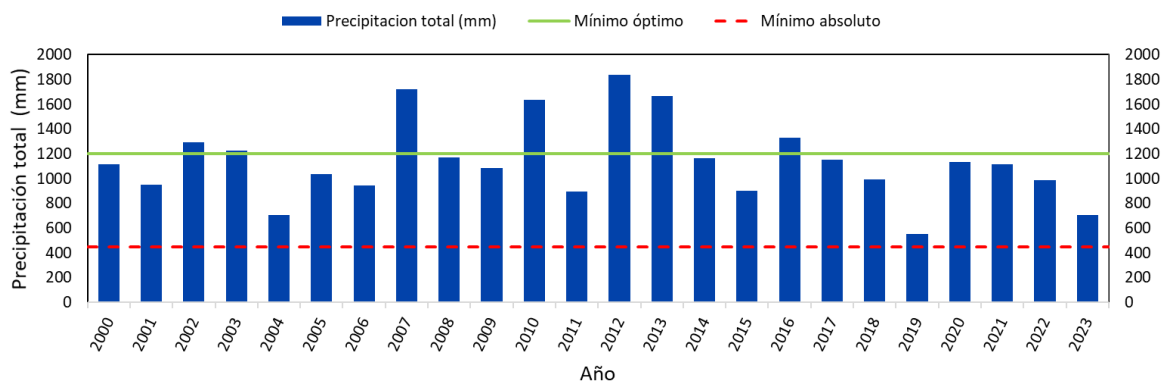


Figura 2. Precipitaciones con datos del Servicio Meteorológico Nacional

Sin embargo, al tomar los datos meteorológicos de Daymet (Thornton et al., 2022), el cual es una colección de estimaciones “grid” de parámetros climáticos diarios, publicados por la NASA, generados por interpolación y extrapolación de observaciones meteorológicas diarias con una resolución espacial de 1 km², se puede observar una tendencia de disminución en las precipitaciones desde el año 2010, hasta llegar a niveles críticos en el 2023, por debajo de los 450 mm de precipitación anual (Figura 3).

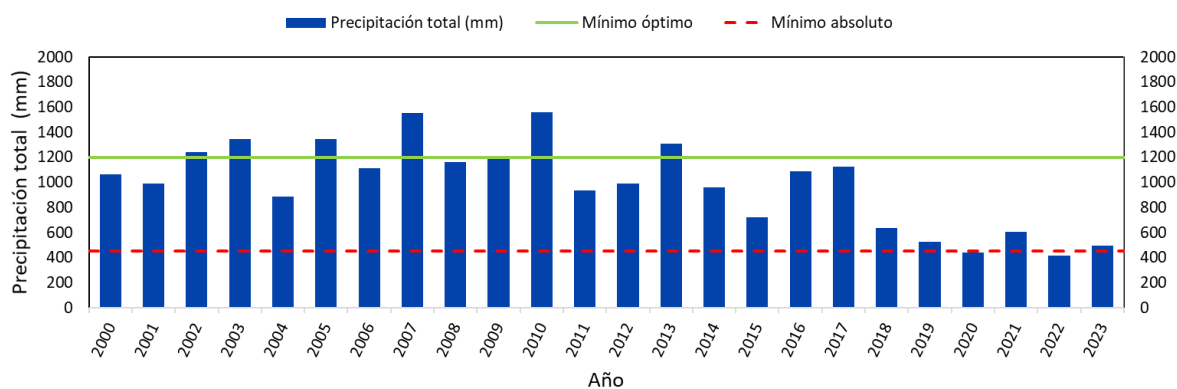


Figura 3. Predicciones de precipitaciones de DAYMET con datos climatológicos de la NASA

Como se puede observar en la siguiente figura (4), en los primeros meses del año es cuando tenemos menos precipitaciones y la falta de estas puede afectar el desarrollo de la floración en las plantaciones de naranja.

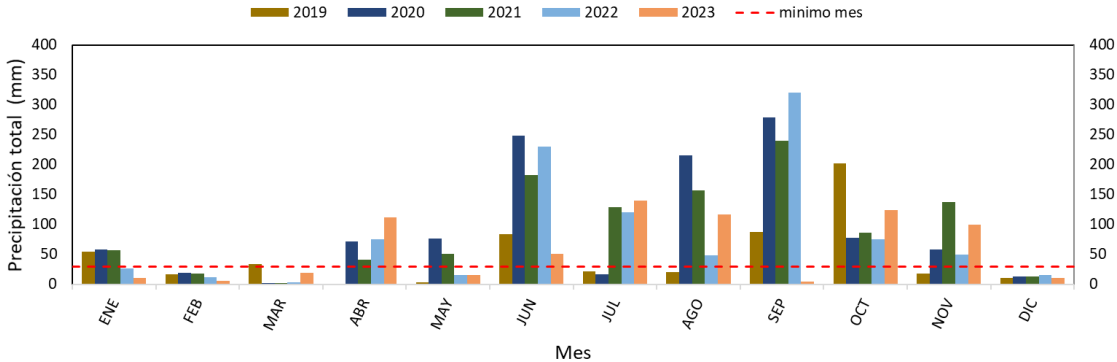


Figura 4. Predicciones mensuales desde el 2019 al 2023.

Debido a la falta de lluvias en los primeros meses, de enero a marzo en los dos últimos años, algunos productores de Álamo han empezado a implementar el riego en sus cultivos.

Se tomaron datos metrológicos de Daymet correspondientes a la temperatura ambiental (Figura 5).

Temperaturas promedio anuales desde el 1980 al 2022. Tomados de DAYMET con datos meteorológicos de la NASA.

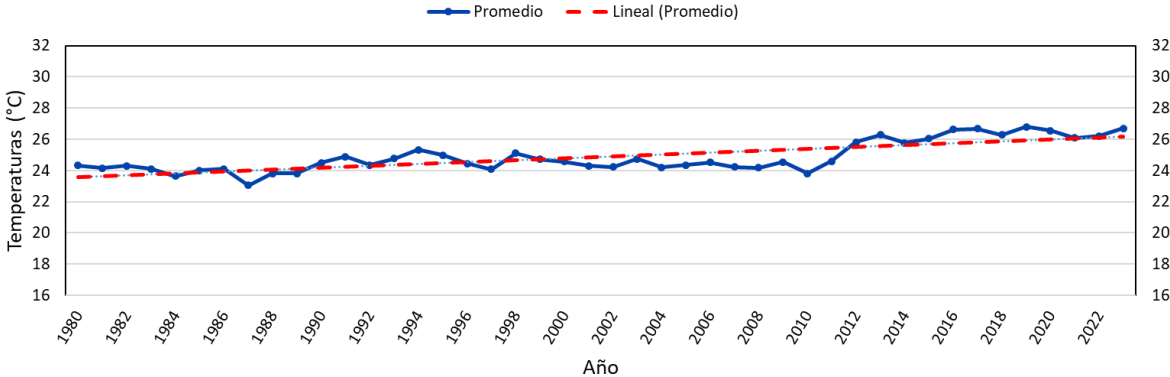


Figura 5. Temperatura ambiental anual. Valor promedio, máximo y mínimo.

Se puede observar una temperatura media hasta el 2010 de 24 °C; sin embargo, a partir de este año se presenta un aumento hasta el año 2022 de 2 °C. Esto es especialmente importante ya que cambios en las temperaturas ocasionan, entre otras cosas, alteraciones en los ciclos de los árboles, los cuales retrasaran o adelantaran sus fases de floración, fructificación y maduración. La temperatura ideal para el desarrollo del árbol y de los frutos de naranja oscila entre los 23 y 34 °C, con valores extremos recomendables para no tener efectos secundarios no deseables, de 39 °C y mínimo de 13 °C. Cabe resaltar que en los últimos años se han presentado más frecuentemente temperaturas de hasta 41 °C especialmente en los meses de mayo y junio.

2.8 Literatura citada

- Alemán, J., Baños, H., & Ravelo, J. (2007). *Diaphorina citri* y la enfermedad HuangLongBing: una combinación destructiva para la producción citrícola. *Revista de Protección Vegetal*, 22(3), 154-165.
- Anguiano, J. M., Aguirre, J., & Palma, J. M. (2013). Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agropastoril de *Cocos nucifera*, *Leucaena leucocephala* var. Cunningham y *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115. *Avances en Investigaciones Agropecuarias*, 17(1), 149-160.
- Barrón P., M. A., & Hernández T., J. M. (2014). Productores y cortadores de naranja, una relación fallida. El municipio de Álamo Temapache, Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(6), 1097-1109. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i6.893>
- Bastida, F., Moreno, J. L., Hernández, T., & García, C. (2007). Microbial activity in non-agricultural degraded soil exposed to semiarid climate. *The science of the total environment*, 378(1-2), 183-186. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.01.035>
- Barquero, L. C. (2024). Incremento de la fijación biológica de nitrógeno y el crecimiento de la soya (*Glycine max* (L.) mediante el uso de hongos solubilizadores de fósforo. *Agronomía Costarricense*, 48(1), 93-109. <https://doi.org/10.15517/rac.v48i1.59136>
- Bautista-Cruz, A., Cruz, D. G., Rodríguez, M. M., Pérez, P. R., & Robles, C. (2014). Effect of compost and slow-release fertilizers addition on soil biochemistry and yield of maize (*Zea mays* L.) in Oaxaca, Mexico. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 46(1), 181-193.
- Bulluck, L. R., Brosius, M. R., Evanylo, G. K., & Ristaino, J. B. (2002). Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied Soil Ecology*, 19(2), 147-160. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(01\)00187-1](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00187-1)

- De Miguel, T. (2021). *México prohíbe el glifosato para frenar sus efectos nocivos en la salud*. El país. <https://elpais.com/mexico/2021-01-12/mexico-prohibe-el-glifosato-para-frenar-sus-efectos-nocivos-en-la-salud.html>
- Díaz C, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y sociedad*. 38(2), 227-240. <https://redalyc.org/articulo.oa?id=87024179004>
- Enriquez G., F., Villareal R., V. H., Leyva C., A. N., Alvarado P., M., & Aguirre A., E. J. (2023). Problemática de producción de cítricos. *Biológico Agropecuario Tuxpan*, 11(1), 165-170. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v11i1.471>
- Garza-Saldaña, J. J., Varela-Fuentes, S., & Gómez-Flores, W. (2017). Métodos para la detección presuntiva de Huanglongbing (HLB) en cítricos. *CienciaUAT*, 11(2), 93-104. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582017000100093&lng=es&tlng=es
- Garzón C., D. L., Vélez S, J. E., Orduz R., J. O. (2013). Efecto del del estrés hídrico en el crecimiento y desarrollo de frutos de la naranja Valencia (*Citrus sinensis* Osbeck) en el piedemonte de Meta, Colombia. *Acta Agronómica*, 62(2), 136-147. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/35815
- Hargreaves, J., Sina, M., Warman, P., & Ruparsinghe V., H. (2008). The effects of organic amendments on mineral element uptake and fruit quality of raspberries. *Plant Soil*, 308(1), 213-226. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9621-5>
- Hernández-Landa, L., López-Collado, J., García-García, C. G., & Osorio-Acosta, F., (2017). Percepción de la problemática del HuanglongBing por agentes relevantes en zonas urbanas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(4), 993-1000. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i4.23>
- Hillary M., O. O. (2020). Simplified Orange /Citrus spp.) Production Guide for Small-scale Farmers. *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*, 5(1), 23-270. <https://9734/ajahr/2020/v5i130040>

- López, H. G., Vaides, E. E., & Alvarado, A. (2018). Evaluación de carbono fijado en la biomasa aérea de plantaciones de teca en Chahal, Alta Verapaz, Guatemala. *Agronomía Costarricense*, 42(1), 137-153. <https://doi.org/10.15517/rac.v42i1.32201>
- López J., S. A., Hipólito R., E., Cerdán C., C. R., Ortiz C., G. C., & Reyes L., D. (2019). Asociación entre cultivos de cacao (*Theobroma cacao* L.) y vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) en un sistema agroforestal en Comalcalco, tabasco. *Tropical and Subtropical Agrosystems*, 22(3), 613-629. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2622>
- Lovieno, P., Morra, L., Leone, A., Pagano, L., & Afani, A. (2009). Effect of organic and mineral fertilizers on soil respiration and enzyme activity of two mediterranean horticultural soils. *Biology and Fertility of Soils*, 45(5), 555-561. <https://doi.org/10.1007/s00374-009-0365-z>
- Luna-Flores, W., Estrada-Medina, H., Jiménez-Osorio, J. J. M., & Pinzón-López, L. L. (2012). Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 343-353.
- Martínez D., G. (2019). Efecto de la maleza como cobertura en la fertilidad del suelo y rendimiento de nogal pecanero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 123-130. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1729>
- Mercado E., F., Ayala G., A., Flores T., A., Oble V., E., & Almaguer V., G. (2020). Factores que influyen en la adopción de innovaciones en productores de naranja en Álamo, Veracruz. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 16(2), 183-198. <https://doi.org/10.22231/asyd.v16i2.1006>
- Montzka, S. A., Dlugokencky, E. J., & Butler, J. H. (2011). Non-CO₂ greenhouse gases and climate change. *Nature*, 476(7358), 43–50. <https://doi.org/10.1038/nature10322>
- Núñez V., M., Dell'Amico R., J., Pérez H., M. C., & Betancourt G., M. (2017). Water and saline stress on citrus. Strategies for reducing plant damages. *Cultivos*

<https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1403>

- Oble V., E., Sandoval G., Á., Almaguer V., G., & García J., R. (2018). Trayectoria tecnográfica del cultivo de naranja en la zona norte de Veracruz. *Revista De Geografía Agrícola*, (62), 69-93. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2018.62.05>
- Ortega-Arenas, L. D., Villegas-Montiel, A., Ramírez-Reyes, A. J., & Mendoza-García, E. E. (2013). Abundancia estacional de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) en plantaciones de cítricos en cazonas, Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 29(2), 317-333.
- Panigrahi, P. (2023). Impact of deficit irrigation on citrus production under a sub-humid climate: a case study. *Water Supply*, 23(3), 1177–1188. <https://doi.org/10.2166/ws.2023.074>
- Pérez L., O., & Nava T., M. E. (2021). Evolution of Mexican citriculture (1993-2018), The case of the municipality of Gutiérrez Zamora, Veracruz. *Revista de Geografía Agrícola*, 67, 9-25.
- Rivera-López, S., Perales-Salvador, A., Del Valle-Sánchez, M., & Caamal-Cauich, I. (2020). Panorama de la producción y comercialización de naranja en México. *Agroproductividad*, 13(7), 9-14. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1614>
- Robles, G., Velázquez M., Manzanilla R., Orozco S., & Medina, U. (2013). Experiencias sobre el HuangLongBing (HLB) en limón Mexicano de Colima. *Citrus Research and Technology*, 39, Article e1039. 1-12. <http://dx.doi.org/10.4322/crt.16518>
- Roldán, A., Caravaca, F., Hernández, T., Sánchez-Brito, A., Velázquez, C., & Tiscareño. M. (2003). No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro Watershed (Mexico). *Soil and Tillage Research*, 72(1), 65-73. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00051-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00051-5)
- Sáenz P., C. A., Hernández, E. O., Estrada, B., Poot, W. A., Martínez, R., & Herrera, Raúl Rodríguez. (2019). Principales enfermedades en cítricos. *Revista*

Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10(7), 1653-1665.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1827>

Salhy, A. F., El-Galil, H., El-Aal, A., & Ali, M. (2010). Effect of Different Nitrogen Fertilizer Sources on Vegetative Growth, Nutrient Status and Fruiting of Balady Mandarin Trees. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 41(2), 153-170.
<https://doi.org/10.21608/ajas.2010.267889>

Sangüesa-Barreda, G., Camarero, J. J., Linares, J. C., Hernández, R., Olivia, J., Gasol, A, Montes, F., García-Martin, A., & Riva, J. (2015). Papel de los factores bióticos y las sequias en el decaimiento del bosque, aportaciones desde la dendroecología. *Ecosistemas*, 24(2), 15-23.
<https://doi.org/10.7818/ECOS.2015.24-2.03>

Srinivasulu, A., Pavan K. S., Raja B. K., & Kumar K. A. (2018). Integrated nutrient & disease management in citrus. *International Journal of Chemical Studies*, 6(6), 2315-2321.

Srivastava, A. K., & Shirgure, P. S. (2018). Nutrient diagnostics and fertilizer prescription in Citrus: a perspective analysis. *Journal of Eco-friendly Agricultural*, 13(2), 1-17.

Tamayo O., C. V., & Alegre O., J. C. (2022). Asociación de cultivos, alternativa para el desarrollo de una agricultura sustentable. *Siembra*, 9(1), 1-21.
<https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3287>

Tanoi, K., & Kobayashi, N. I. (2015). Leaf senescence by magnesium deficiency. *Plants*, 4(4), 756-772. <https://doi.org/10.3390/plants4040756>

Tarjuelo, J. M., De-Juan, J. A., Moreno, M. A., & Ortega, J. F. (2010). Review. Water resources deficit and water engineering. *Spanish Journal of Agricultural*, 8(2), 102-121. <https://doi.org/10.5424/sjar/201008>

Tello P., L. D., & Vega R., R. R. (2015). Metodologías para determinar la retención de humedad y la densidad del compost. *Anales Científicos*, 76(1), 186-192.
<http://dx.doi.org/10.21704/ac.v76i1.780>

- Thornton, M. M., Shrestha; R., Wei; Y., Thornton, P. E., Kao, S.-C., & Wilson, B. E. (2022). *Daymet: Daily Surface Weather Data on a 1-km Grid for North America, Version 4 R1*. ORNL Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/2129>
- Torres C., S., Huaraca F., J., & Pezo, D. L., Calderón, C. R. (2018). Asociación de cultivos, maíz y leguminosas para la conservación de la fertilidad del suelo. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 4(1), 15-22. <https://doi.org/10.17162/rictd.v4i1.1068>
- Torres-Pacheco, I., López-Arroyo, J. I., Aguirre-Gómez, J. A., Guevara-González, R. G., Yáñez-López, R., Hernández-Zul, M. I., & Quijano-Carranza, J. A. (2013). Potential distribution in Mexico of *Diaphorina citri*, vector of HuangLongBing pathogen. *Florida Entomologist Society*, 96(1), 36-47. <https://doi.org/10.1653/024.096.0105>
- Trinidad-Santos, A., & Velasco-Velasco, J. (2018). Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Agro Productividad*, 9(8), 52-58.
- Valdés-Rodríguez, O. A. (2022). Desastre compuesto: sequía y Covid-19 en Veracruz, México. *Interconectando Saberes*, (14), 15–27. <https://doi.org/10.25009/is.v0i14.2738>
- Vélez, J. E., Álvarez-Herrera, J. G., & Alvarado-Sanabria, O. H. (2012). El Estrés hídrico en cítricos, una revisión. *Orinoquia*, 16(2), 32-39.
- Villalobos, E., & Tobía, C. (2004). Producción y valor nutricional del forraje de soya en condiciones tropicales adversas. *Agronomía Costarricense*, 28(1), 17–25.
- Wach, D., Piotr, S. (2022). An overview of plant responses to the drought stress at morphological, physiological and biochemical levels. *Polish Journal Agronomy*, 50(50), 25-34. <https://doi.org/10.26114/pja.iung.435.2022.04>
- Weber, J., Karczewska, A., Drozd, J., Licznar, M., Licznar, S., Jamroz, E., & Kocowicz, A. (2007). Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as

- affected by the application of municipal solid waste compost. *Soil Biology & Biochemistry*, 39(6),1294-1302. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.12.005>
- Yan, H. X., Zhong, Y., Jiang, B., Zhou, B. R., Wu, B., & Zhong, G. G. (2017). Guanggan (*Citrus reticulata*) shows strong resistance to *Phytophthora nicotianae*. *Scientia Horticulturae*, 225(12), 141-149. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.068>
- Zermeño-González, A., Villatoro-Moteno, S., Cortés-Bracho, J. J., Cadena-Zapata, M., Catalán-Zapata, E. A., García-Delgado, A., & Munguía-López, J. P. (2012). Estimación del intercambio neto de CO₂ en un cultivo de caña de azúcar durante el ciclo de plantilla. *Agrociencia*, 46, 579-591.
- Zhang, Q., Shi, R., Singh, V. P., Chong-Yu, X., Yu, H., Fan, K., & Wu, Z. (2022). Droughts across China: Droughts factors, predictions and impacts. *Science of The Total Environment*, 803, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150018>

3. ARTÍCULO. ORANGE TREE MANAGEMENT UNDER DROUGHT CONDITIONS AND HUANGLONGBING SYMPTOMS

MANEJO DE NARANJO-EN CONDICIONES DE SEQUÍA Y SÍNTOMAS DE HUANGLONGBING

Torres-González, C. J.¹; Almaguer-Vargas, G. ¹; Álvarez-Sánchez²; M. E.; Nieto-Ángel, R.¹; Carvajal-Salazar, V. A.³

¹Maestría en Ciencias en Horticultura - Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo.

²Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo.

³Centro de Investigaciones Económicas Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial. Universidad Autónoma Chapingo.

3.1. ABSTRACT

Objective: Evaluate the effect of organic and chemical fertilization in orange trees with HLB incidence on sprouting and fruit setting as performance indicators.

Design/methodology: The study began on May 10, 2022 and ended on September 29, 2023 in a commercial plantation with 25-year-old trees in Álamo Temapache, Veracruz. 6 treatments were used with a completely randomized experimental design with 15 repetitions per treatment (15 trees per treatment). The experimental unit was one tree, resulting in a total of 75 experimental units, with 15 trees per treatment. The variables evaluated were flowering, fruit setting, soil temperature and humidity of the treatments, CO₂ capture of trees, soybeans and associated grasses. They were estimated in three ways: a). Representative branches were selected, one for each cardinal point (north, south, east and west). B). The variables were counted per square meter and the total per tree was estimated, based on its periphery. C). Direct counting was done per tree.

Limitations/implications: The trees were in a temporary season without irrigation.

Results and conclusions: According to Tukey's statistical test, the trees in the treatments with mulch, soybean and soybean-compost had the highest number of fruits per tree, the lowest temperatures and the highest soil moisture retention. The best CO₂ assimilation was found in the soybean-compost treatment. Using forage soybean as a cover crop is an excellent alternative to improve production in the face of current climate change conditions.

Keywords: Organic, soybean, compost, moisture, CO₂

3.1. RESUMEN

Objetivo: Evaluar el efecto de la soya forrajera y la fertilización orgánica y química en árboles de naranja con incidencia de HLB y condiciones de sequía, en el número total de frutos por árbol.

Diseño/metodología: El estudio se inició el 10 de mayo del 2022 y finalizó el 29 de septiembre del 2023 en una plantación comercial con árboles de 25 años en Álamo Temapache, Veracruz. Se emplearon 6 tratamientos con un diseño experimental completamente al azar con 15 repeticiones por tratamiento (15 árboles por tratamiento). La unidad experimental fue un árbol, resultando en un total de 75 unidades experimentales, con 15 árboles por tratamiento. Las variables evaluadas fueron, floración, número de frutos, temperatura y humedad del suelo, captura de CO₂ de los árboles, soya y pastos asociados. La floración se contabilizó por metro cuadrado en los cuatro puntos cardinales y se estimó el total de frutos por árbol.

Limitaciones/implicaciones: El efecto de los tratamientos sólo se evaluó durante un año.

Resultados y conclusiones: Según la prueba estadística de Tukey, los árboles de los tratamientos con soya y soya-composta presentaron el mayor número de frutos por árbol y en ellos se tuvieron las menores temperaturas y una mayor retención de humedad en el suelo. La mayor asimilación de CO₂ se tuvo en los árboles del tratamiento de soya-composta. Utilizar soya forrajera como cobrera es una

excelente alternativa para mejorar la producción frente a las condiciones actuales de cambio climático.

Palabras clave: Orgánica, soya, composta, humedad, CO₂

3.3. INTRODUCCIÓN

El municipio de Álamo Temapache en Veracruz es responsable de más del 30 % de la producción del estado y 24 % del total de la naranja de temporal sembrada a nivel nacional (Mercado et al., 2020).

Desafortunadamente, hay varios factores que están reduciendo el rendimiento de la naranja en el norte de Veracruz, como es la escasez de lluvias que se ha acentuado desde el 2018 y enfermedades como el HuangLongBing, que antes de ese año, ya estaba presente, pero sus daños se hicieron evidentes con el descenso de las precipitaciones.

Una forma de reducir los daños en la naranja, es un método integral, que incluya control racional y eficaz de plagas y enfermedades que combine el uso de productos fitosanitarios, además de organismos benéficos y prácticas culturales, tales como coberteras, prácticas culturales, compostas, etc.

En el presente trabajo se evaluó el efecto de la soya forrajera como cobertera, incorporación de composta al suelo, incorporación de fertilizante nitrogenado al suelo y aspersión foliar, con el propósito de mitigar el daño causado por HuangLongBing y sequía en árboles de naranja en el municipio de Álamo, Veracruz.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1. Ubicación

La investigación se realizó en una parcela de producción de naranja en el ejido Hermenegildo Galeana en el municipio de Álamo Temapache ubicado en el norte del estado de Veracruz (Figura 6). El municipio de Álamo colinda al norte con los municipios de Tepetzintla, Cerro Azul y Tamiahua; al este con los municipios de

Tamiahua, Tuxpan y Tihuatlán; al sur con los municipios de Tihuatlán, Castillo de Teayo, el estado de Puebla y el municipio de Ixhuatlán de Madero; al oeste con los municipios de Ixhuatlán de Madero, Chicontepec y Tepetzintla (Francisco-de la Cruz, 2017).

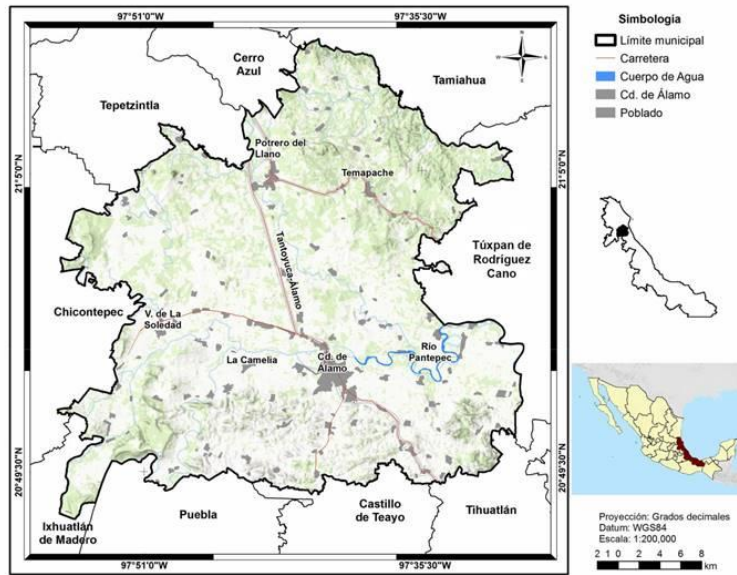


Figura 6. Ubicación geográfica de Álamo Temapache

Se ubica en la región Huasteca Baja, entre los paralelos $20^{\circ}47'$ y $21^{\circ}12'N$ y los meridianos $97^{\circ}30'$ y $97^{\circ}56'W$, con una altitud entre 10 y 500 m (SEFIPLAN, 2009). Ocupa una superficie de 1280.62 km², cifra que representa 1.8 % de la del estado (Francisco-de la Cruz, 2017).

El clima, de Álamo, Temapache, de acuerdo a Francisco-de la Cruz (2017), es cálido húmedo (Am) y cálido subhúmedo (Aw); se presentan lluvias abundantes en los meses de junio a septiembre y la temperatura máxima anual es de 39 °C y la mínima de 12 °C y su precipitación pluvial media anual es de 1091 mm (SEFIPLAN, 2009). Este municipio pertenece a la provincia florística de la Costa del Golfo de México, que se extiende a lo largo de los estados de Veracruz y Tabasco y áreas vecinas, con clima cálido y dominancia de vegetación tropical (Francisco-de la Cruz, et al., 2017). Los suelos son mayormente de tipo regosol, feozem y vertisol (SEFIPLAN, 2009).

3.4.2. Material y montaje del experimento

Los árboles de la parcela de estudio son de la variedad Valencia (*Citrus sinensis*) injertado sobre el patrón de naranja agria, *Citrus aurantium* L., conocido como “Cucho”. Los árboles son adultos con una edad de 25 años. La plantación tiene un arreglo a tres bolillos de 6 x 6 m; 256 árboles en una hectárea. La parcela tiene una extensión de 3 hectáreas en un terreno plano.

El suelo de la parcela donde se estableció el experimento presentó una textura arcillosa en la capa superficial (0-30 cm). Su contenido de materia orgánica es de 3.5 %, un pH alcalino de 8.5, el nitrógeno es de 50 ppm, fósforo de 7.9 ppm y potasio de 329 ppm.

3.4.3. Tipo de composta y cobertera

La composta fue incorporada sobre la zona de goteo de los árboles. Estuvo compuesta por los siguientes componentes:

- Melaza. - Es un acelerador de la descomposición de los residuos.
- Suero y levadura. - Son bacterias que aceleran el compostaje.
- Estiércol de borrego. - Sirve como inoculante microbiano. Es uno de los mejores para procesos de fertilización. Además de nitrógeno, aporta potasio, fósforo y oligoelementos.
- Hojas secas. - Los materiales ricos en carbono se descomponen a ritmo más lento.
- Estiércol de gallina (gallinaza). - Debido a sus excretas, sólidas y líquidas, el contenido de nitrógeno es especialmente alto. Es muy rico en calcio y bastante ácido.
- Hongo de hormiga. - Contribuyen al ciclo de compostaje.

En cuanto al cultivo de cobertera se utilizó soya forrajera (*Neonotonia wightii*). La soya fue sembrada en los callejones.

3.4.6. Tratamientos

Los seis tratamientos implementados son descritos en Cuadro 1.

El tratamiento S.A. y foliar constó de aspersión foliar de fertilizante con macro y micronutrientes para mejorar la inducción floral y el amarre de fruto. Además, se incorporó 1 kg de sulfato de amonio por árbol. Esto se realizó cada 30 días.

Cuadro 1. Tratamientos aplicados árboles de naranja en Álamo, Veracruz con síntomas de sequía y HLB.

Tratamiento	Descripción
S.A. y foliar	Árboles con aplicación de fertilización foliar y sulfato de amonio al suelo.
Soya	Árboles con cobertera de soya forrajera en los callejones.
Composta	Árboles con aplicación de 30 kg de composta en zona de goteo.
Soya-composta	Árboles con cobertura de soya forrajera y aplicación de composta.
Testigo	Árboles sin ningún tratamiento.

Para incorporar la composta en el tratamiento composta, se realizó un rodal de 40 cm de ancho y se aflojó la tierra a 15 cm de profundidad, ya que es aquí donde se encuentran las raíces del árbol. Se agregaron 30 kg de composta en el rodal y se cubrió con materia orgánica vegetal y el mismo suelo. En el caso del tratamiento soya-composta, los 30 kg de composta se incorporaron debajo de la zona de goteo, pero de manera superficial, cubriéndola con la misma soya.

3.4.5. Diseño experimental

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental completamente al azar con 15 repeticiones por tratamiento (15 árboles por tratamiento). Cada unidad

experimental la constituyó un árbol, resultando en un total de 75 unidades experimentales.

3.4.6. Variables a evaluar

Las variables evaluadas fueron las siguientes:

3.4.6.1. Floración

La estimación de la cantidad de flores se llevó a cabo en marzo del 2023. Se realizó el conteo por m² en cada punto cardinal (norte, sur, este y oeste) y se obtuvo un promedio de las cuatro mediciones. Esto se realizó en la totalidad de los árboles de cada tratamiento.

3.4.6.2. Conteo final de frutos y estimación del rendimiento en los naranjos

Se realizó un conteo del número total de naranjas en todos los tratamientos los días 25 y 26 de agosto del 2023. Se clasificaron en naranjas chicas y grandes, y con los datos obtenidos se realizó una estimación del rendimiento esperado en cada tratamiento.

3.4.6.3. Análisis de suelo

Se realizó un análisis de suelo y de la composta al inicio del experimento.

Cuadro 2. Análisis de suelo y de la composta al inicio del experimento en noviembre del 2021.

Parámetro	Unidades	Suelo	Composta
C.E.	dS·m ⁻¹	0.22	3.47
C Orgánico	%	2.04	26.56
Materia Orgánica	%	3.52	45.79
N inorgánico	mg·kg ⁻¹	44.35	1443.12
P	mg·kg ⁻¹	5.78	289.45
K	mg·kg ⁻¹	242.22	11976.40
Na	mg·kg ⁻¹	35.56	2185.80
Ca ⁺²	mg·kg ⁻¹	10414.40	10604.08
Mg ⁺²	mg·kg ⁻¹	278.52	1773.50
Fe ⁺²⁺³	mg·kg ⁻¹	4.51	21.90
Mn ⁺²	mg·kg ⁻¹	9.24	51.95

Zn ⁺²	mg·mg ⁻¹	0.37	27.33
Cu ⁺²	mg·kg ⁻¹	0.86	4.88
B	mg·kg ⁻¹	6.24	48.15
CIC	cmol(+).kg ⁻¹	51.15	41.33
Densidad aparente	t·m ⁻³	1.06	0.67

Para tomar las muestras de suelo, se utilizó una pala recta y se tomó una porción de 1.5 kg a una profundidad de 15 a 45 cm (Cuadro 2).

3.4.6.4. Asimilación neta de dióxido de carbono

La medición del intercambio de gases de CO₂ (asimilación y emisión) se realizó con un equipo IRGA. Se colocó una hoja representativa de cada árbol entre la pinza del analizador y mediante cálculos, se obtuvo la tasa de asimilación neta de CO₂. El resultado obtenido con este equipo solo representa la asimilación o intercambio de CO₂ asimilado por las hojas (no se incluye el intercambio de carbono de tallos, raíces, etc.). Lo anterior se realizó en los árboles de los seis tratamientos, en la soya de los tratamientos soya y soya-composta, y en los pastos asociados.

3.4.6.5. Humedad y temperatura del suelo

Por cada tratamiento se tomaron tres mediciones de temperatura de suelo a los 15, 20 y 30 cm de profundidad en cuatro fechas distintas. Respecto a la humedad del suelo, por cada tratamiento se recogieron tres muestras en distintos lugares en tres distintas ocasiones; posteriormente, las muestras de suelo se secaron en un horno y se determinó el porcentaje de humedad mediante la siguiente ecuación:

$$humedad (\%) = \frac{(ph - ps)}{ps} * 100$$

donde *ph* es el peso húmedo y *ps* el peso seco del suelo

3.4.7. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza y comparaciones de medias según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) en todas las variables medidas. Para el análisis se utilizó el programa Statistical Analysis System (SAS) OnDemand for Academics.

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1. Floración

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas en la floración de los árboles de los tratamientos soya y el testigo; soya tuvo 44 flores por m², mientras el testigo solamente 6 (Cuadro 3). Con la floración de los árboles de los demás tratamientos, no hubo diferencias estadísticas significativas. Los árboles de naranja de cv. Marrs sin síntomas aparentes de HLB, llegan a tener hasta 70 flores por m² de dosel en el periodo de máxima floración que sucede entre febrero y marzo, en el trópico seco de Colima, México (Ramos et al., 2023).

Cuadro 3. Número de flores promedio por metro cuadrado en cada tratamiento

Tratamientos	Flores por m ²
Soya	43.67 a
Soya-composta	20.18 ab
S.A. y foliar	19.20 ab
Composta	9.52 ab
Testigo	6.28 b
DMSH	36.44

Letras diferentes en la misma columna para cada tratamiento indican diferencia significativa (Tukey, $\alpha=0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

La aplicación oportuna de nutrimentos en los periodos de mayor demanda de los árboles, favorece la mayor eficiencia en la absorción y translocación a los órganos de reserva, para ser usados en la síntesis de productos orgánicos y estimular la floración en los cítricos (Srisvastava, 2012). Según Alayón et al. (2014) la floración y producción de frutos en el cv. Valencia (*C. reticulata*) aumentan con la aplicación combinada de sulfato de amonio, fosfato monoamónico y nitrato de potasio al suelo y follaje; al igual que la fertilización foliar con Zn y Mn (Rodríguez et al., 2014) debido a la respuesta rápida en periodos de sequía (Srisvastava, 2012).

Los árboles de los tratamientos con soya (soya y soya-composta) son los que mostraron un mayor número de flores por m². La soya proporciona una adición de nitrógeno por medio de la fijación biológica, reduce la temperatura del suelo y favorece a una mayor retención de humedad (Salgado-García et al., 2015). Estas

cualidades son especialmente importantes en la floración, ya que los tratamientos que no cuentan con esta cobertera, pueden presentar un déficit hídrico ocasionado por una deficiente retención de humedad durante la etapa de floración y cuajado del fruto, lo que puede ocasionar una mayor caída de flores y frutos pequeños (Manzi, 2015). Además, utilizar soya durante el periodo de floración evita una rápida pérdida de agua debido a las altas temperaturas, vientos fuertes y secos, esto provocará un estrés hídrico que puede ocasionar problemas en la fecundación e inducir aborto floral y abscisión del fruto, condicionando el número de frutos y disminuyendo en un futuro los volúmenes de producción (Garzón et al., 2013).

Los resultados del tratamiento composta (9.52 flores por m²) pueden explicarse porque la composta requiere de más tiempo para liberar los nutrimentos en la solución del suelo y estos puedan ser absorbidos por las raíces (Manzanilla-Ramírez et al., 2019). Esto se debe a que la mineralización es lenta y puede no coincidir cuando la demanda sea alta (Monsalve-C et al., 2017). Lo anterior, puede ocasionar que los árboles tengan menos energía para la brotación de yemas ya diferenciadas, resultando en una floración deficiente (Agustí et al., 2003).

3.5.2. Rendimiento de naranjos

Los árboles de los tratamientos establecidos con soya (soya y soya-composta), fueron los que presentaron un mayor número de frutos en promedio por árbol en (150.3 y 106.5 frutos, respectivamente), mientras que en los naranjos testigos solo se tuvieron 71.3.

Cuadro 4. Número total de naranjas por árbol en cada tratamiento

Tratamientos	Promedio de naranjas
Soya	150.33 a
Soya-composta	106.47 ab
S.A. y foliar	82.20 bc
Composta	73.40 bc
Testigo	71.33 bc
DMSH	57.41

Letras diferentes en la misma columna para cada tratamiento indican diferencia significativa (Tukey, $\alpha=0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Los análisis de comparación de medias arrojaron diferencias estadísticamente significativas, entre los tratamientos de soya y soya-composta con relación al testigo (Cuadro 4).

La diferencia se puede atribuir a la fijación de nitrógeno por parte de la soya, al mejoramiento en la retención de humedad y disminución de temperaturas en el suelo (Torres et al., 2018).

En el tratamiento soya-composta además de los beneficios que aporta de la soya, al aplicarse 30 kg de composta, se favorece la retención de agua y se mejora la nutrición del árbol, debido a que la composta proporciona cantidades suplementarias de nutrientes de liberación lenta (Bautista-Cruz, 2014). En los tratamientos soya y soya-composta se redujo la presencia de malas hierbas, porque la soya no permitió la proliferación de otras arvenses y plantas trepadoras al árbol debido a que es una competencia de estas por el espacio.

En los árboles de naranja infectados con HuangLongBing se presentó un pobre desarrollo radicular posiblemente ocasionado por la interrupción del transporte de minerales entre las raíces y las hojas, que es producido por el patógeno (Alayón et al., 2014; Pustika et al., 2008). En el tratamiento S.A. y foliar, compuesto con micronutrientes (Mn, Zn, Fe, Mg, Bo, S) y sulfato de amonio al suelo se mejoró la deficiencia de nutrientes y esto hizo que los síntomas de la enfermedad fueran menos evidentes, provocando un aumento de la cantidad promedio de naranjas totales (82.20). Por otro lado, resultaría útil adicionar calcio en un programa de fertilización, debido a que ayuda a fortalecer las paredes celulares y la resistencia mecánica, además acelera la maduración de las hojas volviéndolas menos atractivas para los vectores y reduce la actividad de las enzimas productoras por los hongos o las bacterias para penetrar el tejido de la planta (Razi et al., 2014).

La estimación del rendimiento por hectárea esperado en cada tratamiento se muestra en la Figura 7. Es preciso tomar en cuenta que la sequía y altas temperaturas ambientales de los últimos años, afectaron la respuesta de los árboles a los tratamientos durante el desarrollo del fruto. Periodos prolongados de esos factores limitantes incrementan la transpiración y reducen la fotosíntesis,

desestabilizando las membranas celulares y ocasionando un mayor daño oxidativo (Aular et al., 2017). Temperatura por encima del rango óptimo para el cultivo de naranja (22-34 °C) provoca la abscisión y/o reducción de su tamaño (Zandalinas et al., 2016). Cabe mencionar que, en la zona de estudio del presente trabajo, en los dos últimos años ya se han presentado hasta 42 °C cuando la temperatura en promedio al año es de 26 °C. Además, dos o más fuentes de estrés afectando al árbol simultáneamente, pueden ser mucho más dañinas que los estreses individuales (Balfagón et al., 2020).

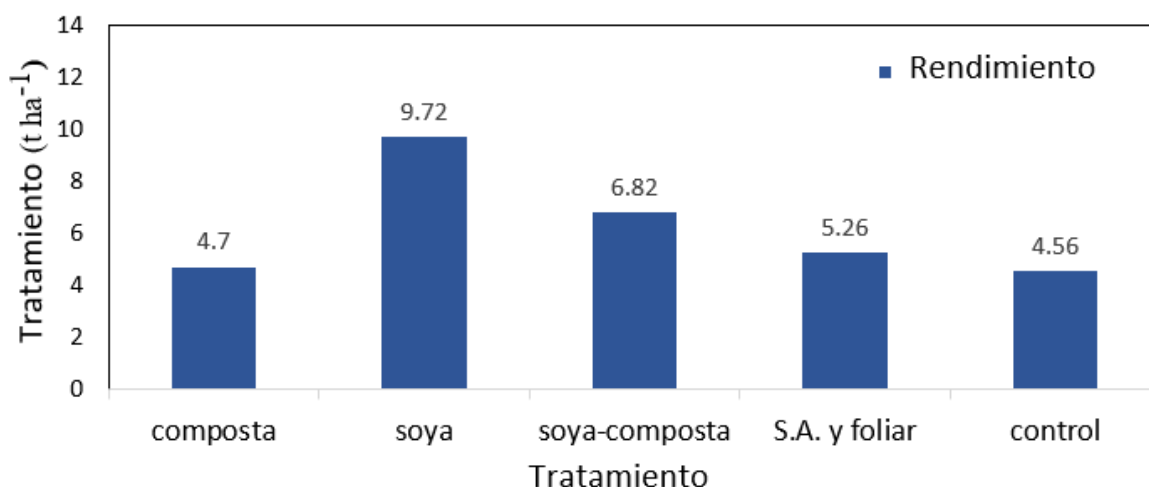


Figura 7. Estimación de rendimiento por hectárea

3.5.3. Humedad del suelo

El suelo de los árboles del tratamiento soya-composta presentó diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de humedad con los demás tratamientos en las tres fechas en que se tomaron las muestras. En la fecha del 26 de agosto se observaron mejores porcentajes de humedad en el suelo de todos los tratamientos debido a que las muestras se tomaron en un día seminublado con lluvias en los días anteriores y la temperatura rondaba los 36 °C a la sombra.

Al contrario de esta, en las tomas del 17 de junio y 12 de agosto se habían tenido días secos sin lluvia con una temperatura de 38 °C (Cuadro 5).

Al realizar un promedio de la temperatura de los tres días el tratamiento soya-composta tiene 36.07 % de humedad mientras que el testigo 25.78 %.

El suelo en los tratamientos que tienen soya (soya” y soya-composta) presentan mayor porcentaje de humedad debido, entre otras cosas, a que cualquier cobertura favorece la retención de agua en el suelo.

Cuadro 5. Porcentaje de humedad de suelo en cada tratamiento

Tratamientos	Fecha de análisis			Promedio (%)
	17/jun/ 2023	12/ago/2023	26/ago/2023	
Soya-composta	37.83 a	27.74 a	42.62 a	36.07
Soya	28.30 ab	23.21 ab	36.07 b	29.19
S.A. y foliar	22.77 ab	21.73 b	37.75 b	27.42
Testigo	18.40 ab	22.61 ab	36.32 b	25.78
Composta	16.84 b	24.71 ab	37.26 b	26.27
DMSH	19.98	5.37	4.73	

Letras diferentes en la misma columna para cada tratamiento indican diferencia significativa (Tukey, $\alpha=0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta

Tener una cobertera, como lo señalaron, ayuda a evitar la difusión del agua al aire porque disminuye la radiación y se reduce de la velocidad/acción del viento sobre el suelo (Yáñez et al., 2015). En un estudio de Amare y Desta (2021) se obtuvo que después de humedecer dos metros de profundidad de un suelo arcilloso con materia orgánica, con presencia de cobertura vegetal, después de 10 días se perdió un 23 % de la humedad inicial, mientras que al humedecer un suelo desnudo (sin cobertera vegetal) se perdió un 30 %, sin embargo, en los casos donde los suelos eran de textura arenosa se llegó hasta un 90 % de pérdida de agua para el día 10 (Amare & Desta, 2021).

Debido a una evaporación de la humedad del suelo más lenta por la presencia de soya como cobertera, hay más humedad disponible cerca de las raíces de las plantas y, por ende, más tiempo disponible para que las plantas tomen el agua como lo menciona (Basche & DeLonge, 2017). Además, cuando las raíces penetran el suelo, lo descompactan, lo que proporciona una mejor infiltración de agua en el perfil

edáfico y, dependiendo de la cantidad de soya presente, será el porcentaje humedad retenida en el perfil edáfico (Basche & DeLonge, 2017). Esto es especialmente útil en los meses en que disminuye o es nula la precipitación y/o en especial en temporadas de sequía (Basche & DeLonge, 2017).

3.5.4. Temperatura del suelo

Al aplicar la prueba de comparación de medias, se encontraron diferencias estadísticas significativas en la temperatura del suelo entre tratamientos.

Al promediar las cuatro lecturas, el suelo de los árboles del tratamiento S.A. y foliar presenta una mayor temperatura 33.91 °C contra los 31.39 °C en el tratamiento con menor temperatura que fue soya (Cuadro 6). Esto se debe principalmente a la falta de cobertura que protegiera el suelo y ayudara a disminuir su temperatura (Ayala et al., 2009).

Cuadro 6. Lecturas de temperaturas de suelo en cada tratamiento

Tratamientos	Fecha de análisis				Promedio (°C)
	17/jun/2023	15/jul/2023	12/ago/2023	26/ago/2023	
S.A. y foliar	31.57 a	36.47 a	35.70 a	31.90 a	33.91
Testigo	31.57 a	34.10 b	34.43 ab	31.67 ab	32.94
Composta	31.07 a	33.67 bc	34.47 bc	30.90 bc	32.53
Soya-composta	30.97 ab	33.00 c	34.00 b	30.77 c	32.18
Soya	30.77 b	32.67 c	32.23 c	29.90 d	31.39
DSMH	0.74	1.04	1.52	0.77	1.01

Letras diferentes en la misma columna para cada tratamiento indican diferencia significativa (Tukey, $\alpha=0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta

Los tratamientos S.A. y foliar, composta y testigo presentes las mayores temperaturas, debido a la ausencia de cobertera sobre el suelo y la presencia solo de algunos pastos. Por el contrario, las temperaturas en el suelo de los tratamientos soya y soya-composta fueron menores, principalmente por tener a la soya como cobertura. Los cultivos de cobertera, como la soya, sombream el suelo y ayudan a reducir la evaporación del agua del suelo; sus raíces también agregan materia orgánica al suelo y previenen su erosión, lo cual también mantiene la tierra

esponjosa y ayudándola a retener agua (Ayala et al., 2009). Una mayor retención de humedad evita que los suelos se calienten demasiado rápido (Torres et al., 2018). Algunos autores citan que las coberturas redujeron las temperaturas en 2 °C en los 10 primeros cm de profundidad durante la mañana y hasta en 5 °C en las horas más calientes de la tarde (Torres et al., 2018).

Cabe señalar, que en el suelo de los tratamientos con soya como cobertera (soya” y soya-composta) se pudo observar que la temperatura se mantuvo prácticamente sin cambios, independientemente de la profundidad de donde fue tomada (15, 20 y 30 cm), al contrario de los tratamientos que, sin soya, en donde hay una mayor variación con la profundidad.

Un suelo que no tiene coberteras puede compactarse más fácilmente (por la ausencia de las raíces y materia orgánica) y como lo expresaron López y Estrada (2015), la temperatura puede cambiar rápidamente, debido a que las partículas transfieren las temperaturas mucho más rápido cuando se juntan (López & Estrada, 2015).

3.5.5. Estimación de la asimilación de CO₂.

Las hojas son los órganos responsables en la transformación de CO₂ en foto asimilados (Luna-Guerrero et al., 2020). Se debe prestar atención a las condiciones ambientales en especial, la hora del día, la intensidad lumínica, la temperatura y humedad relativa, ya que la actividad fotosintética se ve altamente regulada por estas variables y es una medida indirecta de la asimilación de CO₂ (Luna-Guerrero et al., 2020).

Cuadro 7. Intercambio neto de CO₂ en hojas de árboles de naranja.

Tratamientos	Promedio de intercambio neto ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
Soya-composta	48.61 a
Composta	39.89 a
S.A. y foliar	36.99 a
Soya	36.40 a
Testigo	34.43 a
DMSH	22.42

Letras diferentes en la misma columna para cada tratamiento indican diferencia significativa (Tukey, $\alpha=0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

La mayor cantidad de agua disponible en el suelo tiene un efecto directo y significativo en los procesos fisiológicos de las plantas, como la transpiración y la conductancia estomática, y por tanto en la asimilación de carbono, lo que puede reflejarse en el crecimiento y la supervivencia (Luna-Guerrero et al., 2020); lo anterior puede verse en el tratamiento soya-composta que presenta la mayor asimilación de CO₂ (48.61 μmoles (Cuadro 7).

Un menor porcentaje de humedad en los tratamientos que no tienen soya (S.A. y foliar, composta y testigo) respecto a los que si tienen cobertera (Soya y soya-composta) ocasionan la presencia de un déficit hídrico en el suelo, que tendrá el efecto de reducir la conductancia estomática y por tanto disminuir el aumento de la tasa de transpiración provocado por la luz y la temperatura de alta intensidad, determinando así una menor tasa de asimilación de dióxido de carbono (Carbajal et al., 2017). Sin embargo, se puede apreciar que el tratamiento de soya tiene menor asimilación de CO₂, esto debido principalmente a que cuando se tomaron las lecturas en este tratamiento se comenzaron a tener la presencia de algunas nubes lo que disminuyó la luminosidad que es necesaria para que las hojas estén plenamente fotosintéticamente activas en ese momento (Carbajal et al., 2017).

También se realizó una comparación de medias de la absorción de CO₂ en la soya de los tratamientos soya y soya-composta y en los pastos asociados (Cuadro 8).

Cuadro 8. Intercambio neto de CO₂ en la soya forrajera de los tratamientos soya y soya-composta y en los pastos presentes.

Tratamientos	Promedio de intercambio neto ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
Soya	39.14 a
Soya-composta	35.16 a
Pastos	34.74 a
DMSH	19.99

Letras diferentes en la misma columna para cada tratamiento indican diferencia significativa (Tukey, $\alpha=0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

No se presentaron diferencias estadísticamente significativas en la asimilación de CO₂ entre los tratamientos ni en los pastos asociados. Hay que tener en cuenta que la soya, puede ocupar todo el espacio disponible tanto entre los callejones como debajo de la copa de los árboles, por lo que puede lograr desarrollo vegetativo y el área foliar total se puede incrementar hasta tres veces en su superficie al tener varias capas de hojas, esto se traduce en que el CO₂ neto total asimilado se ve incrementado (Carbajal et al., 2017).

Algunos estudios han encontrado que el déficit de humedad del suelo también es responsable de efectos químicos, como lo es la producción de prolina, que interfieren con los procesos fisiológicos y bioquímicos de las plantas, actuando como reguladores osmóticos, asegurando la expansión estomática y la regulación de la fotosíntesis en el proceso de asimilación de CO₂, lo que afectaría en la cantidad de asimilación total de este gas (Molina et al., 2016).

3.6 CONCLUSIONES

Los tratamientos con cobertera vegetal (soya y soya-composta), tienen las temperaturas más bajas en el suelo y presentaron una mayor generación de humedad. Esto se tradujo en que hayan sido los más altos en cuanto al amarre de fruto. No se presentaron diferencias estadísticamente significativas en la asimilación de CO₂ entre los árboles de cada tratamiento ni en los pastos asociados, sin embargo, se debe resaltar que utilizar soya forrajera como cobertera es una excelente alternativa por su capacidad de captura de carbono debido a que tiene varias capas de hojas y pueden abarcar el área total de plantación, entre otras cualidades que tiene este cultivo.

Por otra parte, aplicar composta junto con la utilización de soya forrajera presenta buenos resultados en la floración y amarre de fruto. Sin embargo, es necesaria una buena cantidad de composta cercana a los 30 kg. Su efecto en los árboles no será inmediato, aproximadamente a los 6 meses se comienzan a ver los resultados y se

requieren varias aplicaciones. Sus beneficios se incrementan al estar acompañada de soya forrajera.

La fertilización química combinada al suelo y follaje presentó buenos resultados en la floración, pero no así en el amarre de fruto por lo que se sugiere que es debido a las altas temperaturas del suelo y la poca retención de humedad al estar el suelo desnudo.

3.7. LITERATURA CITADA

Agustí M., Martínez A., Mesejo, C., Juan, M., & Almela, V. (2003). Cuajado y desarrollo de los frutos cítricos. *Generalitat Valenciana*. <http://hdl.handle.net/20.500.11939/8074>

Alayón, L. P., Rodríguez, V. A., Piccoli, A. B., Chabbal, M. D., Giménez, L. I., & Martínez, G. C. (2014) Fertilización foliar con macronutrientes a plantas de naranja Valencia late (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y tangor Murcott (*Citrus reticulata* Blanco x *Citrus sinensis* (L.) Osbeck). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 1, 87-96.

Amare, G., & Desta, B. (2021). Coloured plastic mulches: impact on soil properties and crop productivity. *Chemical Biological Technologies Agriculture*, 8(4), 1-9, <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00201-8>

Aular, J., Cásares, M., & Natale, W. (2017). Factors affecting citrus fruit quality: emphasis on mineral nutrition. *Científica*, 45(1), 64-72. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2017v45n1p64-72>

Ayala S., A., Krishnamurthy, L., & Basulto G., J. A. (2009). Leguminosas de cobertera para mejorar y sostener la productividad de maíz en el sur de Yucatán. *Terra Latinoamericana*, 27(1), 63-69.

Balfagón, D., Zandalinas, S. I., Mittler, R., & Gómez-Cadenas, A. (2020). High temperatures modify plant responses to abiotic stress conditions. *Physiologia Plantarum*, 170(3), 335-344. <https://doi.org/10.1111/ppl.13151>

- Basche, A., & DeLonge, M. (2017). The impact of continuous living cover on soil hydrologic properties: a meta-analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 81(5), 1179-1190. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.03.0077>
- Bautista-Cruz, A., Cruz, D. G., Rodríguez, M. M., Pérez, P. R., & Robles, C. (2014). Effect of compost and slow-release fertilizers addition on soil biochemistry and yield of maize (*Zea mays* L.) in Oaxaca, Mexico. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 46(1), 181-193. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837657013>
- Carbajal A., J., Rodríguez R., A. A., Ávila C, L. P., Rodríguez Herrera, A. L., & Hernández C, H. (2017). Captura de carbono por una fachada vegetada. *Acta Universitaria*, 27(5), 55-61. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1388>
- Francisco-de la Cruz, A., Villarreal-Quintanilla, J. A., Estrada-Castillón, A. E., & Jasso-Cantú, D. (2017). Flora y vegetación del municipio Álamo Temapache, Veracruz, México. *Acta botánica mexicana*, 1(121), 83-124. <https://doi.org/10.21829/abm121.2017.1291>
- Garzón C., D. L., Vélez-Sánchez, J. E., & Orduz R, J. O. (2013). Efecto del déficit hídrico en el crecimiento y desarrollo de frutos de naranja Valencia (*Citrus sinensis* Osbeck) en el piedemonte de Meta, Colombia. *Acta Agronómica*, 62(2), 136-147. <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v62n2/v62n2a07.pdf>
- López, M., & Estrada, H. (2015). Propiedades del suelo. *Bioagrobiencia*, 8(1), 3-11.
- Luna-Guerrero, M. J., López-Castañeda, C., Quero Carrillo, A. R., Herrera-Haro, J. G., Ortega-Cerrilla, M. E., & Martínez-Hernández, P. A. (2020). Relaciones hídricas e intercambio gaseoso en alfalfa bajo condiciones de sequía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(24), 81-92 <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2360>
- Manzanilla-Ramírez, M. A., Villegas-Monter, A., Velázquez-Monreal, J. J., Zavaleta-Mancera, H. A., Sandoval-Villa, M., & Muñoz-Orozco, A. (2019). Cambios

- fisiológicos en árboles de limón mexicano en producción infectados con HLB. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(7), 1603-1614. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1957>.
- Manzi, M., Borsani, O., Díaz, P., & Rivas, F. (2015). Relationship between flower intensity, oxidative damage and protection in Citrus under water stress conditions. *Acta Horticulturae*, 1065(1), 1243-1249. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1065.158>
- Molina V., D. M., Ramírez B., V. H., & Cortina G., H. A. (2016). Comportamiento de accesiones de Coffea arabica sometidas a déficit de humedad del suelo. *Revista Cenicafé*, 67(1), 41-54. <https://doi.org/10.38141/10778/67102>
- Monsalve-C, O. I., Gutiérrez-D, J. S., & Cardona, A. W. (2017). Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 200-209. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5663>
- Pustaka, A. B., Subandiyah, S., Holford, P., Beattie, G. A., Iwanami, T. & Masaoka, Y. (2008). Interactions between plant nutrition and symptom expression in mandarin trees infected with the disease Huanglongbing. *Australasian Plant Disease Notes*, 3, 112-115. <https://doi.org/10.1007/BF03211261>
- Ramos C., M. C., Pérez E., E. R., Martínez M., J., Acosta D., E., & Almeyda L., I. H. (2023). Calidad de frutos de cultivares de naranja temprana en Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 14(1), 75-84. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i1.3128>
- Razi, M. F., Keremane, M. L., Ramadugu, C., Roose, M., Khan, I. A., & Lee, R. F. (2014). Detection of citrus huanglongbing associated *Candidatus Liberibacter asiaticus* in citrus and *Diaphorina citri* in Pakistan, seasonal variability, and implications for disease management. *Phytopathology*. 104(3), 257-68. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-13-0224-R>

- Rodríguez V. A., Cabrera B., S. C., Martínez, G. C., Chabbal, M. D., & Mazza, S. M. (2014). Fertilización foliar con zinc y manganeso en huertos de naranjo 'Valencia late'. *Cultivos Tropicales*, 35, 100-105. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193232493013.pdf>
- Salgado-García, S., Palma-López, D. J., Zavala-Cruz, J., Córdoba-Sánchez, S., Castelán-Estrada, M., Lagunés-Espinosa, L., Ortiz-García, C.F., Rivera-Cruz, C., Ventura-Ulloa, F., Marín-Aguilar, Álvaro., Moreno-Caliz, E., & Rincón-Ramírez, J. A. (2015) Programa de fertilización sustentable para plantaciones de cítricos en Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(9), 345-356.
- SEFIPLAN. 2009. *Sistema de Información Municipal Álamo Temapache, Veracruz*. Secretaría de Finanzas y Planeación del Estado de Veracruz. Xalapa, México. <https://www.veracruz.gob.mx/finanzas/transparencia-abrogada/fraccion-vii-programas-operativos-anuales/poa-2009/>
- Srisvastava, A. K. (2012) Advances in citrus nutrition. *Springer*. 1475, <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4171-3>
- Torres C., S., Huaraca F., J., & Pezo, D. L., Calderón, C. R. (2018). Asociación de cultivos, maíz y leguminosas para la conservación de la fertilidad del suelo. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 4(1), 15-22. <https://doi.org/10.17162/rictd.v4i1.1068>
- Yáñez, N., Dec, D., Clunes, J., & Dörner, J. (2015). Estimación de la curva de retención de agua de un andisol bajo un cultivo de arándano, a través de funciones de pedotransferencia. *Agro Sur*, 43(3), 63-72. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2015.v43n3-07>
- Zandalinas, S. I., Casal, J., Rouached, H., & Mittler, R. (2024). Stress combination: from genes to ecosystems. *The Plant Journal*, 117(6), 1639-1641. <https://doi.org/10.1111/tpj.16681>

Zandalinas, S. I., Rivero, R. M., Martínez, V., Gómez-Cárdenas, A., & Arbona, V. (2016). Tolerance of citrus plants to the combination of high temperatures and drought is associated to the increase in transpiration modulated by a reduction in abscisic acid levels. *BMC Plant Biology*, 16(1), 105-120. <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0791-7>