



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tan.)
BAJO CONDICIONES DE RIEGO Y FERTILIZACIÓN EN ALTAS
DENSIDADES DE PLANTACIÓN EN EL ESTADO DE CAMPECHE**

MIGUEL ÁNGEL CASTELÁN PRIMO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE


MAESTRO EN CIENCIAS


TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ, MÉXICO


2017


La presente tesis, titulada: **Producción y calidad de limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) bajo condiciones de riego y fertilización en altas densidades de plantación en el estado de Campeche**, realizada por el alumno: **Miguel Ángel Castelán Primo**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN
AGROECOSISTEMAS TROPICALES
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
DR. ELISEO GARCÍA PÉREZ

ASESOR: 
DR. EUGENIO CARRILLO ÁVILA

ASESOR: 
DR. JOSÉ LÓPEZ COLLADO

ASESOR: 
M.C. JOSÉ ARTURO REYES MONTERO

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México, 10 de noviembre del 2017

PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tan.) BAJO CONDICIONES DE RIEGO Y FERTILIZACIÓN EN ALTAS DENSIDADES DE PLANTACIÓN EN EL ESTADO DE CAMPECHE.

Miguel Ángel Castelán Primo, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2017

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el adelanto de la floración, producción y la calidad de limón persa bajo condiciones de riego y fertilización en altas densidades de plantación, en el estado de Campeche, México. Se trabajó con árboles de 7 años de edad. Se registraron las siguientes variables: número de brotes florales/m², mixtos/m², vegetativos/m², producción y las características del fruto; donde se midió peso del fruto, longitud polar, diámetro ecuatorial, porcentaje de jugo, sólidos solubles totales (SST), acidez (%) y pH. Hubo diferencias estadísticas en los tratamientos de riego y fertilización en las variables evaluadas ($p \leq 0.05$). En las variables brotación floral y mixta los tratamientos de fertilización y tensión de humedad (F2,-10kPa) presentaron una mayor floración. En la brotación vegetativa se presentó con el tratamiento (F5,-45kPa). En la producción se encontró diferencia estadística ($p \leq 0.05$) en la variable frutos amarrados por árbol con el tratamiento (F2,-10kPa) donde se obtuvo un rendimiento de 3.93 t ha⁻¹ con un 35 % de la floración. En la característica de fruto se encontró diferencia estadísticas ($p \leq 0.05$) en las variables peso de fruto por árbol, longitud polar, diámetro ecuatorial, porcentaje de jugo, SST y pH. Se concluye que la aplicación de riego a una tensión de -10kPa y dosis bajas de fertilización en el cultivo de limón mostraron mayor floración y floración mixta; las aplicaciones realizadas influyeron en las características físicas y químicas de limón persa.

Palabras clave: *Citrus latifolia* Tan, floración adelantada, producción, calidad de fruto, riego.

PRODUCTION AND QUALITY OF HIGH PLANTING DENSITIES OF PERSIAN LEMON (*Citrus latifolia* Tan.) UNDER LOW IRRIGATION AND FERTILIZATION CONDITIONS IN THE STATE OF CAMPECHE

Miguel Ángel Castelán Primo M.C.

Colegio de Postgraduados, 2017

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the advance of the flowering, yield and the quality of persian lemon under conditions irrigation and fertilization in high plantation of densities, in the state of Campeche, Mexico. We worked with 7-year-old trees. The following variables were recorded: number of floral shoots/m², mixed/m², vegetative/m², production; Fruit features were weight, polar length, equatorial diameter, juice percentage, total soluble solids, acidity (%) and pH. There were statistical differences in the treatments of irrigation and fertilization in the evaluated variables ($p \leq 0.05$). In the floral and mixed budding variables, the treatments of fertilization and moisture tension (F2, -10kPa) presented a greater flowering. In the vegetative sprout was presented with the treatment (F5, -45kPa). In the production stage, a statistical difference ($p \leq 0.05$) was found in the number of fruits per tree with the treatment (F2, -10kPa), where a yield of 3.93 t ha⁻¹ was obtained with 35 % of flowering. Regarding fruit characteristics, differences ($p \leq 0.05$) were found in the variables fweight per tree, polar length, equatorial diameter, juice percentage, SST and pH. It were obtained concluded that the application of irrigation at -10kPa and low doses of fertilization in the lemon crop showed greater flowering and mixed flowering; the treatments influenced the physical and chemical characteristics of persian lemon.

Key words: *Citrus latifolia* Tan, flowering advanced, yield, fruit quality, irrigation.

DEDICATORIA

A **DIOS** por darme la vida y permitirme estar aquí, alcanzo una meta más en la vida.

A mis padres: **Edilberto Castelán Aparicio** y **Lucia Primo Reyes** que en ningún momento dudaron en apoyarme y entregarme su amor, dedicación y su paciencia. Gracias por confiar en mí y por ser la persona que ahora soy; los quiero.

A mis hermanas: **Vero, Leydi, Are, Cecy y Guille** por cada momento que pasamos en familia y por apoyarme a pesar de la distancia.

A **Martha Elena Martínez Sánchez**, por ser un gran apoyo en este momento de mi vida, por su amor, paciencia, confianza y su dedicación para lograr esta meta.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** (CONACYT) por el apoyo económico para realizar mis estudios de postgrado.

Al **Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz** por haberme dado la oportunidad para realizar mis estudios de maestrías en el programa de Agroecosistemas Tropicales.

A la Línea de Investigación **Recursos naturales, Agroecosistemas y Cambio Climático** del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz por las facilidades otorgadas para la investigación de tesis.

A mi consejo académico: **Dr. Eliseo García Pérez**, por su valioso tiempo y el constante apoyo en la redacción de la tesis. Así como sus acertadas observaciones realizadas al trabajo de investigación.

Al **Dr. Eugenio Carrillo Ávila**, por su apoyo en campo y las facilidades para realizar la investigación, el tiempo disponible en la realización de las observaciones en la investigación.

Al Dr. **José López Collado**, por su apoyo en la parte estadística, su paciencia y las aportaciones en el trabajo de investigación.

Al M.C. **José Arturo Reyes Montero**, por el apoyo y la facilidad otorgada en el desarrollo de la investigación y sus observaciones realizadas en campo.

A la Universidad Autónoma de Campeche por facilitar su laboratorio de Lácteos para realizar algunas de las pruebas.

Al Colegio de Postgraduados Campus Veracruz por facilitar el uso del laboratorio de Suelo y Agua para la realización de las pruebas.

A todo el personal de campo del Colegio de Postgraduados Campus Campeche por el apoyo brindado en la realización de la investigación.

A mis compañeros de generación Otoño 2015: Martha, Rafa, Sergio Lagunés, Ana, José, Aleida, Sergio Sánchez, Gerardo, Luis, Luis Alfredo y Alberto.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
2. HIPÓTESIS	15
2.1. Hipótesis General	15
2.2. Hipótesis específicas	15
3. OBJETIVOS	16
3.1. Objetivo General	16
3.2. Objetivos Específicos.....	16
4. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	17
4.1. Teoría general de sistemas.....	17
4.2. El concepto de Agroecosistema.....	17
4.3. Cultivos en altas densidades de plantación	18
4.4. Épocas de producción.....	19
4.5. Producción forzada	19
5. MARCO DE REFERENCIA	20
5.1. Producción y distribución de limón.....	20
5.1.1. Producción mundial de limón.....	20
5.1.2. Producción nacional de limón persa	21
5.1.3. Cultivo del limón persa en el estado de Campeche.....	22
5.1.4. Comercialización	23

5.1.5. Exportación de limón persa.	23
5.2. El cultivo de limón persa (<i>Citrus latifolia</i> Tan.)	24
5.3. Requerimientos agroecológicos del cultivo	26
5.3.1. Condiciones climáticas	26
5.3.2. Condiciones edáficas.....	26
5.3.3. Latitud y altitud.....	27
5.4. Fenología del cultivo	27
5.4.1. Brotación.....	27
5.4.2. Floración	27
5.4.3. Fructificación.....	28
5.5. Producción	29
5.6. Manejo del cultivo	30
5.6.1. Establecimiento del cultivo.....	30
5.6.2. Riego	31
5.6.3. Poda	36
5.6.4. Nutrición.....	37
5.6.5. Fertilización.....	41
5.7. Cosecha.....	44
5.8. Calidad de fruto.....	44
6. SÍNTESIS DE LA REVISIÓN DE LITERATURA	46

7. LITERATURA CITADA.....	47
CAPITULO I. PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL LIMÓN PERSA (<i>Citrus latifolia</i> Tan.), BAJO RIEGO Y FERTILIZACIÓN EN ALTA DENSIDAD DE PLANTACIÓN CAMPECHE, MÉXICO.	53
1.1. INTRODUCCIÓN	55
1.2. MATERIALES Y MÉTODOS	56
1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
1.4. CONCLUSIONES	74
1.5. LITERATURA CITADA.....	75
CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y CONCLUSIONES GENERALES	81
ANEXOS	82
ANEXOS 1. Cuadro A1 y A2.	82
ANEXOS 2. Imágenes del cultivo de limón persa en altas densidades de plantación campo experimental de Sihochac del Campus Campeche en el año 2015.	83
ANEXOS 3. Imágenes de producción y muestras de limón persa.	84
ANEXOS 4. Imágenes del peso de fruto y extracción de jugo de limón persa.....	84
ANEXOS 5. Imágenes del pesado de jugo y medición de pH.....	85
ANEXOS 6. Imágenes de lectura de SST y de Acidez.....	85

LISTA DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Principales países productores de limón FAOSTAT, 2014).....	2
¡Error! Marcador no definido.	
Cuadro 2. Superficie de siembra y producción de limón en México (SIAP, 2015).	2
¡Error! Marcador no definido.	
Cuadro 3. Producción y rendimiento de limón persa en México (SIAP, 2015).	1
¡Error! Marcador no definido.	
Cuadro 4. Producción y rendimiento de limón persa en el estado de Campeche (SIAP, 2015).	23
Cuadro 5. Análisis de varianza en brotación floral.	1
¡Error! Marcador no definido.	
Cuadro 6. Brotación floral, brotación mixta y brotación vegetativa en árboles de limón persa sometidos a diferentes tratamientos de fertilización y riego en las diferentes fechas.	1
¡Error! Marcador no definido.	
Cuadro 7. Análisis de varianza de frutos amarrados.....	63
Cuadro 8. Efectos de los tratamientos de fertilización y tensión en la producción de limón persa.....	65
Cuadro 9. Efectos de fertilización y tensión en algunas características del fruto. ...	1
¡Error! Marcador no definido.	
Cuadro 10. Análisis de varianza en la variable peso de fruto.....	68
Cuadro 11. Análisis de varianza en la variable longitud polar de fruto	69
Cuadro 12. Análisis de varianza en la variable diámetro ecuatorial.	69
Cuadro 13. Análisis de varianza en la variable porcentaje de jugo.	71
Cuadro 14. Medias de mínimos cuadrados en los efectos principales de fertilización y tensión.....	70
Cuadro 15. Análisis de varianza en la variable sólidos solubles totales.....	1
¡Error! Marcador no definido.	
Cuadro 16. Análisis de varianza en la variable porcentaje de acidez. ...	1
¡Error! Marcador no definido.	
Cuadro 17. Medias de mínimos cuadrados en los efectos principales de fertilización y tensión.....	72
Cuadro 18. Análisis de varianza en la variable pH.....	73

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Relación de las etapas fenológicas y prácticas de manejo, con los elementos climáticos en limón persa, en el ciclo de producción 2015-2016 del limón persa (<i>Citrus latifolia</i> Tan.)	58
Figura 2. Efecto de la interacción de la fertilización química y tensión de humedad en el suelo en la brotación floral. Grafica de caja y valores observados presentan los valores extremos de 0.25, 0.50 y 0.75 cuartiles de la distribución.....	61
Figura 3. Efecto de la interacción de la fertilización química y tensión de humedad en el suelo en la brotación mixta. Grafica de caja y valores observados presentan los valores los valores extremos de 0.25. 0.50 y 0.75 cuartiles de la distribución....	62
Figura 4. Efecto de interacción en los tratamientos de fertilización y tensión de humedad en el suelo en frutos amarrados.	64
Figura 5. Efecto de interacción en los tratamientos de fertilización y tensión de humedad en el suelo en el peso de fruto.....	67
Figura 6. Efecto de interacción de los tratamientos de fertilización y tensión de humedad en el suelo en la longitud polar de los frutos.....	68
Figura 7. Efecto de interacción de los tratamientos de fertilización y tensión de humedad en el suelo en diámetro ecuatorial.....	69
Figura 8. Efecto de interacción en los tratamientos de fertilización y tensión de humedad en el suelo.	71
Figura 9. Efecto de interacción en los tratamientos de fertilización y tensión de humedad en el suelo en el pH.....	73

INTRODUCCIÓN GENERAL

La producción de limón en México cuenta con 160,083.58 hectáreas y tiene una producción de 2,326,068.33 toneladas, un rendimiento de 14.53 t ha⁻¹ con un valor de producción de M\$ 8,950,070.05 anuales. La exportación de limón persa para el país es de gran importancia, cerca de un cuarto de la producción nacional de limón es exportada; el 85 % corresponde a limón persa. Entre los principales estados productores de limón persa están Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Yucatán, Puebla, Quintana Roo y Campeche que concentran el 77% del volumen de producción en el país (SIAP, 2015).

El cultivo de limón persa en el estado de Campeche presenta las condiciones climáticas y agroecológicas para su desarrollo; actualmente cuenta con una superficie de siembra de 1,493 hectáreas; de las cuales 946 hectáreas cuentan con sistema de riego y rendimientos de 7.6 t ha⁻¹, la producción generada es de 10,325.07 toneladas con un valor de la producción de M\$ 43,124.0 en el estado (INEGI, 2007-2012).

El bajo rendimiento por hectárea, el alto valor económico en la producción de cítricos y la demanda de agua en la superficie de cultivo son algunas de las características por lo cual se requiere ser eficiente en el uso de agua de riego e incrementar la productividad, conservación de la misma y minimizar los impactos ambientales. Actualmente la baja producción que se tiene en los meses de octubre a abril en el cultivo de limón, alcanza un precio de 10 \$/kg; comparado con la mayor producción que se obtiene en los meses de mayo a septiembre con precio de 3.00 \$/kg; afectando en los ingresos de los productores. La calidad de limón persa está relacionado con el inadecuado manejo de los requerimientos hídricos y nutricionales de la planta (Escobar *et al.*, 2003).

Los cítricos son plantas perennes y por lo tanto realizan procesos biológicos durante todo el año. Existen factores que intervienen en la productividad y la calidad del limón, entre los cuales se encuentra la cantidad de radiación solar, temperatura, precipitación pluvial, el viento, tipo de suelo y otros propios de la plantación, como la especie, portainjerto, distancia de plantación, fertilización y riego. Dentro de los factores controlados, como es el caso del riego, éste se ha manejado de manera inadecuada en

los cultivos provocando la pérdida de las aguas bajo las raíces y lixiviación de fertilizantes (Espada, 2009).

El riego tiene como objetivo nutrir hídricamente a la planta, a la vez que permite que la planta tenga un flujo constante de agua y de nutrientes del suelo hacia las hojas, favoreciendo el proceso de la fotosíntesis y la transpiración, con lo cual se obtienen árboles vigorosos con mayor y mejores frutos, mayor cobertura de hojas e incremento en producción (Rodríguez *et al.*, 2002). La fertilización es una de las más importantes en los cítricos. En donde la absorción de los nutrientes es constante a lo largo de todo el año. El mayor periodo de absorción de nutrientes de la planta es en el periodo de la floración y cuajado del fruto (Pereyra, 2005).

En el estado de Campeche no se registran estudios sobre los efectos del riego y la fertilización en limón persa, que sirvan de referencia para incrementar la productividad y la calidad del fruto; así como mejorar la eficiencia del riego y de los fertilizantes. Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el adelanto de la floración, producción y la calidad de limón persa bajo condiciones de riego y fertilización en altas densidades de plantación, en el estado de Campeche, México.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

México es el segundo país productor de limón a nivel mundial con una producción de 2,326,068.33 toneladas y rendimientos de 14.53 t ha⁻¹ (FAOSTAT, 2014). El cultivo de limón persa en el estado de Campeche presenta las condiciones climáticas y agroecológicas para su desarrollo. Actualmente cuenta con una producción de 10,325.1 mil toneladas, un rendimientos de 7.6 t ha⁻¹ y un valor de la producción de M\$ 43,124.0 en el estado (SIAP, 2015).

El limón persa tiene una gran aceptación en el mercado nacional e internacional como fruto fresco; el mayor volumen de producción se presenta en los meses de mayo-septiembre con el 70% de la producción y el 30% restante en los meses de octubre-abril, que se origina de floraciones tardías. Estas condiciones que se presentan en el cultivo afectan el precio del fruto: en los meses con mayor producción hay una baja en el precio y este aumenta en los meses cuando se tiene una escasez en la producción (Curti-Díaz *et al.*, 2000; Pérez-Gutiérrez *et al.*, 2007).

Entre algunas alternativas existentes para resolver la problemática del cultivo de limón persa son: el manejo de la poda, ya que este controla el crecimiento del árbol, mejora la entrada de la luz, modifica los patrones de floración, mejora la calidad del fruto, facilita la aspersion de fertilizantes en el follaje y la cosecha (Medina *et al.*, 2004).

El riego es otra de las prácticas importantes que permite el aporte de agua, para satisfacer las necesidades del cultivo. Su principal finalidad es la de nutrir hídricamente a la planta, a la vez que permite la absorción de los elementos minerales esenciales para el crecimiento a través de las raíces. Por último, la fertilización que provee los nutrientes necesarios para la planta, cuya demanda de nutrientes varía a lo largo de todo el año (I Gomis, 1997). Con esta alternativa de manejo, el cultivo tendrá una producción fuera de temporada, con un uso eficiente de agua y fertilización, obteniendo una mejor calidad del fruto.

2. HIPÓTESIS

2.1. Hipótesis General

El adelanto de floración, la producción y la calidad de limón persa en altas densidades de plantación, son afectadas por las aplicaciones de riego y la fertilización en la región centro del estado de Campeche.

2.2. Hipótesis específicas

El adelanto de floración y producción de limón persa en altas densidades de plantación, dependen del efecto del riego y la fertilización en el estado de Campeche.

Las características físicas y químicas del fruto de limón persa en altas densidades de plantación, dependen de las aplicaciones de riego y la fertilización en el estado de Campeche.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Evaluar el adelanto de la floración, producción y la calidad de limón persa bajo condiciones de riego y fertilización en altas densidades de plantación, en el estado de Campeche, México.

3.2. Objetivos Específicos

Evaluar el adelanto de la floración y la producción de limón persa en el efecto de interacción del riego y la fertilización en altas densidades de plantación, en el estado de Campeche, México.

Determinar las características físicas y químicas del fruto de limón persa en el efecto de interacción del riego y fertilización en altas densidades de plantación, en el estado de Campeche, México.

4. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

En este apartado se describen el marco teórico y conceptual. Este tiene como función esclarecer las teorías y conceptos que sustentan esta investigación de tesis. Se define el concepto teoría de sistemas, agroecosistema, cultivos en altas densidades, época de producción y producción forzada.

4.1. Teoría general de sistemas

El concepto fue propuesto por Von Bertalanffy en 1976, quien lo define como el estudio interdisciplinario de los sistemas en general. Aborda los problemas complejos, basándose en la totalidad y sus propiedades. Requiere del funcionamiento correcto entre sus elementos para un desempeño eficaz del conjunto (Bertalanffy, 1976).

La teoría general de sistemas, mediante el análisis de las totalidades y sus interacciones internas y las externas con su medio, es una poderosa herramienta que permite la explicación de los fenómenos que suceden en la realidad, y también hace posible la predicción de la conducta futura de esa misma realidad. La teoría general de sistemas menciona que “si el todo es la suma de las partes, el todo es más que la suma de sus partes, donde el todo determina la naturaleza de las partes, y donde las partes no pueden comprenderse si se consideran de forma aislada del todo” (Gigch, 1990).

4.2. El concepto de Agroecosistema

Agroecosistema es un término compuesto por las palabras agro (del Latín *ager*. campo, tierra fuente de producción) y ecosistema (porción de la naturaleza constituida por organismos vivos y sustancias inertes que actúan recíprocamente intercambiando materiales) (Maass *et al.*, 1990).

El agroecosistema es visto desde el enfoque de sistemas como la unidad física donde se pueden desarrollar actividades agrícolas, pecuarias, forestales, acuícolas o la

combinación de estas. Dentro del cual intervienen factores económicos, sociales y ecológicos para la obtención de alimentos y otros satisfactores que la sociedad demanda a través del tiempo (Ruiz-Rosado, 2006).

La conceptualización del agroecosistema tiene raíces en la concepción de la agricultura como un ecosistema, semejándose a los procesos de una sucesión ecológica, ya que la agricultura involucra cadenas tróficas, ciclos de nutrientes, diferente estructura de comunidades vegetales y animales, tiene salidas y entradas, con la diferencia que son manejados por las personas (López *et al.*, 2006). Se han realizado diversos estudios, utilizando enfoques reduccionistas con aportaciones útiles para combatir o tratar de controlar situaciones específicas, buscando una mayor productividad o un mejor funcionamiento de algún elemento o nicho ecológico dentro del agroecosistema (Báez *et al.*, 2006).

Con base en lo anterior, para el presente trabajo de investigación se define el Agroecosistema como un sistema en el cual interactúan elementos bióticos y abióticos sin olvidar el uso de tecnología y la cultura de la región, donde el cultivo de limón persa es un componente más de los agroecosistemas y en el cual el productor es el controlador, siendo el responsable del manejo eficiente del Agroecosistema, con base en el conocimiento local.

4.3. Cultivos en altas densidades de plantación

Es un sistema de cultivo que permite aumentar el número de plantas por unidad de superficie, aprovechando mejor el espacio, con un manejo agronómico adecuado del cultivo. El objetivo de los cultivos en altas densidades de plantación es aumentar el rendimiento del cultivo y una rápida recuperación del capital invertido, realizando el manejo eficiente de los huertos (Vázquez *et al.*, 2009). Se han establecidos plantaciones de limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Chirstm Swingle) a una densidad de 312 árboles por hectáreas, obteniendo rendimientos de 36.6 t ha⁻¹ comparado con

plantaciones comerciales con densidades de 164 árboles ha⁻¹ con rendimiento de 20.2 t ha⁻¹ a los cinco años de producción (Urrutia *et al.*, 2003).

4.4. Épocas de producción

Se describe como una de las fases en las plantas que presentan los primeros frutos en relación con el tiempo, presentado una diferenciación floral y del fruto (Curti-Díaz *et al.*, 2000). La planta de limón persa tiene una producción continua, debido a que presenta varias floraciones durante todo el año. Sin embargo, la producción no es uniforme, existe un periodo de mayor producción que es en los meses de mayo a septiembre y de menor volumen de fruta que ocurre de octubre a abril. Por ello, los mejores precios en el mercado se concentran en los meses con baja producción y se observa una caída de los precios en los meses con alta producción (Almaguer-Vargas *et al.*, 2011).

4.5. Producción forzada

La producción forzada tiene como finalidad obtener cosechas fuera de temporada normal y aprovechar un mejor precio debido a la poca oferta de fruto en el mercado. Se describe como: todas las técnicas utilizadas para obtener cosechas fuera de épocas normales y condiciones climáticas diferentes a las de su lugar de origen, a través de la manipulación en la fructificación mediante prácticas culturales que modifican los procesos fisiológicos de floración y letargo. Los factores que intervienen en la iniciación y la diferenciación floral es la edad de la plantación, el anillado, poda, portainjertos, la nutrición mineral, agua, fotoperiodo y temperatura (Contreras *et al.*, 2011). Los cítricos en general presentan mayor floración en los meses de mayo y septiembre, en donde existe una sobre oferta del fruto. El limón persa presenta una baja producción en los meses de invierno, con cerca de un 30% del total de su producción y una mayor producción de fruta en los meses de verano-otoño (Curti-Díaz, 2009).

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1. Producción y distribución de limón

5.1.1. Producción mundial de limón

El limón es originario del sureste asiático, actualmente se produce en áreas tropicales y subtropicales del mundo. En la producción y distribución mundial se pueden distinguir cuatro centros. En el primer lugar está el continente Americano (42.6 %), Asia (38.7 %), Europa (11.7 %), África (6.7 %) y Oceanía (0.3 %). En el Cuadro 1 podemos observar los principales países productores de limón (FAOSTAT, 2014).

Cuadro 1. Principales países productores de limón (FAOSTAT, 2014)

Países	Producción (t ha ⁻¹)
India	1,641,758.57
México	1,626,726.00
Argentina	1,187,848.48
China	1,159,563.33
Brasil	831,597.33

Según reportes del Sistema de Información Agrícola y Pesca (SIAP), se ha registrado un incremento de la superficie sembrada y producción en los últimos seis años. Los datos se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 2. Superficie de siembra y producción total de limón en México (SIAP, 2015)

Año	Sup. Sembrada (ha)	Sup. Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	PMR (\$/t)	Valor de la Producción (M\$)
2010	153,442.6	143,869.4	1,891,403.2	13.2	2,874.6	5,437,093.5
2011	166,580.4	149,607.6	2,132,921.8	14.3	2,956.4	6,305,658.7
2012	166,515.9	149,193.7	2,055,208.9	13.8	2,388.6	4,909,083.9
2013	169,522.0	150,214.6	2,120,612.5	14.1	3,070.0	6,510,201.9
2014	171,608.8	154,803.3	2,187,257.2	14.1	4,110.0	8,989,668.5
2015	176,045.7	160,083.6	2,326,068.3	14.5	3,847.7	8,950,070.1

PMR: Precio Medio Rural

Las variedades de limón que se producen en México son: limón agrio o mexicano (51 %), limón persa (45 %) y limón italiano (4 %). Existen algunos usos que se da al limón, como aceite esencial que contiene la cascara del fruto utilizado en la industria como agente aromatizante de alimentos, bebidas, jabones, detergentes, cosméticos, etcétera (INEGI, 2012).

5.1.2. Producción nacional de limón persa

La producción inició experimentalmente en la década de los setenta en el estado de Veracruz, promovido por una compañía refresquera con el objetivo de obtener materia prima (ácido cítrico). El producto no presentó las características deseadas por la compañía y se perdió el interés; por lo tanto, los productores introdujeron el limón al mercado de Estados Unidos a través de Texas, aunque solo a partir de 1983, se comenzó a producir en escala comercial (González, 2011).

La producción de limón persa en México ha crecido un 23 % en los últimos diez años. En el 2008 se logró una producción de 2 millones de toneladas anuales y un rendimiento promedio de 13.8 t ha⁻¹ (INEGI, 2012). Los principales estados productores

de limón persa son Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Yucatán, Puebla, Quintana Roo y Campeche que concentran el 77 % del volumen de producción en el país. El Cuadro 4 muestra la producción y rendimiento de limón persa a nivel nacional (SIAP, 2015).

Cuadro 3. Producción y rendimiento de limón persa en México (SIAP, 2015).

Estados	Sup. Sembrada (ha)	Sup. Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	PMR (\$/ t)	Valor de la Producción (M\$)
Campeche	1493.0	1361.5	10325.1	7.6	4176.7	43124.3
Oaxaca	20647.8	18695.7	245137.3	13.1	4313.2	1057317.6
Puebla	2405.0	2373.5	28210.7	11.9	3067.5	86537.1
Q. Roo	1646.5	1469.5	26222.4	17.8	2573.0	67469.4
Tabasco	7191.3	7191.3	83141.1	11.6	2769.5	230255.0
Veracruz	44934.3	42885.8	659034.2	15.4	4184.9	2758003.5
Yucatán	5111.3	4745.4	74462.6	15.7	1980.9	147500.2
Total	83429.2	78722.6	1126533.3	13.3	3295.1	4390207.1

PMR: Precio Medio Rural

5.1.3. Cultivo del limón persa en el estado de Campeche

El estado de Campeche tiene las condiciones climáticas y agroecológicas requeridas para el cultivo de limón persa. El estado cuenta con 1,493 hectáreas sembradas, un rendimiento promedio de 7.65 toneladas por hectárea y una producción de 10,325.10 toneladas, provenientes de la región sur del estado. El Cuadro 5 muestra la producción y rendimiento obtenidos en el estado de Campeche en los últimos seis años (SIAP, 2015).

Cuadro 4. Producción y rendimiento de limón persa en el estado de Campeche (SIAP, 2015).

Año	Sup. Sembrada (ha)	Sup. Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	PMR (\$/t)	Valor de la Producción (M\$)
2010	1,016.5	1,006.5	6,783.8	6.7	3,098.2	21,017.3
2011	968.5	963.5	5,619.3	5.8	3,320.3	18,657.8
2012	1,288.0	1,056.0	6,532.0	6.2	3,523.9	23,017.9
2013	1,320.5	1,098.5	7,648.0	7.0	3,606.5	27,581.9
2014	1,501.0	1,279.0	9,259.4	7.2	3,737.7	34,609.0
2015	1,493.0	1,361.5	10,325.1	7.6	4,176.7	43,124.3

PMR: Precio Medio Rural

El municipio de Campeche presenta una producción de 2,880 toneladas, seguido por el municipio de Calkini con 1,946 toneladas, que junto con Champotón (1,532.50 t) y Cd. del Carmen (1335.84 t) concentran la mayor parte de la producción (72 %); el resto (28 %) se distribuye en los otros ocho municipios (SIAP, 2015).

5.1.4. Comercialización

El limón ocupa el segundo lugar a nivel nacional en la producción de cítricos, tanto en consumo en fresco como para uso industrial. El limón persa está orientado para el mercado internacional como producto en fresco; el 95 % de las exportaciones de limón fresco son de limón persa, con un valor comercial de 8 mil millones de pesos, La comercialización de limón persa que se produce en el estado de Campeche, se realiza a los destino de Yucatán, Distrito Federal y Quintana Roo (INEGI, 2012).

5.1.5. Exportación de limón persa.

Las exportaciones de limón en México aumentaron un 37 % durante el primer semestre de 2014, en comparación con el mismo periodo de 2013. Las exportaciones alcanzaron 180 millones 498 mil dólares y un volumen de exportación en los primeros seis meses de 2 millones 187 mil 257 toneladas (SIAP, 2014).

Las exportaciones de este producto llegan a países como Estados Unidos, Países Bajos, Reino Unido, Francia, Japón, Canadá, España, Bélgica, Suiza, Alemania, Dinamarca, Polonia e Italia. Un incremento importante en la exportación de limón en México se registró hacia Estados Unidos con 166 millones de dólares, Países Bajos con seis millones 728 mil dólares, Reino Unido dos millones 728 mil dólares, Francia con un millón 473 mil dólares, Japón con un millón 217 mil dólares, Canadá con 832 mil dólares, España con 675 mil dólares, Bélgica con 402 mil dólares y Suiza con un valor de 134 mil dólares (SIAP, 2014).

El incremento de las exportaciones al mercado norteamericano se ha visto favorecido por los problemas de desastres naturales que han padecido las plantaciones en Florida, convirtiendo a México como el principal proveedor. Una de las razones por las cuales Estados Unidos es el principal mercado de exportación de limón persa, es el hecho de que su mercado tiene una alta cultura de consumo de este cítrico por la gran población de latinos que viven ahí; otro factor relevante y significativo para consolidar la comercialización es la cercanía entre ambos países (Funprover, 2003).

Los principales proveedores de limón persa en el mercado Europeo son México y Brasil, seguido, por Venezuela, El Salvador, República Dominicana y Cuba; exportando en total 11,040 toneladas de limón persa. Además del producto fresco, México provee de aceites esenciales al mercado de Estados Unidos (USDA, 2001).

Los principales estados que exportan limón persa son Veracruz, Chiapas y Yucatán alcanzando precios de entre 5 y 24 pesos por kilogramo, en función de la estacionalidad y la calidad del limón. Al año México produce cerca de 1,126,533.3 toneladas de limón persa (SIAP, 2015).

5.2. El cultivo de limón persa (*Citrus latifolia* Tan.)

Los cítricos se han cultivado por más de 4,000 años y son originarios del sureste asiático y la India; en México se cultivan tres especies de cítricos ácidos considerados

como limones por el carácter ácido de su jugo; el limón mexicano (*Citrus aurantifolia*) el limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) que botánicamente son limas ácidas y el limón verdadero o limón italiano (*Citrus limon* Burm.f.) (Rocha-Peña y Padron-Chavez, 2009). El árbol de limón persa se caracteriza por ser de baja altura, los frutos son de forma esférico-oblongos color verde y con ausencia de semillas; la corteza es de color castaño, los brotes jóvenes son de color verde claro, con hojas elípticas ovales ligeramente dentadas, las flores son pequeñas de color blanco que brotan en racimos (Jackson, 1991).

El limón es la especie de los cítricos más sensible al frío, ya que se desarrolla mejor en ambientes más cálidos y presenta floración casi continua; las regiones productoras de cítricos se localizan en una franja mundial que se ubica entre los 40° de latitud norte y 40° de latitud sur (Rocha-Peña y Padron-Chavez, 2009). El clima adecuado para el cultivo, es de tipo mediterráneo, libre de heladas con una altitud de 40 a 1000 metros sobre el nivel del mar, temperaturas de 13 a 35°C, precipitaciones pluviales de 900 a 2000 mm al año, salinidad menor a 1.7 dS m⁻¹, suelos que pueden ser francos arenosos o franco arcilloso y con pH de 6 a 8 (Espada y Van, 2009).

Las plantas de limón persa presentan producción casi continua, debido a que tienen varias floraciones durante todo el año; sin embargo, su volumen de producción no se reparte uniformemente, sino que existe un periodo de alta producción (70 % del total) que comprende de mayo a septiembre, y otro con menor volumen de fruta (30 % del total), que ocurre de octubre a abril; de acuerdo con lo anterior, el limón persa tiene una mayor demanda en invierno debido a la disminución de la producción en esa época (Almaguer-Vargas *et al.*, 2011). De acuerdo con estas características, se han realizado diversos estudios y evaluaciones para entender la fisiología de la planta y encontrar alternativas a los problemas de producción y la calidad del limón.

Algunos de los factores que se han evaluado son: la poda, el manejo de agua, la fertilización y la aplicación de promotores de la brotación (García-Sánchez *et al.*, 2003; Boaretto *et al.*, 2006; Contreras *et al.*, 2011).

5.3. Requerimientos agroecológicos del cultivo

5.3.1. Condiciones climáticas

El clima es uno de los requerimientos básicos para el desarrollo vegetativo, floración, cuajado y la calidad del fruto; se consideran temperaturas óptimas entre 15°C y 20°C que favorecen la producción de polen viable. Durante crecimiento del fruto las temperaturas máximas deben de estar entre 20°C y 25°C día/noche y valores mínimos entre 13°C y 14°C; sin embargo, si las temperaturas superan los 30°C, tanto de día como de noche el crecimiento del fruto decrece. Temperaturas mayores o menores de lo óptimo cesan la actividad vegetativa y producen daños irreversibles en el cultivo (Rocha-Peña y Padron-Chavez, 2009). Las temperaturas en los árboles frutales (cítricos) inducen a procesos complejos; el termoperíodo es la respuesta de las plantas a las fluctuaciones diurnas rítmicas en la temperatura. En algunas plantas la temperatura tiene efecto en cuanto a cambios fisiológicos cualitativos que llevan a la planta a florecer (Pelcastre, 1999).

5.3.2. Condiciones edáficas

El cultivo de cítricos requiere suelos profundos y bien drenados, el limón no es un cultivo extremadamente exigente en abundancia de materia orgánica, se desarrolla muy bien las texturas arenosas y debe proveerse riego de auxilio para garantizar una buena cosecha en temporada de verano. Un suelo ideal contendría 45% de materia mineral, 5% de materia orgánica, 25% de agua y 25% de aire (Méndez, 2003).

Los suelos donde se cultiva el limón persa, deben mantener un pH entre 6 y 7, con el objeto de lograr un buen desarrollo del cultivo. Si se tienen suelos con pH muy ácido (4 a 5) se tiene poca disponibilidad de nitrógeno, fosforo, potasio, calcio y magnesio. En caso contrario, cuando se tiene un pH elevado (arriba de 8) se presentan problemas por deficiencias de hierro, manganeso, zinc y boro (Curti-Díaz *et al.*, 2000).

Maldonado *et al.* (2001), evaluaron la fertilidad de los suelos cultivados con limón mexicano, los resultados obtenidos permitieron redefinir la forma de fertilización, aumentar los rendimientos y mejorar la calidad de fruto cosechado.

5.3.3. Latitud y altitud

La altitud es un factor limitante del cultivo, en los trópicos se producen frutos de buena calidad en altitudes de 500 msnm a 1000 msnm. En regiones subtropicales, los cítricos se desarrollan con normalidad hasta los 500 msnm a 1800 msnm (Vallejos, 2015).

Las plantaciones comerciales se encuentran exclusivamente en las zonas subtropicales, en los 40° latitud Norte y 40° latitud Sur, donde la temperatura es modulada por la acción de los vientos marinos (Roberto, 2015).

5.4. Fenología del cultivo

5.4.1. Brotación

La brotación está influenciada por factores como disponibilidad agua, nutrientes y temperaturas óptimas de entre 23°C y 30°C. El desarrollo de los brotes inicia cuando el tallo alcanzando un 20 % de su tamaño y finaliza su crecimiento cuando presenta un 90 %. (Agustí *et al.*, 1995).

5.4.2. Floración

Los cítricos presentan varios ciclos de brotación floral durante el año, los cuales están definidos por el tipo de especie y el cultivar; formando así, diferentes tipos de brotes (floral, mixto y vegetativo). Se conocen como brote floral a aquellas que están formadas por un número variable de flores, desde una hasta más de siete y no presentan hojas. Brotes mixtos son las que presentan hojas con una o varias flores, están formadas por una flor en posición terminal y se denominan inflorescencias con hojas. Brotes vegetativo es aquella que presenta solamente hojas (Davenport, 1990).

Las floraciones representan el estado de desarrollo en las plantas en la cual inicia el proceso reproductivo; sin flores no hay presencia de frutos y la cosechas se ve limitada por el número de floraciones en el cultivo (Betancourt *et al.*, 2006).

De acuerdo con Pérez-Gutiérrez *et al.* (2004) que estudiaron la floración adelantada en los periodos de poca producción, en la aplicación de ácido 2-cloroetilfosfonico en dosis de 250 mg L⁻¹ más 200 g de urea promovieron mayor floración y número de frutos cosechados.

Por otra parte, Almaguer-Vargas *et al.* (2011) evaluaron el desfase de la producción, en dos localidades en el estado de Veracruz en donde se realizó poda ligera y se aplicó urea foliar. La aplicación de poda y urea al 5 %, produjo un mayor número de flores en la huerta Cuitláhuac, para la huerta Tlalixcoyan el tratamiento de poda y urea al 10 % mostró mejores resultados en floración, con relación al testigo.

5.4.3. Fructificación

La fructificación inicia a partir del segundo año de trasplante de la planta injertada y se produce alrededor de 30 a 45 días después de la floración. El fruto es conocido como hesperidio, y se desarrolla a temperaturas medias anuales superiores a los 22°C. El fruto presenta un tamaño de 4.5 cm y un peso promedio de 76 g. Se divide en dos partes que son la corteza y los gajos. En la corteza se localiza el flavedo que se encuentra en la parte externa; el albedo se encuentre en la parte intermedia de los gajos. Están recubiertos por unas membranas de tejido parenquimatoso conocidos como septas. En su interior se encuentran las emergencias pluricelulares jugosas y las semillas (Zaragoza *et al.*, 2011).

Los frutos maduros del limón persa tienen un contenido de jugo del 40 al 60%, con un índice de acidez del 5 al 6%. La cáscara del fruto tiene un espesor de 2 a 3 mm, el fruto usualmente presenta una papilla o pezón al final del estilo, variando considerablemente en tamaño y forma (Pereyra, 2005).

5.5. Producción

El establecimiento de los cultivos de limón en altas densidades de plantación ha incrementado la producción. Curti-Díaz *et al.* (2012) evaluaron la producción de limón persa en árboles de 11 años de edad, injertado en patrones rugosos a distancias 4 x 6 m con una densidad de 417 árboles ha⁻¹; obteniendo un rendimiento de 10 t ha⁻¹.

Maldonado *et al.* (2008) evaluaron la producción de limón persa con fertilización, en árboles de 11 años de edad, plantados a 4.5 m x 4.5 m con una densidad de 493 árboles ha⁻¹, encontrado un rendimiento de 22.6 t ha⁻¹.

Al-Jaleel *et al.* (2005) evaluaron la calidad y rendimiento de la fruta en árboles de limón Allen Eureka (*Citrus limón* L. Burm.f.), establecido a una distancia de 6 x 6 m con una densidad de 278 árboles por hectárea, obteniendo un rendimiento de 40 t ha⁻¹, en los tres primeros años.

Medina-Urrutia *et al.* (2004), evaluaron el crecimiento y rendimiento del limón mexicano en altas densidades de plantación en el trópico. Las distancias entre árboles fueron de 9 x 9 m como tratamiento testigo, 8 x 8, 10 x 5, 9 x 5 y 8 x 4, que corresponden a densidades de 123, 156, 200, 222 y 312 árboles por hectáreas. Encontraron un rendimiento de 42.1 t ha⁻¹ con 312 plantas por hectárea en los 3 años de evaluación.

García-Sánchez *et al.* (2003) determinaron el efecto de la salinidad y el riego en la producción y calidad de limón fino 49, establecido a una distancia de 5 x 4 m, con una densidad de 500 árboles por hectáreas, obteniendo un rendimiento de 50.50 t ha⁻¹ en 2 años de evaluación.

Quaggio *et al.* (2002) evaluaron la producción de limón Siciliano, sobre portainjertos Volkameriano de 6 años de edad, establecidos a 8 x 6 m, que corresponde a 208 plantas por hectáreas. Reportan una producción de 40 t ha⁻¹ en 6 años de producción.

5.6. Manejo del cultivo

El cultivo de limón requiere de buenas prácticas de manejo para una mayor producción: establecimiento del cultivo, riego, podas, nutrición, fertilización, control de plagas y enfermedades. Si estas actividades no se realizan adecuadamente no se obtendrán buenos rendimientos.

5.6.1. Establecimiento del cultivo

El cultivo de limón persa puede establecerse en época de lluvias o en época de secas, siempre que disponga de agua; se debe realizar una buena preparación del suelo, con dos o tres meses de anticipación al trasplante. Las prácticas a utilizar son: arado, rastreo, subsoleo y nivelación del terreno.

En el establecimiento del cultivo se consideran algunos de los factores como: pendientes del terreno, tipo de suelo, exposición a la luz solar, dirección del viento, entre otros (Pereyra, 2005).

Existen diferentes tipos de sistema de siembra en el cultivo de limón, los más usados son: cuadro, rectángulo y tres bolillos. Los sistemas de siembra más productivos son los de cuadro y rectángulo, ya que los árboles tienen una mayor aeración y se aprovecha mejor la luz solar. El sistema de siembra en rectángulo es cada vez más utilizado en la actualidad ya que permite tener distancias más cortas dentro de las hileras (Curti-Díaz *et al.*, 2000). En el establecimiento del cultivo en altas densidades se tiene que tener en cuenta que la principal finalidad es darle a la planta el espacio suficiente para su crecimiento y desarrollo, una buena circulación del aire, mayor exposición a la luz solar, un manejo adecuado de las prácticas culturales y que facilite las actividades de cosecha (Rocha-Peña y Padrón-Chavez, 2009).

Las altas densidades de plantación tienen como propósito aumentar la productividad de las huertas y los rendimientos de fruta, así como la recuperación de la inversión en un menor tiempo. Bajo estas condiciones se tiene una recuperación de capital a los 3 años

y una vida productiva de la plantación de 15 a 20 años. Con estas densidades de plantación se tiene el uso eficiente de la fertilización, del agua y de los agroquímicos (Almager-Vargas *et al.*, 2011).

En otros países como Japón se tienen plantaciones a una distancia de siembra de 3 x 3 m con 1111 árboles por hectárea y en China se tiene a una distancia de siembra de plantaciones de 1.5 x 3 m con 2222 árboles por hectárea (Rocha-Peña y Padron-Chavez, 2009).

Se han realizado trabajos en cultivos con diferentes densidades de plantaciones con el objetivo de evaluar la respuesta en el rendimiento del cultivo. Milla *et al.* (2009) evaluaron el crecimiento de limonero Tahití (*Citrus latifolia* Tan.) y el desarrollo del fruto sobre portainjertos de mandarina cleopatra, volkameriana, citrus amblicarpa y citrumelo swingle en el municipio Palavecino en Venezuela, establecidos a distancia de 5 x 5 m con una densidad de 400 árboles por hectáreas. Encontraron un mayor crecimiento y diámetro de copa con los porta injertos volkameriana y amblicarpa; presentaron un diámetro ecuatorial de 5.56 cm.

5.6.2. Riego

El riego se define como el aporte de agua que satisface las necesidades hídricas del cultivo. Su principal finalidad es la de alimentar hídricamente a la planta, a la vez que permite la absorción de los elementos minerales esenciales para el crecimiento y productividad de las plantas, a través de las raíces (I Gomis, 1997).

Existen diferentes técnicas para el suministro de agua de riego, como: el riego por gravedad, el riego por aspersión y riego por goteo. El riego gravedad consiste en transportar el agua hasta el campo de cultivo con ayuda de canales o tuberías, y distribuirla dentro de la parcela de manera superficial por medio de surcos o melgas, aprovechando la fuerza de la gravedad, se adapta a todo tipo de suelos, excepto los arenosos de infiltración rápida y suelos que se agrietan, o en los que se presenta peligro de desbordamiento del surco o por erosión (Rodríguez, 2002).

Riego por aspersión: el agua de riego se bombea de la fuente de abastecimiento y es llevada por tuberías a los aspersores. Es utilizado para todo tipo de suelo con infiltraciones de 0.5 cm/hora y pendientes máximas de hasta 20% (Rodríguez, 2002).

El riego por goteo, consiste en unos dispositivos llamados goteros los cuales están insertados en mangueras plásticas; suministrando agua de manera lenta y uniforme a través de las mangueras a la zona radicular de las plantas. Son utilizados para campos irregulares o donde la topografía o textura del suelo no es uniforme; tienen un mayor aprovechamiento del agua y en la aplicación de nutrientes (Shock *et al.*, 2013).

Los cítricos son plantas perennes y por lo tanto transpiran durante todo el año. La cantidad de agua que las plantas necesitan para su adecuado crecimiento y producción es la suma de la evaporación de agua del suelo y de la transpiración por las hojas, o evapotranspiración del cultivo. La evapotranspiración depende fundamentalmente de dos grupos de factores: los climáticos (temperatura y humedad del aire, radiación solar y velocidad del viento) y los derivados de la planta (área foliar o fracción de suelo sombreado por el cultivo) (Espada y Van, 2009).

Los déficits hídricos en las plantas se producen principalmente por dos razones: 1) porque el contenido de agua en el suelo es bajo o el agua de riego tiene un contenido excesivo en sales, 2) porque la demanda evaporativa del aire es alta (aire seco y temperatura elevada) como ocurre en algunas zonas en primavera (Espada y Van, 2009).

Los cítricos son altamente sensibles al déficit hídrico, ya que cualquier falta de agua durante el desarrollo del fruto disminuye los rendimientos, el calibre de la fruta y la cantidad de jugo en el fruto. Cuando las plantas son sometidas a déficit hídrico aumentan los sólidos solubles, la acidez del jugo, el grosor de la cascara, y el número de fruta con daños físicos. En la mayoría de los cítricos el déficit de agua se debe evitar durante el periodo de floración y cuajado de los frutos, seguido del que comprende las fases de crecimiento inicial de los frutos. Por lo tanto, el estrés hídrico debe ser evitado

en los meses de febrero a junio y son toleradas desde julio al mes de enero (Enciso *et al.*, 2005). El riego permite que las plantas mantengan un flujo constante de agua y nutrientes del suelo hacia las hojas, favoreciendo la fotosíntesis y la transpiración, con lo cual se obtienen árboles más vigorosos con mayores y mejores frutos, mayor cobertura de hojas y por consiguiente se incrementa la producción (Espada y Van, 2009).

Por otro lado, se han realizados estudios sobre riego y se ha encontrado un efecto de la humedad en la producción y calidad del fruto. El-Otmani *et al.* (2015) compararon el efecto del riego, definido de acuerdo con la evapotranspiración, sobre la fenología de naranja clementina (*Citrus reticulada*). Las aplicaciones de riego se realizaron diariamente con respecto a las necesidades del cultivo y a las temperaturas en la región. Los resultados indicaron que la aplicación del riego local no satisfacía a las necesidades de agua del cultivo y se encontró que árboles estresados presentaban mayor número de flores, menor crecimiento vegetativo, menor producción y menor tamaño de fruto.

Conesa *et al.* (2014) evaluaron la calidad de frutas de mandarino Fortune (*Citrus clementina*) sometidas a diferentes estrategias de riego. Los tratamientos de riego consistieron en un testigo, regado al 100% de la evapotranspiración durante todo el ciclo de cultivo y dos tratamientos de riego para mantener la relación entre la tasa de crecimiento del fruto y los tratamientos de déficit de agua. En el tratamiento (ED10) se aplicó un riego severo cuando la relación que fue de 1.1 y para el tratamiento (ED5) se aplicó un riego moderado cuando el valor era alrededor de 1.05 en relación de la tasa de crecimiento y el déficit de agua. Durante la fase del crecimiento del fruto los tratamientos promovieron una disminución significativa en el crecimiento relativo de la fruta con respecto al patrón.

Pires *et al.* (2011) evaluaron en el estado de Sao Paulo, Brasil los efectos de diferentes diseños de riego localizado en la distribución radicular, el rendimiento del huerto de naranjo y la calidad del fruto. Los tratamientos consistieron en una línea de goteo (T1),

dos líneas de goteo (T2), cuatro líneas de goteo (T3) por líneas de plantación, riego por microaspersión (T4) y sin riego (T5). Los tratamientos de riego favorecieron el rendimiento y sólidos solubles totales medidos en °Brix. Los tratamientos con una línea de goteo individual (T1) mostraron la mayor cantidad de raíces en relación con los tratamientos de dos líneas de goteo (T2) y cuatro líneas de goteo (T3).

Domingo *et al.* (2011) evaluaron el efecto del riego deficitario sobre la productividad del mandarino Fortune; los tratamientos de riego fueron: Un tratamiento control (T_{CTL}) en el que se satisficieron las necesidades hídricas de cultivo durante todo el ciclo; un tratamiento de riego deficitario controlado (T_{RDC}) y un tratamiento de regado según el agricultor (T_{FINCA}). Las dosis de riego se determinaron semanalmente a partir del coeficiente del cultivo y el factor de correlación en función de área sombreada por el cultivo. Se encontró que en el tratamiento de riego deficitario controlado (T_{RDC}) se obtuvo un ahorro de agua del 10% respecto al tratamiento control (T_{CTL}) y un 20% respecto a (T_{FINCA}); no se encontraron diferencias en los parámetros productivos.

García-Tejero *et al.* (2010) en España encontraron respuestas de los árboles al riego deficitario en distintos periodos fenológicos en relación con el rendimiento, calidad del fruto y productividad del agua. Se emplearon cuatro estrategias de riego deficitario con base en una proporción diferente de estrés de agua empleada en cada una de las etapas fenológicas, con un tratamiento control. Los resultados de acuerdo con los tratamientos de riego no se encontraron diferencias significativas en el rendimiento. Aunque se detectaron efectos en los tratamientos con una tensión severa de agua en las fases de floración y crecimiento; durante la fase de maduración del fruto se encontraron efectos en los parámetros de la calidad.

Pérez-Pérez *et al.* (2008) evaluaron la respuesta de la variedad de naranjo dulce al déficit de riego en dos portainjertos en las etapas de floración, y crecimiento del fruto, sobre el rendimiento y calidad de la fruta. Se evaluaron el déficit de riego en la maduración de la naranja dulce en los arboles injertados con dos diferentes patrones de mandarina cleopatra y citrus carrizo los cuales fueron aplicados un tratamiento de

control con riego a 100% de la evapotranspiración durante toda la temporada de producción y un tratamiento de déficit de riego al 100% de la evapotranspiración pero en el cual no se aplicaron riegos en las fases I (crecimiento de fruto inicial) y la fase II (crecimiento del fruto, maduración, cosecha). Se demostró que la floración, la abscisión del fruto, el crecimiento de la fruta y su calidad se vieron afectados por el déficit de riego en los árboles de Carrizo que en los de Cleopatra.

Zermeño *et al.* (2007) encontraron que la irrigación, definida con base en la tensión de humedad del suelo, medida con tensiómetros, en sistemas de riego por micro-aspersión, permite mejorar el rendimiento y tamaño del fruto de limón italiano (*Citrus limón* L.), comparado con el método tradicional de los productores de la región. El riego por micro aspersión en las huertas de limón italiano se aplicó cuando los tensiómetros colocados a una profundidad de 0.3 m indicaron una tensión de -30 kPa, -50 kPa y -70 kPa. Se encontró que en los tratamientos de tensión se encontraron valores mayores en las variables con relación al testigo cuando se realizó la cosecha; el tratamiento de tensión de humedad a -30kPa obtuvo un mayor rendimiento de fruto y mayor eficiencia de uso del agua. De esta forma se utiliza menos agua que la correspondiente al aplicar los riegos a -50 y -70 kPa, y permite obtener mayor producción que la obtenida con la forma tradicional.

Júnior (2006) evaluó en Piracicaba estado de Sao Pablo, Brasil, los requerimientos hídricos y la respuesta a cinco niveles de riego en cultivares jóvenes de Lima Tahití. Determinó por medio de un lisímetro de pesaje que el coeficiente de cultivo para los primeros cuatro años de la plantación fue de 0.57, 0.73, 0.86 y 1.22 respectivamente. Evaluó cinco niveles de riego (0, 25, 50, 75 y 100% de la evapotranspiración del cultivo) y determinó que el mejor desempeño se alcanzó con el nivel del 100% de evapotranspiración.

También se determinó que el estrés hídrico en las plantas jóvenes de lima Tahití estimula el crecimiento horizontal de las raíces y el incremento de la productividad en algunos de los tratamientos.

Da Silva *et al.* (2005) determinaron la relación de agua y la fotosíntesis como criterios para la uso adecuado del riego en árboles de lima Tahití. Se evaluaron los efectos del agotamiento del agua disponible en el suelo sobre la evapotranspiración, transpiración, el potencial foliar antes del amanecer y al medio día, la conductancia estomática y la asimilación de CO₂ para mejorar el programa de riego y reducir el consumo de agua sin causar estrés hídrico. En la parcela experimental, se eligieron seis árboles que se dividieron en dos grupos: regadío; donde se realizó un riego diario basado en la evapotranspiración; y de secano, en donde el riego fue suspendido. Los resultados mostraron que el nivel de contenido de agua disponible en el suelo en el inicio de la evapotranspiración del suelo fue de 43% y 60% para la conductancia estomática, asimilación neta de CO₂, transpiración y el potencial hídrico foliar antes del amanecer.

Koshita *et al.* (2004) determinaron el efecto del estrés hídrico en la formación de capullo de flor y el contenido de hormonas en la planta de mandarina satsuma (*Citrus unshiu*). La aplicación de un riego severo (-1.5 a -2.0 MPa) en otoño provocó la caída de hojas y se redujo el porcentaje de nudos florales en un tercio con relación a los moderadamente estresados (0.5.-1.0 MPa). La cantidad de ácido giberélico en los meses de octubre hasta diciembre fue significativamente mayor en las hojas de los árboles bajo estrés severo que en los árboles de estrés hídrico moderado. Estos resultados indican que los niveles de ácido giberélico se mejoran por estrés hídrico severo en las hojas mayores, que producen menos flores durante periodos de inducción de capullo. También los niveles de los índices de ácido acético fueron mayores en las hojas de las ramas que producen más flores durante la temporada en la que se desarrollan los brotes florales.

5.6.3. Poda

La poda en el limón persa tiene como objetivos: optimizar el tamaño de los árboles, facilitar su manejo, incrementar la producción y extender la vida productiva de las plantaciones (Peña y Padrón, 2009). El tipo de poda en los cítricos depende de la edad del árbol, especie o cultivar y propósito del cultivo. De acuerdo con su propósito las

podas pueden clasificarse en: etapa de establecimiento, desarrollo y producción (Curti-Díaz *et al.*, 2000; Pereyra 2005; Contreras *et al.*, 2011).

Etapa de establecimiento: Se persigue la formación de copa en la planta para que resista los vientos y que soporte el peso de las ramas y los frutos. Un árbol bien formado aprovecha mejor la luz del sol y tiene mejor aeración en el centro del mismo. Estas características permiten aumentar la producción y mejorar la calidad de la fruta (Pereyra 2005).

Etapa de desarrollo: Se realiza una poda ligera, evitando estimular el crecimiento vegetativo ya que retarda la fructificación. Permite eliminar ramas cruzadas, que afectan el desarrollo de las más vigorosas (Curti-Díaz *et al.*, 2000).

Etapa de producción: La poda tiene como objetivo mejorar la sanidad de la copa y la recuperación del follaje perdido, así como mejora la calidad del fruto en su color ya que permite la entrada de luz. También permite regular los tiempos de la floración y obtener una producción más uniforme durante el año (Contreras *et al.*, 2011).

Se han realizado algunas investigaciones en el manejo de poda en limón persa, donde el efecto de la poda, aplicaciones de urea y despuntes en árboles de limón persa en el estado de Veracruz, incrementaron el número de flores y el número de frutos por árbol (Almager-Vargas *et al.*, 2011). Alarcón *et al.* (2004) evaluaron las prácticas culturales de anillado, estrés hídrico, poda, raleo de frutos en el cultivo de limón Mexicano en el estado de Guerrero. Los tratamientos con estrés aumentaron un 600% la cantidad de flores, para los meses de agosto y una ganancia en la producción de 500 a 1000% en la primavera.

5.6.4. Nutrición

Los cultivos necesitan dieciséis elementos para su desarrollo, obteniendo algunos del aire y del suelo. Algunos elementos necesarios como el carbono (C), dióxido de carbono CO₂ que se obtienen del aire; mientras que el hidrógeno (H) y el oxígeno (O)

son obtenidos del agua. Otros elementos son obtenidos del suelo y de fertilizantes como el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl) (Agustí *et al.*, 1995; Curti-Díaz *et al.*, 2000).

La nutrición de las plantas se realiza de tres formas: Nutrición carbonada, mediante la incorporación y transformación del dióxido de carbono en carbohidratos en el proceso fotosintético. Nutrición mineral, que se realiza a través de la absorción radical de nutrientes en forma aniónicas y catiónicas. Nutrición hídrica, que consiste en la absorción de agua para la fotosíntesis y con ella la absorción de minerales (Sánchez, 2007).

Los nutrientes minerales se dividen en macronutrientes que son los elementos que las plantas necesitan en mayores cantidades (N, P, K, Ca, Mg, S) y los micronutrientes que se requieren en pocas cantidades (Fe, Zn, Mn, B, Cu, Mo, Ni, Cl). Los macronutrientes se dividen en dos grupos que son los elementos primarios (N, P, K) y los elementos secundarios (Ca, Mg, S) (Obreza y Morgan, 2008).

El nitrógeno (N): Es el elemento principal para la producción en un cultivo. Presenta una gran importancia en el crecimiento del árbol, la apariencia y calidad de la fruta. La concentración baja de nitrógeno afecta el crecimiento foliar, observando una coloración verde pálido o amarillo en las hojas, defoliación y la caída de frutos. Las altas concentraciones de nitrógeno incrementan el crecimiento vegetativo (Obreza y Morgan, 2008).

El fósforo (P): Es importante en la transferencia de energía ya que es esencial en la fotosíntesis y procesos químicos-fisiológicos. Interviene en la diferenciación de células y en el desarrollo de los tejidos, se acumula en los frutos y semillas. Las deficiencias de fósforo se reflejan en hojas de color verde pálido o bronceado, caída de hojas y reducción de la floración (FAO, 2002).

El potasio (K): Tiene la función de mejorar el régimen hídrico de la planta y aumentar la tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. La deficiencia de potasio puede retrasar el crecimiento vegetativo, el adelgazamiento del follaje, reduce el número, el tamaño de las frutas y disminuye los sólidos solubles de jugo, el ácido y el contenido de vitamina C (Sánchez, 2007).

El calcio (Ca): Interviene en el crecimiento de las raíces, en la formación del tejido celular de las membranas y el crecimiento vegetativo. La deficiencia de calcio origina necrosis en áreas amarillentas, frutos pequeños y deformes, con bolsas de jugo arrugadas, cáscara áspera y gruesa. Reduce el crecimiento del fruto y la producción (Sánchez, 2007).

El Magnesio (Mg): Es el componente esencial en la clorofila e interviene en la síntesis de carbohidratos. El pigmento verde de las hojas sirve como un receptor de la energía proveniente del sol, formado por un 15 al 20% del magnesio contenido en la planta. La deficiencia de magnesio produce patrones cloróticos y causan la defoliación prematura de la planta. Los frutos son pequeños, con piel delgada y bajo contenido de azúcares y acidez (FAO, 2002).

El Azufre (S): Es un elemento esencial en la formación de proteínas y de igual manera está involucrado en la formación de clorofila. Es un componente importante en la fracción orgánica del suelo y es disponible cuando la materia orgánica se descompone (FAO, 2002).

El hierro (Fe): Es un activador enzimático en la formación de clorofila. La deficiencia de hierro provoca manchas de formas cloróticas que aparecen primero en brotes jóvenes por la movilidad de Fe dentro de la planta. Se reduce la deficiencia en brotes que crecen en suelos alcalinos, anegados, o suelos muy bajos en materia orgánica del suelo (Sánchez, 2007).

El manganeso (Mn): Este nutriente presenta una función como catalizador de los sistemas enzimáticos que intervienen en los fenómenos respiratorios, fotosíntesis y el metabolismo del Nitrógeno. Si se presenta una deficiencia en las hojas, se observan bandas verdes oscuras a lo largo de las nervaduras de las hojas. Los frutos son suaves y de color pálido (Molina, 2000).

El Zinc (Zn): es fundamental en la síntesis de algunas hormonas, tales como la auxina y en la síntesis de proteínas. Los síntomas por deficiencia se presentan en los árboles de cítricos, como clorosis. También se manifiestan en hojas nuevas de brotes terminales, con hojas irregulares; los entrenudos son cortos porque el brote toma una forma de roseta. Esta deficiencia restringe el tamaño de la planta y reduce la producción y calidad del fruto (Molina, 2000).

El cobre (Cu): Este mineral se encuentra presente en las enzimas implicadas en los procesos de oxidación y reducción. La deficiencia de cobre provoca frutas corrugadas. La deficiencia puede ser corregida mediante la aplicación de fertilizantes con Cu al suelo (Obreza y Morgan, 2008).

El boro (B): Este nutriente interviene en la división celular, por esta razón afecta el crecimiento meristemático en las plantas. Favorece el transporte de azúcares y compuestos orgánicos desde las hojas a los frutos, e intervienen en la reproducción y germinación de polen. La deficiencia de boro se presenta con hojas jóvenes deformadas y una coloración amarilla. Los frutos son pequeños, con poco jugo, duros, de cascara gruesa y áspera (Molina, 2000).

El molibdeno (Mo): La deficiencia del molibdeno provoca síntomas conocidos como mancha amarilla. A diferencia de otros nutrientes éste se encuentra más en suelos ácidos que en suelos alcalinos (Obreza y Morgan, 2008).

El cloro (Cl): Tiene la función de la activación de la fotólisis de agua y forma parte estructural de la acutumina y acutumidina e interviene en los procesos de la fotosíntesis (Sánchez, 2007).

5.6.5. Fertilización

La fertilización es una de las prácticas más importantes en el cultivo de los cítricos. En donde la demanda de los nutrimentos es constante a lo largo de todo el año. La absorción mínima de los nutrientes se presenta en invierno y aumentan en primavera debido al periodo de la cuajado del fruto; durante el verano la absorción de fertilizantes es alta y disminuyen durante el otoño. El mayor periodo de absorción de nutrientes de la planta es en el periodo de la floración y cuajado del fruto, con relación a las brotaciones de primavera (Pereyra, 2005).

Resultados de estudios sobre fertilización en limón pèrsica o Tahití, han demostrado que el aumento de las aplicaciones de nitrógeno incrementa la producción de frutos, el contenido de aceite en la cáscara y retarda la maduración de los frutos (Dorado *et al.*, 2015).

Yoshikawa *et al.* (2015) identificaron la influencia de la reducción de las tasas de aplicación de los fertilizantes con fósforo y potasio en la calidad del fruto en mandarina Satsuma. Los tratamientos se realizaron por la combinación factorial de tres niveles de fósforo y potasio (PK 0%, PK 50% y PK 100%; $P_2O_5=120$ kg ha⁻¹, $K_2O=240$ kg. ha⁻¹) y dos tratamientos de carga frutal (FL1; 25-30 y 50-100; FL2: relación hojas/ fruto de 50-70 y 25-30). No se encontraron influencias en la calidad del fruto por la reducción de las tasas de aplicación de fósforo y potasio. Asimismo, la reducción de la tasa de fósforo aplicado, no alteró los niveles de ácido fosfórico en el suelo; la concentración de fósforo en las hojas tratadas con PK 0% fue inferior a la de las hojas con PK 50% y PK 100%. Estos resultados demuestran que aplicaciones con niveles bajos de fósforo en los huertos previenen la acumulación de ácido fosfórico en el suelo.

Farah *et al.* (2013) realizaron una comparación del efecto de los fertilizantes de liberación controlada y los abonos sólidos, en las hoja y el suelo en huertas de cítricos. Los tratamientos de fertilización se realizaron en árboles de 10 años de edad del cultivar *Citrus aurantiifolia* (Christm) Swingle. En el primer tratamiento, los árboles recibieron dos aplicaciones de fertilizante de liberación controlada; antes de la primavera (17N-12P₂O₅-18K₂O+2MgO) y otra en julio (13N-5P₂O₅-27K₂O+2MgO). En el tratamiento dos de fertilización: se llevó a cabo por fertirrigación con fertilizantes solubles con la misma cantidad. Los resultados, de acuerdo al índice del medidor de clorofila en la hoja, fueron significativamente mayores en los árboles que recibieron la fertilización de liberación controlada. La concentración de mineral en la hoja se vio afectada por la fuente de potasio y un efecto en la concentración de minerales en el suelo.

Bettaga *et al.* (2010) identificaron el efecto de fertilizantes de liberación controlada en el rendimiento de fruta y calidad de mandarina clementina. En el primer segmento de la parcela los arboles fueron fertilizados con fertilizante de liberación lenta en la primavera y otra aplicación en otoño con distinta formulación de fertilizante. La otra parte de la parcela se aplicó por fertirrigación. En los tratamientos de fertilización que se evaluaron no se encontraron efectos con relación al rendimiento y calidad de la fruta, pero se observó mayor peso del fruto con la fertilización de liberación controlada.

Maldonado *et al.* (2008) realizaron un diagnóstico nutrimental y validación de dosis de fertilizante en limón persa (*Citrus latifolia* Tan) en el municipio de Emiliano Zapata, Veracruz. Se estudiaron cuatro tratamientos de fertilización por restitución de nutrientes, se compararon con un testigo absoluto y una formula regional. Los árboles de tratamiento de la formula general por restitución, tuvieron una producción de fruta de 22.6 t ha⁻¹ con una diferencia significativa con relación al testigo, donde se obtuvieron 14.3 t ha⁻¹ de fruta. Se encontró que los árboles con la fórmula regional produjeron 16.2 t ha⁻¹ de fruta, aunque los tratamientos de fertilización no afectaron la calidad de la fruta.

Boareto *et al.* (2006) en Brasil, evaluaron la eficiencia nitrogenada en plantaciones de naranja dulce (*Citrus sinensis* L.Osb). Los tratamientos fueron dispuestos en un diseño de bloques al azar con cinco repeticiones, los cuales consistieron en cinco dosis de N (g árbol⁻¹) de la siguiente manera: 0, 150, 300, 450 y 600 de aplicación de sulfato de amonio. Las dosis de N se dividieron en tres aplicaciones que se realizaron en septiembre, noviembre y abril. Los rendimientos de la fruta más alta (30 kg árbol⁻¹) se obtuvieron con una tasa de N de 400 kg N árbol⁻¹ y tuvo una eficiencia que osciló entre 20-27% de N.

Díaz *et al.* (2004) en Venezuela, evaluaron el efecto de la fertilización sobre el rendimiento y la calidad de frutos de lima Tahití. Los frutos provenían de plantas de 4 años, injertadas sobre el patrón Volkameriano, las cuales fueron sometidas a diferentes dosis de fertilización, bajo condiciones de secano. El rendimiento de frutos fluctuó de 17.84 a 16.80 kg árbol⁻¹. Los mayores valores para las variables referentes a calidad: peso, diámetro, longitud, grosor de la cáscara y contenido de jugo, se obtuvieron con la aplicación de 279 g de Cosechero (12-12-17-2), 41.85 g de Hydrofos premium (10 % N, 50 % P), 340 g de Sulpomag (22-17-22) y 255 g de Nitrato de Calcio + Boro.

Quaggio *et al.* (2002) evaluaron los rendimientos y calidad de la fruta de acuerdo con la aplicación de fertilizante NPK en el Estado de Sao Paulo, Brasil, en limón siciliano con protainjertos de Volkameriano durante un periodo de siete años, los cuales fueron sometidos a aplicaciones anuales de N (30, 100, 170 y 240 Kg ha⁻¹) P (9, 27, 62 y 79 Kg ha⁻¹) y K (24, 91, 158 y 225 Kg ha⁻¹), divididas en tres aplicaciones, desde principios de primavera hasta finales de verano. Los rendimientos máximos de fruta, en un promedio de seis cosechas, se alcanzaron con la aplicación de N (220 Kg ha⁻¹), P (20 Kg ha⁻¹) y K (310 Kg ha⁻¹). El fósforo y potasio fueron los nutrientes que aumentaron el tamaño del fruto y mostraron un efecto negativo en el contenido de aceite esencial en la fruta.

5.7. Cosecha

La cosecha de limón se realiza manualmente cortando los frutos con el pedúnculo, cuando alcanza la madurez comercial, entre los 100 a 120 días después de la floración y presenta un diámetro 4.5 cm; el fruto tiene una coloración verde brillante y un contenido mínimo de jugo del 42 % de su peso total. La recolección del fruto se lleva a cabo cada 15 o 20 días, de acuerdo con la extensión y la producción de la huerta (Curti-Díaz *et al.*, 2000).

5.8. Calidad de fruto

La calidad en fruto, ha cambiado a lo largo del tiempo de acuerdo con los intereses particulares de cada uno de los que intervienen en el proceso de producción (productor-consumidor-comerciante). El principal criterio está en la calidad que se relacione con el precio fruto (Urbina, 1990).

En la calidad de fruto está determinado por las propiedades físico-químicas que presenta, de acuerdo con las características del mercado nacional e internacional. Los indicadores físico-químicos son: peso de fruto, longitud polar de fruto, diámetro ecuatorial del fruto, porcentaje de jugo, firmeza, acidez (AT), pH, sólidos solubles totales (SST) y la relación SST/AT (Camelo, 2003).

La calidad de la fruta se ve afectada por factores como la variedad, portainjerto, clima, suelo, plagas, riego y nutrición. La calidad de la fruta de acuerdo con los productores, industrias procesadoras y envasadoras, se determina tanto por la calidad externa (tamaño de fruto, color, presencia de daños físicos y bióticos) como interna (contenido de jugo en la fruta, sólidos solubles, concentración de ácido y SST/AT (Obreza y Morgan, 2008).

Alarcón *et al.* (2004) reportaron un efecto en la calidad de limón mexicano de acuerdo con las prácticas culturales: el anillado promovió el aumento de peso entre 20 a 40 % y diámetros de frutos de 4.17 mm. Díaz *et al.* (2004) determinaron el efecto de la fertilización en el rendimiento y la calidad de lima Tahití, en el peso que obtuvo un

intervalo de 115.18 a 92.28 g, el diámetro fue 5.95 a 5.38 cm; en la longitud polar de 6.51 a 5.87 cm y en el contenido de jugo fue de 51.25 a 35.71 ml.

Rodríguez (2008) evaluó las técnicas de corte sobre la calidad de frutos de limón mexicano; obtuvo, valores de sólidos solubles totales de 9.8 % y acidez titulable de 9.76 % con el método con gancho-bote-reja y 8.23 % de sólidos solubles totales con el método de red-manta-caja. Bosque-Molina *et al.* (2008) determinaron el efecto del acondicionamiento con calor en la susceptibilidad al daño por frío de limón persa, encontrando valores de porcentaje de jugo entre 30 y 50; acidez titulable con valores de 4.8 y 5.0; sólidos solubles totales con valores de 7.9 y 9.0 y pH con valores de 2.0 y 2.7.

Tejagal *et al.* (2009) evaluaron los parámetros de calidad de limón persa, encontrando que los tamaños de los frutos disminuyeron de 6 y 1 cm cuando fueron almacenados a temperatura de 20°C y 60 % humedad relativa en un periodo de 18 días . Se reportó una acidez entre 4.7 y 5.0; sólidos solubles totales (SST) entre 6.1 % y 8.7 %; porcentaje de jugo de 40 % al inicio de las evaluaciones.

Contreras (2011) evaluó prácticas de producción forzada en limón persa, no se encontraron diferencias en las variables peso, porcentaje de jugo, diámetro (ecuatorial-polar), sólidos solubles totales (°Brix), grosor de la cáscara y pH. Almaguer-Vargas *et al.* (2011) evaluaron el desfasamiento de la cosecha y calidad de limón persa, encontrando valores de 8.0 y 15.9 en el número de frutos por planta; el diámetro polar fue de 5.8 y 5.9 cm; el diámetro ecuatorial de 4.7 y 4.9 cm; y el peso promedio de fruto encontrado 54.9 y 71.2 g.

Guerra *et al.* (2015) determinaron el efecto del riego y la fertilización en el rendimiento y la calidad de lima ácida Tahití encontrando valores de 5.18 y 5.48 cm en el diámetro ecuatorial; 5.58 y 5.94 cm en el diámetro longitudinal; 82.31 y 95.90 g en peso de fruto; 40.46 y 45.27 en el porcentaje de jugo y valores de 7.91 y 8.66 (°Brix).en sólidos solubles totales.

6. SÍNTESIS DE LA REVISIÓN DE LITERATURA

Se realizó la revisión de los conceptos aplicables a la investigación y la literatura de apoyo para sustentar el trabajo realizado. El cultivo de limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) es un fruto tropical, se desarrolla bien en climas tropicales y presenta floraciones casi continuas, tiene un desarrollo óptimo entre los 40° latitud Norte hasta los 40° latitud Sur. Es una planta originaria del sureste del continente asiático, que fue introducida a México de manera experimental en la década de los setenta. En México el cultivo de esta variedad de limón ha tomado gran importancia económica, desde el comienzo de su producción comercial en 1983, hasta colocar al país a nivel mundial como el principal exportador, llegando a generar una producción de limón persa en el año 2015 de 1,126,533.31 toneladas generando un valor de producción de M\$4, 390,207.11 anuales. Las principales plantaciones de limón persa están situadas en el litoral del golfo de México en los estados de Veracruz, Tabasco, Oaxaca, Quintana Roo, Campeche, Puebla y Yucatán. El cultivo de cítricos requiere suelos profundos y bien drenados, con pH de 6 a 7 y temperaturas medias que van de 15°C a 25°C. Se requieren prácticas de manejo como el establecimiento del cultivo, manejo del riego, la realización de podas, fertilización, control de plagas y enfermedades. El establecimiento de cultivos en altas densidades consiste en aumentar el número de plantas por hectáreas y el rendimiento del cultivo. Las aplicaciones de riego y fertilización permiten obtener un mayor rendimiento y mejorar las propiedades fisicoquímicas de fruto.

7. LITERATURA CITADA

- Al-Jaleel, A., Zekri, M and Hammam, Y. 2005. Yield, fruit quality, and tree health of 'Allen Eureka' lemon on seven rootstocks in Saudi Arabia. *Scientia Horticulturae*. 105(4): 457-465.
- Alarcón, C. N., R. Ariza Flores, A. Barrios Ayala, R. Cruzaley Sarabia y E. Vázquez García. 2004. Efecto de las labores culturales en la producción y calidad del limón mexicano de invierno. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27: 73-76.
- Almager-Vargas, G., J. R. E. Espinoza y J. L. Q. Garcia. 2011. Desfasamiento de cosecha de limon persa. *Revista chapingo Serie horticultura*. 17(3): 197-205.
- Agustí F, M., Almela, V., Aznar, M., Juan, M y Eres, V. 1995. Desarrollo y tamaño final del fruto en los agrios. Universidad Politécnica Valencia. *Valenciana*. 76 p.
- Bertalanffy, L. v. 1976. Teoría general de los sistemas. Fondo de Cultura Economica, S.A. de C.V. México. pp: 30-53.
- Betancourt, M., A. Caballero, V. Sistachs, M. E. García, M. Núñez, C. Noriega, H. Oliva, C. Delgado, C. Sánchez and M. E. M. O. Solano. 2006. Influencia del indice de floracion sobre el diametro ecuatorial medio del fruto de toronjo (*Citrus paradisi* Macf) en la recoleccion. *Cultivos Tropicales*. 27(3): 37-40.
- Bettaga, N. and Ben Mimoun, M. (2010). Effects of controlled-release fertilizer on fruit yield and quality of clementine citrus trees. *Acta Horti*. 868: 429-432
- Bettaga, N and Ben Mimoun, M. 2008. Effects of controlled-release fertilizer versus fertigation on citrus Thompson Navel vegetative growth, yield and nitrogen status. VI International Symposium on Mineral Nutrition of Fruit Crops. 868: 333-338.
- Boaretto, A. E., F. Ueta, P. Trivelin, T. Muraoka and D. Mattos Jr. 2006. Efficiency of nitrogen fertilization on citrus orchards. *Acta Horticulturae*. 721: 331-336.
- Bosquez - Molina, E., J. D. Soberanes, L. P. Flores, S. B. Baños, F. D. de León Sánchez y F. Rivera-Cabrera. 2008. Efecto del acondicionamiento con calor en la susceptibilidad al daño por frío de lima persa (*Citrus latifolia* Tanaka). *Botanica experimental*. 163 p.
- Camelo, L. A. F. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas: del campo al mercado, Food & Agriculture Org. 45 p.
- Conesa, M. R., M. D. García-Salinas, J. M, J. P. Fernández-Trujillo, D. Rafael and A. Pérez-Pastor. 2014. Effects of deficit irrigation applied during fruit growth period

- of late mandarin trees on harvest quality, cold storage and subsequent shelf-life. *Scientia Horticulturae*. 165: 344-351.
- Contreras. M E; 2011. Producción forzada en limón persa (*Citrus latifolia* Tan.). Fitotecnia Universidad Autonoma Chapingo. 85 p.
- Curti-Díaz, S. A., Hernández-Guerra, C y Loredó-Salazar, R, X. 2012. Productividad del limón persa injertado en cuatro portainjertos en una huerta comercial de Veracruz, México. *Revista Chapingo. Serie horticultura*. 18(3): 291-305.
- Curti-Díaz, S. A. 2009. Experiencias para incrementar la producción de naranja y limón persa durante los periodos de mayor rentabilidad en Veracruz. Simposium Nacional de Producción Forzada en Frutales. Colegio de Postgraduado Montecillo, Texcoco, México. pp: 26-30.
- Curti-Díaz, S., X. Loredó-Salazar, U. Díaz-Zorrilla, R. Sandoval y H. Hernández. 2000. Tecnología para producir limón persa. INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Ixtacuaco. Libro tecnico. 8. 114 p.
- Da Silva, C. R., M. V. Folegatti, T. J. A. D. Silva, J. Alves Júnior, C. F. Souza and R. V. Ribeiro. 2005. Water relations and photosynthesis as criteria for adequate irrigation management in 'Tahiti' lime trees. *Scientia Agricola*. 62(5): 415-422.
- Díaz, L., E. Aguirre, F. Isea y Y. Hernández. 2004. Efecto de la fertilización sobre el rendimiento y la calidad de frutos de lima tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka). *Revista de la Facultad de Agronomía*. 21(4): 285-291.
- Domingo, M. R., E. Pagán Rubio, M. I. Corbalán Rodríguez, M. García Riquelme, M. d. R. Conesa Saura, J. M. De-la-Rosa-Sánchez y A. Pérez Pastor. 2011. Estudio de las relaciones hídricas y productividad en mandarino Fortune' sometido a riego deficitario controlado. Universidad Politecnica de Cartagena, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronomía. Dpto. Producción Vegetal. 4: 51-53.
- Dorado. G D., L. C. Grajales y L. R. Rojas. 2015. Efecto del riego y la fertilización sobre el rendimiento y la calidad de la fruta lima ácida Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. 100 p.
- El-Otmani, M., S. Bagayogo, A. El-Fadl and M. C. Benismail. 2015. Effect of Regulated Deficit Irrigation on Vegetative Growth, Fruiting, Stomatal Conductance and Water Use Efficiency in 'Nules' Clementine under Arid Conditions of the Souss Valley of Morocco. *Acta Horticulturae*. 1065: 1757-1766.
- Enciso, J., J. Sauls, R. Wiedenfeld and S. Nelson. 2005. Irrigation of citrus in Texas-A Review. *Subtropical Plant Science*. 57: 16-22.

- Escobar, T y A. Carlos. 2003. Evaluación del riego por pulsos sobre el crecimiento y la productividad del palto (*Persea americana* Mill) cv. Hass. Tesis del instituto de investigación agropecuarias (INIA). Chile. 78 p.
- Espada, R. F. y G. S. V. Schouwem. 2009. Algunas consideraciones para el manejo de riego en Citricos. *Revista Tierra Adentro*. 21: 66-744.
- FAO 2002. Los fertilizantes y su uso: una guía de bolsillo para los oficiales de extensión, Food & Agriculture Org. pp: 10-17.
- FAO 2104. Faostat. Retieeved Feb2014. https://FAOstatidtic? ref_src=twsrc%5Etfw&ref_url=http%3A%2F%2Fwww.fao.org%2Ffaostat%2Fen%2F%23home.
- Farah, R. and M. Ben Mimoun. 2013. Comparative effects of controlled release fertilizer and fertigation on mineral status of Maltese half blood orange orchard. VII International Symposium on Mineral Nutrition of Fruit Crops. 984: 231- 236.
- Funprover y Colegio de Postgraduados. 2003. Necesidades de investigación y transferencia de tecnología de la cadena productiva del limón persa en el estado de Veracruz. línea en:<http://snitt.org.mx/pdfs/demanda/limon-persa>. 87 p.
- García-Sánchez, F., M. Carvajal, I. Porras, P. Botía and V. Martínez. 2003. Effects of salinity and rate of irrigation on yield, fruit quality and mineral composition of 'Fino 49' lemon. *European Journal of Agronomy*. 19(3): 427-437.
- García-Tejero, I., R. Romero-Vicente, J. Jiménez-Bocanegra, G. Martínez-García, V. Durán-Zuazo and J. Muriel-Fernández. 2010. Response of citrus trees to deficit irrigation during different phenological periods in relation to yield, fruit quality, and water productivity. *Agricultural Water Management*. 97(5): 689-699.
- Guerra, D. D., Grajales, L. C y Rojas, L. R. 2015. Efecto del riego y la fertilización sobre el rendimiento y la calidad de la fruta de lima ácida Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka). *Revista Corpoica, Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 16(1): 87-93.
- Gigch, V., John, P. 1990. Teoría General de Sistemas, Ed. Trillas, México DF. 451 p.
- González, C.F. 2011. Compilación bibliográfica del limón persa (*Citrus latifolia*). Universidad Veracruzana Facultad Ciencias Químicas. pp: 12-20.
- I Gomis, J. G. 1997. Riego y fertirrigación en frutales: utilizaciones básicas para la aplicación racional de los fertilizantes. *Vida rural*. 41: 10-15.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2007-2012. Los principales cultivos perennes en Campeche. Censo agropecuario. pp: 29-34.

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2012. Los principales cultivos perennes en campeche. Censo Agropecuario. 56 p.
- Jackson, L. K. 1991. Citrus growing in Florida. University of Florida Press, Department of fruit crops, IFAS. 293 p.
- Davenport, T. L. 1990. Citrus flowering in horticultural reviews. Ed. J. Janick. 12: 395 p.
- Júnior, J. A. 2006. Necessidade hídrica e resposta da cultura de lima ácida 'Tahiti' a diferentes níveis de irrigação. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". pp: 44-67.
- López, B., O., S., Ramírez, B., G., Moreno, B., A., E., Alvarado, G. 2006. Agroecología y agricultura orgánica en el trópico. pp: 27-35.
- Koshita, Y. and T. Takahara. 2004. Effect of water stress on flower-bud formation and plant hormone content of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). Scientia Horticulturae. 99(3): 301-307.
- Maass, J. M. y A. Rizar. 1990. Los ecosistemas: definición, origen e importancia del concepto. Ciencias. pp: 10-19.
- Maldonado, R., T., G., Almaguer, V., A., Alvarez, M. y E. Robledo, S. 2008. Diagnóstico nutricional y validación de dosis de fertilización para limón persa. Terra latinoamericana. 26(4): 341-349.
- Maldonado, R., T., J., Etchevers, B., G., G., Alcantar, J., Rodríguez y M. Colinas, L. 2001. Estado nutricional del limón mexicano en suelos calcimórficos. Terra latinoamericana. 19(2): 163-174.
- Medina-Urrutia, V., S., Becerra-Rodríguez y E. Ordaz-Ordaz. 2004. Crecimiento y rendimiento del limón mexicano en altas densidades de plantación en el trópico. Revista Chapingo serie horticultura. 10(1): 43-49.
- Méndez, J. 2003. Perfil de mercado y productivo del limón persa. 6 p.
- Molina, E. 2000. Nutrición y fertilización de la naranja. Informaciones agronómicas. Informe técnico. 40. pp: 5-11.
- Obreza, T. y K. Morgan. 2008. Nutrition of Florida citrus trees. UF/IFAS SL. 253 p.
- Plescastre, R. J. 1999. Producción forzada de naranja valencia (*Citrus sinensis*) en la región de Montemorelos, Nuevo León. Tesis de la Universidad Autónoma de Nuevo León. 242 p.

- Peña, R. M. A. y C. J. E. Padrón. 2009. El cultivo de los cítricos en el estado de Nuevo León. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Libro técnico 1. 474 p.
- Pereyra, R. S. 2005. Cultivo del Limón persa (*Citrus latifolia* L.) y sus principales plagas y enfermedades. Tesis de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México. pp: 6-15.
- Pérez-Gutiérrez, A., A. García-Vázquez, J. Tun-Suárez, J y Cristóbal-Alejo C. E. 2007. Producción forzada de limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) en Yucatán. Centro de Investigación y Graduados Agropecuarios Conkal, Yucatán. pp: 5-13.
- Pérez-Pérez, J., P. Romero, J. Navarro and P. Botía. 2008. Response of sweet orange cv 'Lane late' to deficit-irrigation strategy in two rootstocks. II: Flowering, fruit growth, yield and fruit quality. *Irrigation Science*. 26(6): 519-529.
- Pires, R. C. d. M., D. Bodine Junior, E. Sakai, H. L. Villar, T. J. A. d. Silva and F. B. Arruda. 2011. Effect of trickle irrigation on root development of the wet bulb and 'pera' orange tree yield in the state of São Paulo, Brazil. *Engenharia Agrícola*. 31: 1096-1103.
- Quaggio, J. A., D. Mattos Jr, H. Cantarella, E. L. E. Almeida and S. A. B. Cardoso. 2002. Lemon yield and fruit quality affected by NPK fertilization. *Scientia Horticulturae*. 96(1-4): 151-162.
- Rocha-Peña, M. A. y J. E. P. Chavez. 2009. El cultivo de los cítricos en el estado de Nuevo León. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental General Terán. México. 1: 474 p.
- Rodríguez, C., M, B. Guerrero, M y R. Sandoval. 2002. Guía técnica de cultivo de mango. 19 p.
- Rodríguez, N. F. 2008. Evaluación de factores en cosecha y de manejo postcosecha que inciden en la calidad de frutos de limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle): Tesis del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, México. pp: 6-21.
- Ruiz-Rosado, O. 2006. Enfoque de sistemas y agroecosistemas. Agroecología y agricultura orgánica en el trópico. Eds. Tunja. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y Universidad Autónoma de Chiapas, México. pp: 27-35.
- Sánchez, J. 2007. Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas. Fertitec SA Disponible en ([www.fertitec.com/pdf/fertilidad% 20del% 20suelo% 20y% 20nutrición](http://www.fertitec.com/pdf/fertilidad%20del%20suelo%20y%20nutricion)) Diciembre.

- SIAP 2014. Servicio Agroalimentarios y Pesquera: Proveer información confiable y oportuna a los productores sobre el SIAP. http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp.
- SIAP 2015. Servicio Agroalimentarios y Pesquera: Proveer información confiable y oportuna a los productores sobre el SIAP.
- Shock.C.C,Welch.T. 2013. El riego por goteo. Oregon state university,extension servie. 9 p.
- Tejacal, I. A., R. A. Flores, A. L. Alonso, M. A. S. Garcia, E. N. Martínez, G. A. Arias y E. P. Campos. 2009. Tecnología poscosecha en limón persa y naranja valencia en el estado de morelos: Libro tecnico 41. 32 p.
- Urbina.V.V. 1990. La calidad de los frutos. Folleto tecnico fruticultura. pp: 5-9.
- Urrutia, M. y Valdez.V. 2003. Elevado retorno de capital con altas densidades de plantación en limón. INIFAP. México, Centro de Investigaciones del Pacifico Centro. 24 p.
- Vallejos. T. R; 2015. Efecto de tres niveles de potasio con y sin aplicación de calcio en el rendimiento y calidad de Citrus reticulata mandarina híbrido fortune en San Vicente–Cañete. pp: 7-18
- Vazquez.V,Pérez.M,Osuna y J.Urias.M. 2009. Manejo integral de huerto ataulfo con altas densidades de plantacion. Revista Chapingo Serie Horticultura. 15: 155-160.
- Yoshikawa, K., A. Nakamura, A. Baba and S. Kusaba. 2015. The Influence of Reduced Rate of Application of Phosphorus and Potassium Fertilizers on Fruit Quality and Soil in a Satsuma Mandarin Orchard. Acta Horticulturae. 1065: 1081-1806.
- Zaragoza, S., J. A. P. Lorca, M. A. Forner, L. Navarro, A. Medina, G. Soler y P. M. C. Fuster. 2011. Variedades de Citricos. Madrid: Mundi-Prensa. 49 p.
- Zermeño, G. A., D. Garcia, M,A, M. Castro, B y R. Rodriguez, H. 2007. Tension de humedad del suelo y rendimiento de fruto en limon italiano. Fitotecnia. 30(3): 295-303.

CAPITULO I. PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tan.), BAJO RIEGO Y FERTILIZACIÓN EN ALTA DENSIDAD DE PLANTACIÓN EN CAMPECHE, MÉXICO

Miguel Ángel Castelan-Primo¹, Eliseo García-Pérez*, Eugenio Carrillo-Ávila², José López-Collado¹, José Arturo Reyes-Montero²

¹ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, Km. 88.5 Carretera Federal Xalapa-Veracruz, Vía Paso de Ovejas, C. P. 91690. México., Ver.

² Colegio de Postgraduados Campus Campeche, carretera Haltunchén-Edzná km 17.5, Sihochac, municipio de Champotón, Campeche. C. P. 24450. México., Camp.

*(Autor de correspondencia) Mail: geliseo@colpos.mx Tel: (229) 2 01 07 70 Ext. 64321

RESUMEN

La producción de limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) en el estado de Campeche, presenta las condiciones climáticas y agroecológicas propicias para el desarrollo del cultivo, generando una producción convencional promedio de 7 t ha⁻¹. El objetivo del presente estudio fue evaluar el adelanto de la floración, producción y la calidad de limón persa bajo condiciones de riego y fertilización en alta densidad de plantación, en el estado de Campeche, México. El diseño experimental utilizado fue parcelas divididas, con dos factores: riego y fertilización en tres y cinco niveles, respectivamente. Los riegos se aplicaron cuando la tensión de humedad en el suelo a -10kPa (T1), -45kPa (T2) y -80kPa (T3). Los niveles de fertilización química con N-K-P fueron F1 (68-68-68), F2 (102-102-102), F3 (136-136-136), F4 (220-91-110) y F5 (441-182-220) realizados en tres fechas diferentes. Las variables evaluadas fueron: número de brotes florales/m², mixtos/m², producción y características del fruto. Se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en las variables de floración, brotación mixta, producción y características del fruto. Las aplicaciones de riego y fertilización indujeron un mayor número de brotes florales con el tratamiento (-10kPa, F2), en la brotación mixta con el tratamiento (-45kPa, F1), presentando interacción estadística de los factores. En la producción se obtuvieron diferencias estadísticas en el número de frutos amarrados por árbol, con rendimientos de 3.93 t h⁻¹. En la característica del fruto, las variables que

presentaron diferencias estadísticas fueron peso de frutos por árbol, longitud polar, diámetro ecuatorial y acidez.

Palabras clave: *Citrus latifolia* Tan., tensión de humedad, fertilización, producción, características del fruto.

PRODUCTION AND QUALITY OF PERSIAN LEMON (*Citrus latifolia* Tan.)
IRRIGATION AND FERTILIZATION IN HIGH PLANTING DENSITIE IN THE
STATE OF CAMPECHE.

ABSTRACT

The production of persian lemon (*Citrus latifolia* Tan.) in the state of Campeche, presents climatic and agroecological conditions for its development, however, it generates an average conventional yield of 7 t ha⁻¹. The objective of this study was to evaluate the advance of the flowering, yield and the quality of persian lemon under conditions irrigation and fertilization in high plantation of density, in the state of Campeche, Mexico. The experimental design of divided plots, with two factors: irrigation and fertilization in three and five levels, respectively. Irrigations were applied when the soil moisture tension was -10kPa (T1), -45kPa (T2) and -80kPa (T3). The levels of chemical fertilization with N-K-P (g planta⁻¹) were F1 (68-68-68), F2 (102-102-102), F3 (136-136-136), F4 (220-91-110) and F5 (441-182- 220) made on theree different dates. The variables evaluated were: number of floral shoots/m², mixed/m², vegetative/m², production and fruit characteristics. Statistical differences ($p \leq 0.05$) were found in the variables of flowering, mixed budding, vegetative, production and fruit characteristics. Irrigation and fertilization applications induced a greater number of flower buds with the treatment (-10kPa, F2), mixed sprouting with the treatment (-45kPa, F1) presenting statistical interaction of the facts. In the production, statistical differences were obtained in the number of fruits tied by tree, with yields of 3.93 t h⁻¹. In the characteristic of the fruit, the variables that presented statistical differences were weight of fruits by tree, polar length, equatorial diameter and acidity.

Key words: *Citrus latifolia* Tan, moisture tension, fertilization, yield, fruit characteristics.

1.1. INTRODUCCIÓN

El limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) es un fruto tropical que presenta floración casi continua; las regiones productoras de cítricos se localizan en una franja mundial que se ubica entre los 40° de latitud norte y 40° de latitud sur (Rocha-Peña y Padrón-Chavez, 2009). El clima adecuado para el cultivo es de tipo mediterráneo, libre de heladas, con una altitud de 40 a 1000 metros sobre el nivel del mar, temperaturas entre 13°C a 35°C, precipitaciones pluviales de 900 a 2000 milímetros al año, los suelos pueden ser franco arenosos o franco arcillosos, con pH de 6 a 8 (Espada y Van, 2009). La producción nacional de limón persa en México, fue de 1,126,533.31 t, con un rendimiento de 13.3 t ha⁻¹ y un valor de producción de M\$ 4,390,207.11 anuales (SIAP, 2015). Proviene fundamentalmente de los estados de Veracruz, Tabasco, Oaxaca, Yucatán, Quintana Roo, Puebla y Campeche que contribuyen con el 77 % de la producción del país (SIAP, 2015). Se cuenta con una superficie de siembra de 1,493 ha; de las cuales 946 ha cuentan con sistema de riego y rendimientos de 7.6 t ha⁻¹. La producción generada es de 10,325.07 t con un valor de producción de M\$ 43,124.0 anuales (INEGI, 2007-2012). Algunos de los factores que limitan la productividad del cultivo son: fertilidad de los suelos y la irregularidad de las lluvias. Aunque la mayoría de los productores aplican riego y fertilizantes al cultivo, no se han realizado trabajos de investigación que permitan definir la cantidad de agua de riego y fertilizantes para mejorar la producción. Actualmente, existen equipos para medir la humedad del suelo, por ejemplo el tensiómetro que es un dispositivo que se adapta a los sistemas de riego por goteo y micro aspersión (Zermeño *et al.*, 2007). El-Otmani *et al.* (2015) realizaron un estudio para determinar el efecto de riego de acuerdo con las etapas fenológicas de la naranja clementina, y encontraron que los árboles estresados presentaron mayor número de flores. Conesa *et al.* (2011) evaluaron el efecto del riego deficitario en mandarina Fortune con diferentes tratamientos; obteniendo un 10 % de ahorro de agua mediante el riego deficitario, a diferencia del tratamiento normal; y un 20 % respecto a la aplicación de riego de los agricultores. Maldonado *et al.* (2008) evaluaron la producción de limón persa con fertilizantes de carbonato de calcio, gallinaza y urea con dosis de 310, 242, 470 y 8.52 g por árboles de 11 años de edad, plantados a 4.5 m x 4.5 m con

una densidad de 493 ha⁻¹, obteniendo un rendimiento de 22.6 t ha⁻¹. La baja disponibilidad de agua afecta en el crecimiento de la planta. Para obtener una buena producción, son necesarias cantidades apropiadas de agua durante el periodo de floración, amarre, crecimiento, desarrollo y fructificación del cultivo (Enciso *et al.*, 2008). Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el adelanto de la floración, producción y la calidad de limón persa bajo condiciones de riego y fertilización en altas densidades de plantación, en el estado de Campeche, México.

1.2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el periodo comprendido de agosto del 2015 a abril del 2016, en el campo experimental del Campus Campeche del Colegio de Postgraduados, ubicado en Sihochac, municipio de Champotón, Campeche. El clima es de tipo A (m), de acuerdo con la clasificación de Koppen con temperaturas promedio de 26-28°C y una precipitación pluvial media anual de 1,290 mm. Se trabajó con árboles de limón persa (*C. latifolia* Tan.) de siete años de edad, establecidos a una distancia de 1.20 m entre planta y 7 m entre hilera, con una densidad de plantación de 1,190 plantas por ha. La plantación cuenta con sistema de riego por goteo. El análisis físico-químico del suelo, indicó que es un suelo franco arcilloso, con un valor bajo de N y alto contenido de P y K en los primeros 0.3 m de profundidad. Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas, con bloques completos al azar, con dos factores: riego y fertilización, con tres y cinco niveles, respectivamente. En la parcela grande se establecieron los tratamientos de riego y en las parcelas chicas los diferentes niveles de fertilización. La unidad experimental fue de cuatro árboles de limón persa. Los niveles de riego consistieron en valores de tensión de humedad del suelo (tens) a -10kPa, -45kPa y -80kPa, medidos con tensiómetros a 30 cm de profundidad en el suelo. Se aplicó el riego cuando los valores de la tensión de humedad en el suelo alcanzaron el valor del tratamiento. Los niveles de fertilización química (fert) con N-P-K fueron: F1 (68-68-68), F2 (102-102-102), F3 (136-136-136), F4 (220-91-110) y F5 (441-182-220), definidos con base en fertilización realizada en años anteriores. Las aplicaciones de fertilizante se realizaron el 24 de julio, el 3 de septiembre de 2015 y 15

de marzo de 2016. Los fertilizantes utilizados, fueron: Triple 17, Urea y Sulfato de potasio con aplicaciones de 100 g de Triple 17 por planta en el nivel de fertilización F1; 200 g de Triple 17 por planta en el nivel de fertilización F2; 300 g de Triple 17 por planta en el nivel de fertilización F3; 451 g de la combinación de Triple 17, Urea y Sulfato de potasio por planta en el nivel de fertilización F4 y el nivel de fertilización F5 con 651 g de la combinación Triple 17, Urea y Sulfato de potasio por planta. Con la combinación de los dos factores y sus respectivos niveles, se generaron los 15 tratamientos a evaluar. Para identificar el efecto de los tratamientos de riego y fertilización en la floración, producción y calidad de limón persa, se midieron variables en cuatro árboles por cada tratamiento. El registro de datos se realizó cada quince días, del 15 de enero al 15 de marzo del 2016. Las variables evaluadas fueron: número de brotes florales y brotes mixtos por m², contadas dentro de un marco de madera de un m², en los puntos cardinales norte a sur. La producción se evaluó con las variables: número de frutos amarrados, frutos cosechados y rendimientos por ha. Para la calidad del fruto se determinaron variables físico-químicas: peso de fruto (utilizando una balanza analítica); tamaño de fruto (longitud y diámetro medidos con un vernier); porcentaje de jugo (se calculó el peso de fruto/volumen de jugo), sólidos solubles totales (utilizando un refractómetro de mano portátil); porcentaje de acidez (medido mediante el método de titulación); y, pH (utilizando un potenciómetro). Se realizó el análisis de los datos, con el procedimiento proc mixed, para diseño de parcelas divididas para cada variable respuesta, con el paquete estadístico Statistical Analysis System versión 9.4. En los casos en que se encontraron efectos significativos de tratamientos e interacción, se realizaron las pruebas de comparaciones de medias por el método de contrastes, con un nivel de significancia $p \leq 0.05$ y las interacciones se representaron por graficas de box-plot.

1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el desarrollo del experimento, se registraron temperaturas mínimas de 18°C a 23°C, temperaturas medias de 24°C a 29°C, temperaturas máximas de 30°C a 36°C en los meses de noviembre 2015 a abril del 2016. La precipitación pluvial registrada en el

mes de noviembre fue de 100 mm, con valores decrecientes hasta el mes de abril de 2016 (Figura 1). Estas condiciones favorecieron la floración, ya que temperaturas entre 15°C y 20°C la promueven. La poca precipitación en el área, también incidió en la floración, ya que la ausencia de humedad en el suelo en un periodo de 30 a 40 días la favorecen (Rocha-Peña y Padron-Chavez, 2009).

Las condiciones climáticas que se presentaron en la zona de estudio influyeron en las etapas fenológicas del cultivo de limón persa (Figura 1). La presencia de lluvias en los meses de julio a diciembre del 2015, las prácticas de manejo y temperaturas favorecieron la brotación vegetativa en el mes de septiembre, presentando una mayor floración y brotación vegetativa en los meses de enero a marzo, favorecidos por la ausencia de lluvias y temperaturas mínimas; y la presencia de fructificación entre los meses de enero a abril del 2016.

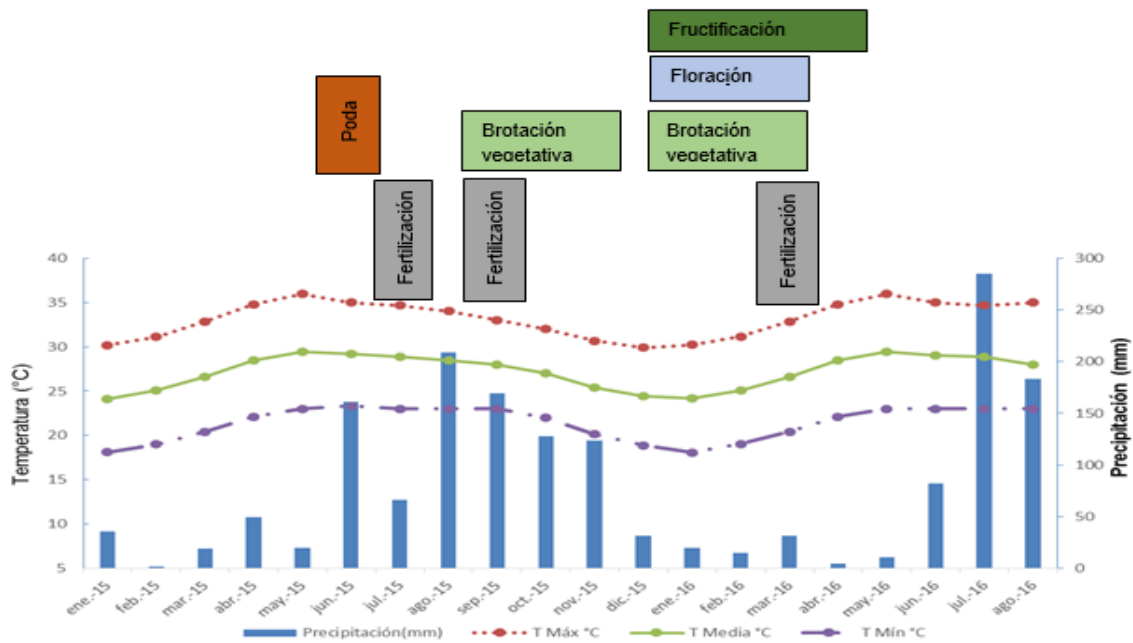


Figura 1. Relación de las etapas fenológicas y prácticas de manejo, con los elementos climáticos en limón persa, en el ciclo de producción 2015-2016 del limón persa (*Citrus latifolia* Tan.)

El análisis de varianza para la variable brotación floral no reportó diferencia estadística en los factores principales. Sin embargo, se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$), en la interacción de los factores de fertilización y tensión de humedad en el suelo, como se muestra en el Cuadro 5. Resultados semejantes fueron observados para las variables brotación mixta y vegetativa (ANEXO 1, Cuadros A1 y A2).

Cuadro 5. Análisis de varianza en brotación floral

Tests de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	Núm DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
fert	4	36	2.04	0.1096
tens	2	6	1.07	0.4001
fert*tens	8	36	2.32	0.0404

Núm DF= grados de libertad para el numerador, Den DF= grados de libertad para el denominador

En el Cuadro 6 se presenta las medias de las variables brotación floral y mixta en las diferentes fechas de evaluación, donde se destacan los factores de fertilización y tensión de humedad en el suelo. Se destacan los tratamientos F2,-10kPa, F1,-45kPa y F3,-80kPa.

Cuadro 6. Brotación floral y brotación mixta en árboles de limón persa sometidos a diferentes tratamientos de fertilización y riego en las diferentes fechas

Trat	12/1/2016		26/1/2016		24/2/2016		9/3/2016	
	Bf/m2	Bm/m2	Bf/m2	Bm/m2	Bf/m2	Bm/m2	Bf/m2	Bm/m2
F1,-10kPa	1.0	0.0	1.0	0.0	2.0	0.0	2.0	1.0
F2,-10kPa	10.0	4.0	12.0	5.0	33.0	6.0	27.0	7.0
F3,-10kPa	2.0	0.0	3.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0
F4,-10kPa	4.0	3.0	5.0	3.0	3.0	2.0	4.0	1.0
F5,-10kPa	3.0	1.0	5.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0
F1,-45kPa	4.0	0.0	5.0	1.0	13.0	8.0	14.0	8.0
F2,-45kPa	10.0	1.0	12.0	1.0	2.0	0.0	3.0	0.0
F3,-45kPa	7.0	1.0	9.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
F4,-45kPa	11.0	0.0	13.0	0.0	6.0	3.0	7.0	2.0
F5,-45kPa	7.0	2.0	9.0	2.0	8.0	2.0	9.0	4.0
F1,-80kPa	3.0	0.0	4.0	0.0	1.0	0.0	2.0	0.0
F2,-80kPa	3.0	0.0	4.0	0.0	3.0	0.0	3.0	0.0
F3,-80kPa	13.0	2.0	16.0	2.0	1.0	0.0	2.0	0.0
F4,-80kPa	2.0	0.0	5.0	0.0	2.0	0.0	3.0	0.0
F5,-80kPa	2.0	0.0	4.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0

Tens-Fert = Tensión y Fertilización, Bf =Brotación floral, Bm =Brotación mixta, se identificaron los tratamientos que presentaron interacción realizados por contrastes.

Brotación floral

La floración se presentó de enero a marzo del 2016, presentó interacción estadística significativa ($p \leq 0.05$) entre los factores de fertilización y tensión de humedad en el suelo. Al contrastar los niveles de fertilización y el nivel de -10kPa de tensión de humedad en el suelo, se observó mayor interacción del nivel de fertilización (F2), en la segunda fecha de enero, febrero y marzo. Para los niveles de fertilización y el nivel de -45kPa de tensión de humedad en el suelo, se obtuvo la interacción del nivel de fertilización (F1) en las fechas de febrero y marzo. En los diferentes niveles de fertilización y el nivel de -80kPa de tensión de humedad en el suelo; respecto a la interacción del nivel de fertilización (F3) en la segunda fecha de enero (Figura 2). En los resultados se evidenció que hay mayor número de flores a menor tensión de

humedad en el suelo (-10kPa) o mayor disponibilidad de agua para la planta, con dosis bajas de fertilizante, lo que difiere con lo reportado por El-Otomí *et al.* (2015), que compararon el efecto del riego localizado en la fenología de naranja clementina, y encontraron que los tratamientos de riego T0 (2.7 mm/día), T1 (3.5 mm/día) y T2 (2.1 mm/día), mostraron 49, 59 y 61 flores en árboles estresados, así como un menor crecimiento vegetativo, menor producción y menor tamaño de fruto. Los resultados encontrados fueron influenciados por las condiciones ambientales que se presentaron en la floración del cultivo. Southwick *et al.* (1986), encontraron que el efecto de la temperatura (18°C día/10 °C noche) y el estrés hídrico promueven la floración.

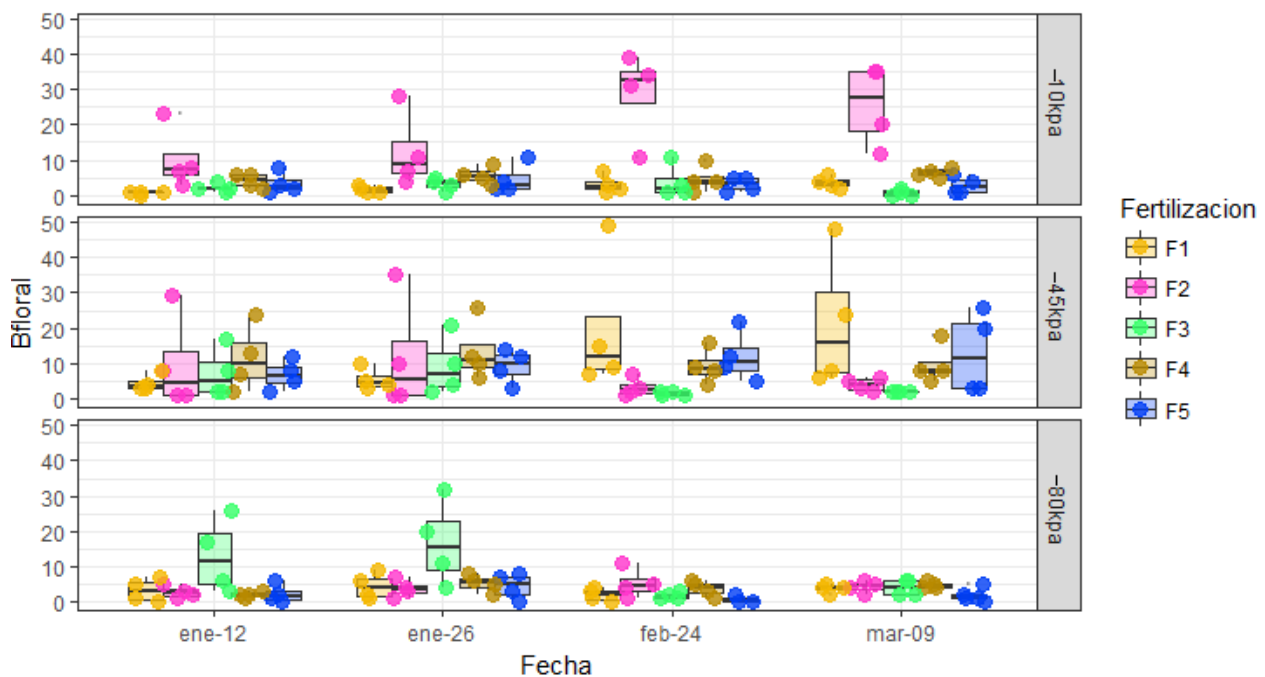


Figura 2. Efecto de la interacción de la fertilización química y tensión de humedad en el suelo en la brotación floral. Gráfica de caja y valores observados presentan los valores extremos de 0.25, 0.50 y 0.75 cuartiles de la distribución.

Brotos mixtos

La brotación mixta se presentó en los meses de enero a marzo del 2016, la cual obtuvo una interacción estadística significativa ($p \leq 0.05$) entre los factores de fertilización y tensión de humedad en el suelo. En el contraste de los niveles de fertilización y el nivel

-10kPa de tensión de humedad en el suelo, se observó mayor interacción con el nivel de fertilización (F2) en marzo del 2016. En los niveles de fertilización y el nivel -45kPa de tensión de humedad en el suelo, se observó interacción del nivel de fertilización (F1) en marzo del mismo año. Para los niveles de fertilización y el nivel -80kPa de tensión de humedad en el suelo, se observó mayor interacción en el nivel de fertilización (F3) en la segunda fecha de enero (Figura 3). Los resultados indicaron que hubo un mayor número de brotes mixtos con tensión de humedad en el suelo (-45kPa) o menor disponibilidad de agua para la planta, con dosis bajas de fertilizante, estos valores se encuentran entre los reportados por Pérez-Gutiérrez *et al.* (2007) en la producción forzada de limón persa (*Citrus latifolia* T.) con aplicación de ácido 2-cloroetilfosfonico, urea y el testigo, produjeron 62.6, 5.0 y 0.3 brotes mixtos/m², en árboles de limón persa en el estado de Yucatán.

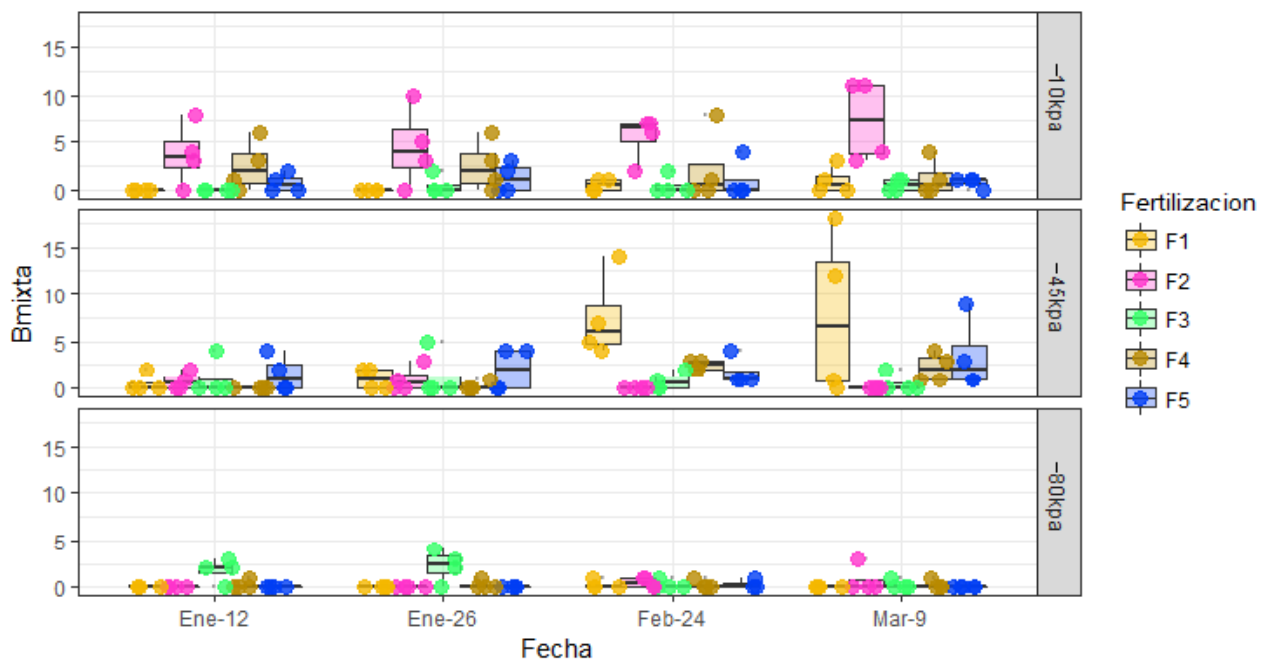


Figura 3. Efecto de la interacción de la fertilización química y tensión de humedad en el suelo en la brotación mixta. Gráfica de caja y valores observados presentando los valores los valores extremos de 0.25, 0.50 y 0.75 cuartiles de la distribución.

Fructificación y producción de limón persa

El cultivo presentó fructificación y producción en los meses de abril a mayo del 2016, las condiciones en la zona y el manejo propiciaron un adelanto en la producción del cultivo, las cosechas normales se realizan en los meses de mayo a septiembre. El análisis de varianza reportó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) en los factores principales de fertilización, tensión de humedad en el suelo y en la interacción, como se muestra en el Cuadro 7. La Figura 4 muestra el número de frutos amarrados para el factor de fertilización y tensión de humedad en el suelo; observando que la respuesta es diferente para cada tratamiento, lo que indica interacción de los factores; se presentó un mayor número de frutos amarrados a menor tensión de humedad del suelo y menos frutos amarrados con mayor tensión de humedad del suelo. Estos valores se encuentran entre los reportados por Pérez-Gutiérrez *et al.* (2007) donde se obtuvieron 94.28 y 5.38 frutos amarrados bajo condiciones de estrés hídrica la producción de limón persa.

Cuadro 7. Análisis de varianza de frutos amarrados.

<u>Tests de tipo 3 de efectos fijos</u>				
<u>Efecto</u>	<u>Núm DF</u>	<u>Den DF</u>	<u>F-Valor</u>	<u>Pr > F</u>
fert	4	36	2.82	0.0391
tens	2	6	49.29	0.0002
fert*tens	8	36	4.89	0.0004

Núm. DF= grados de libertad para el numerador, Den DF= grados de libertad para el denominador

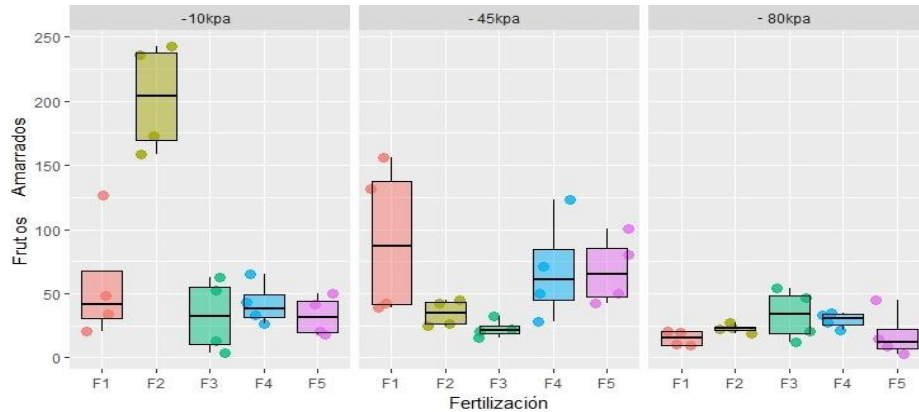


Figura 4. Efecto de interacción en los tratamientos de fertilización y tensión de humedad en el suelo en frutos amarrados.

La variable frutos cosechados por árbol no se reportó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) en los tratamientos; sin embargo, con las aplicaciones de los tratamientos (F5,-45kPa) y (F3,-45kPa) se obtuvieron 34.50 y 32.25 frutos por árbol respectivamente. Estos valores se encuentra entre los reportados por Almager-Vargas *et al.* (2011) que encontraron 35.3 frutos cosechados en la producción forzada en limón persa, en el estado de Veracruz. En la variable rendimiento de fruto por ha no se reportó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) en los tratamientos; sin embargo, las aplicaciones de los tratamientos (F2,-10kPa) y (F5,-45kPa) se estimaron rendimientos de 3.93 y 3.85 t ha⁻¹ de frutos (Cuadro 8). Estos valores están entre los reportados por Contreras-Morales *et al.* (2008) que obtuvieron entre 1 y 5 t ha⁻¹ con aplicación de fertilizante, y de 2 a 3 t ha⁻¹ con las prácticas de producción forzada en limón persa, en el estado de Veracruz. Contreras-Morales *et al.* (2008) evaluaron reguladores de crecimientos en la producción forzada de limón persa obteniendo rendimientos de entre 0.50 y 3.250 t ha⁻¹. Que consiste en utilizar prácticas que modifique las etapas fisiológicas de floración y letargo.

Cuadro 8. Efectos de los tratamientos de fertilización y tensión en la producción de limón persa.

Fert-Tens	Frutos cosechados por árbol	Peso de fruto g	Rendimiento t ha ⁻¹
F1,-10kPa	18.50	87.00	1.97
F2,-10kPa	27.25	113.00	3.93
F3,-10kPa	12.25	100.00	1.56
F4,-10kPa	13.00	104.25	1.57
F5,-10kPa	27.25	75.50	2.37
F1,-45kPa	18.50	75.05	1.66
F2,-45kPa	19.75	65.37	1.63
F3,-45kPa	32.25	73.10	3.09
F4,-45kPa	28.00	67.95	2.28
F5,-45kPa	34.50	87.05	3.85
F1,-80kPa	12.75	67.27	1.00
F2,-80kPa	8.00	42.47	0.43
F3,-80kPa	22.00	59.05	1.82
F4,-80kPa	7.75	51.45	0.43
F5,-80kPa	5.75	18.77	0.24

TensFert = Tensión y fertilización

Características del fruto

En el Cuadro 9 se presentan las medias de las variables de características del fruto, donde se destacan los tratamientos (F2, -10 kPa), (F2,- 45 kPa) y (F1, -80 kPa).

Cuadro 9 Efectos de fertilización y tensión en algunas características del fruto.

Fert-Tens	Psfrut (g)	LongPolar (cm)	DiaEcuat (cm)	Jugo (%)	SST (°Brix)	Acidez (%)	pH
F1,-10kpa	87.00	4.35	3.70	32.25	8.45	9.42	0.80
F2,-10kpa	113.00	4.95	4.22	35.82	7.55	10.00	0.82
F3,-10kpa	100.00	4.35	3.85	34.00	8.22	9.92	0.75
F4,-10kpa,	104.25	4.42	3.87	34.05	7.40	9.15	0.82
F5,-10kpa,	75.50	3.87	3.35	28.07	9.45	7.82	3.15
F1,-45kpa	75.00	4.12	3.57	36.42	8.50	7.22	0.82
F2,-45kpa	65.37	3.75	3.40	58.17	8.95	7.75	0.90
F3,-45kpa	73.10	3.92	3.50	33.90	8.45	7.87	0.92
F4,-45kpa	67.95	3.55	3.05	39.00	7.75	7.17	3.40
F5,-45kpa	87.05	4.47	3.57	32.70	8.50	6.62	1.75
F1,-80kpa	67.27	3.92	3.47	21.37	10.20	6.10	2.27
F2,-80kpa	42.47	3.22	2.75	25.12	10.00	7.55	1.92
F3,-80kpa	59.05	3.85	3.42	26.75	8.82	6.70	1.85
F4,-80kpa	51.45	2.65	2.37	22.15	1.47	5.87	1.20
F5,-80kpa	18.77	1.45	1.27	10.00	5.20	4.00	1.00

Tens-Fert = Tensión y fertilización, Psfrut = Peso de fruto, LongPolar = Longitud polar, DiaEcuat =Diámetro ecuatorial, SST= Solidos solubles totales, se identificaron los tratamientos que presentaron interacción realizados por contrastes.

El análisis de varianza para la variable peso de fruto presento diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en los factores principales de fertilización, tensión de humedad en el suelo y en la interacción (Cuadro 10). La Figura 5 muestra la interacción del factor de fertilización y tensión de humedad en el suelo para la variable peso de fruto (Pes fruto); observando que la respuesta es diferente para cada tratamiento, lo que indica interacción de los factores; se presentó mayor peso de fruto a mayor humedad de suelo (-10kPa) y menor peso del fruto con menor humedad del suelo (-45kPa, -80kPa). Estos valores son similares a los reportados por Díaz *et al.* (2004) que obtuvieron frutos de

lima Tahití de entre 92.28 g y 115.18 g. Holzapfel *et al.* (2001) encontraron que el mejor rendimiento de los cítricos se obtiene cuando las aplicaciones de riego son realizadas cerca de los valores de capacidad de campo, en los primeros 0.6 m de profundidad. Curtí *et al.* (2012) reportaron en limón persa con portainjerto volkameriana un peso promedio de 79.47 g por fruto.

Cuadro 10. Análisis de varianza en la variable peso de fruto.

Tests de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	Núm DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
fert	4	36	2.82	0.0391
tens	2	6	49.29	0.0002
fert*tens	8	36	4.89	0.0004

Núm DF= grados de libertad para el numerador, Den DF= grados de libertad para el denominador

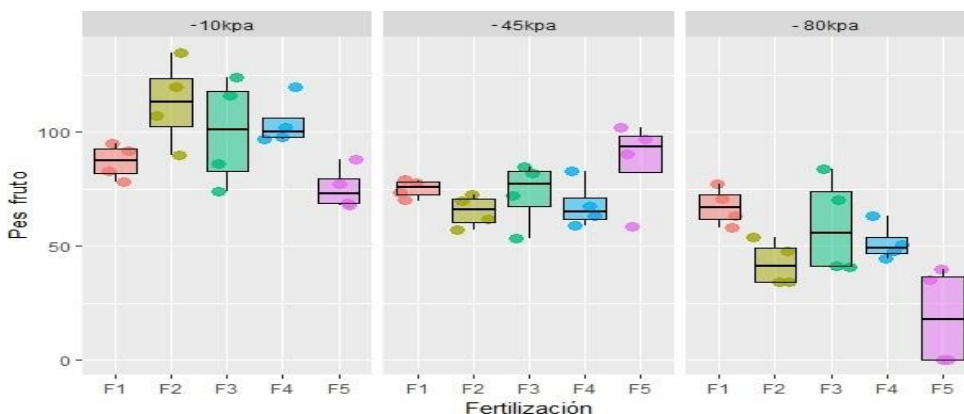


Figura 5. Efecto de interacción en los tratamientos de fertilización y tensión de humedad en el suelo en el peso de fruto.

En el análisis de varianza para la variable longitud polar de fruto presento diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en los factores principales de fertilización, tensión de humedad en el suelo y en la interacción (Cuadro 11). La Figura 6 muestra la interacción del factor de fertilización y tensión de humedad en el suelo para la variable longitud polar del fruto (Long polar); observando que la respuesta es diferente para cada tratamiento, lo que indica interacción de los factores; se presentó mayor longitud polar a mayor disponibilidad de agua y valores similares en los tratamientos con menor disponibilidad

de agua en el suelo. Los valores encontrados están por debajo de los reportados por Díaz *et al.* (2004) que obtuvieron valores de entre 6.51 y 6.35 cm con la aplicación de fertilizantes en lima Tahití. Tejacal *et al.* (2009) encontraron valores de 5.5 y 6.3 cm en limón persa en el estado de Morelos.

Cuadro 11. Análisis de varianza en la variable longitud polar de fruto.

Tests de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	Núm DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
fert	4	36	3.05	0.0290
tens	2	6	18.16	0.0029
fert*tens	8	36	3.31	0.0062

Núm DF= grados de libertad para el numerador, Den DF= grados de libertad para el denominador

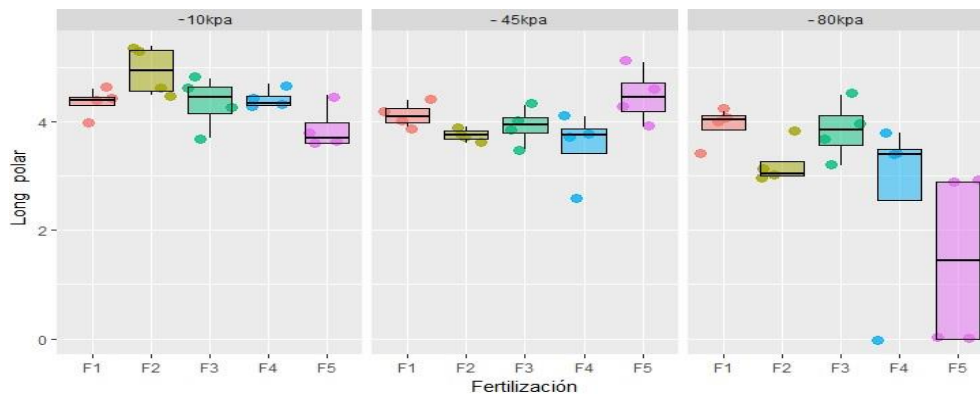


Figura 6. Efecto de interacción de los tratamientos de fertilización y tensión de humedad en el suelo en la longitud polar de los frutos.

En el análisis de varianza para la variable diámetro ecuatorial se encontró diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) de los factores principales de fertilización y tensión de humedad en el suelo, así como en la interacción (Cuadro 12). La Figura 7 muestra la interacción del factor de fertilización y tensión de humedad en el suelo de la variable diámetro ecuatorial (Diame cuatorial); observando que la respuesta es diferente para cada tratamiento, lo que indica interacción de los factores; se presentó mayor diámetro ecuatorial a mayor disponibilidad de agua en el suelo, con valores de alrededor de 4 cm, y valores similares en los tratamientos con menor disponibilidad de agua. Estos son similares a los reportados por Alarcón *et al.* (2004) quienes encontraron un

aumento de peso del 40% y diámetros ecuatorial de 4.17 cm en limón mexicano. Castellano *et al.* (2016) evaluaron el efecto de la temperatura de almacenaje sobre las características organolépticas de frutos de limón persa, encontró diámetro ecuatorial entre 5.4 y 5.5 cm.

Cuadro 12. Análisis de varianza del diámetro ecuatorial.

Tests de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	Núm DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
fert	4	36	3.63	0.0138
tens	2	6	14.79	0.0048
fert*tens	8	36	2.41	0.0339

Núm DF= grados de libertad para el numerador, Den DF= grados de libertad para el denominador

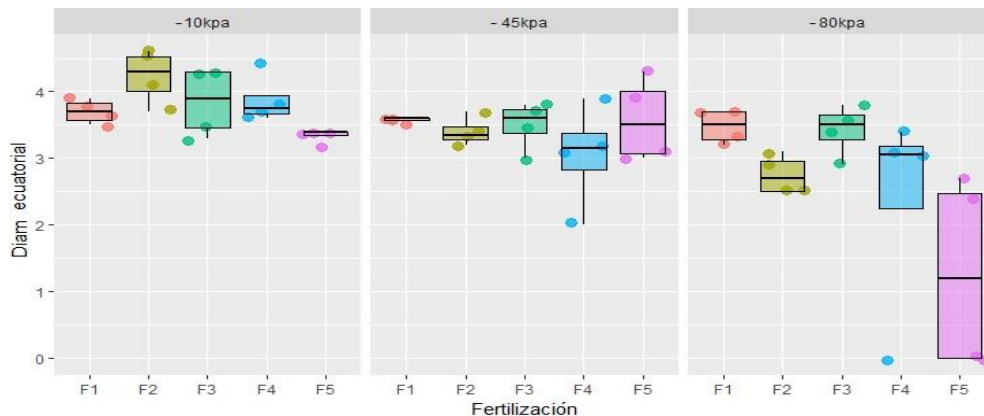


Figura 7. Efecto de interacción de los tratamientos de fertilización y tensión de humedad en el suelo en diámetro ecuatorial.

En el análisis de varianza para la variable porcentaje de jugo se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en los factores principales de fertilización y tensión de humedad en el suelo; no se encontró interacción de los factores (Cuadro 13). Se destaca para el factor de fertilización (F2) y el factor de tensión de humedad en el suelo (-45kPa) en el porcentaje de jugo en el fruto (Cuadro 14). Estos se encuentran entre los reportados por Almager-Vargas *et al.* (2011) que encontraron valores 45.9 y 38.6 de porcentaje de jugo en el fruto de limón persa en el estado de Veracruz. Pérez-Pérez *et al.* (2015) evaluaron la influencia de diferentes tratamientos de irrigación, encontrando

valores de entre 37.2 y 36.7% en el periodo 2008; y 36.6 y 31.7 de porcentaje de jugo en 2009 en árboles de limón fino en Murcia, España.

Cuadro 13. Análisis de varianza en la variable porcentaje de jugo.

Efecto	Tests de tipo 3 de efectos fijos			
	Núm DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
fert	4	36	3.79	0.0113
tens	2	6	16.50	0.0036
fert*tens	8	36	1.18	0.3398

Núm DF= grados de libertad para el numerador, Den DF= grados de libertad para el denominador

Cuadro 14. Medias de mínimos cuadrados en los efectos principales de fertilización y tensión.

Factor	Medias	Contrastes	Significancia
F1	30.01	F1 vs F3	0.7154 ^{ns}
F2	39.70	F2 vs F1-F3-F4-F5	0.0030**
F3	31.55		
F4	31.73	F4 vs F5	0.0589*
F5	23.59		
Factor	Medias	Contrastes	Significancia
-10kPa	32.84	Tens10 vs Tens80	0.0124*
-45kPa	40.04	Tens45 vs Tens10-80	0.0040**
-80kPa	21.08		

Tratamientos con (*) son estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$) realizado por contraste; ns: no significativo.

En el análisis de varianza para la variable sólidos solubles totales, medida en °Brix, se encontró diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$), en el factor principal de fertilización y en la interacción de los factores (Cuadro 15). La Figura 8 muestra la interacción del factor de fertilización y tensión de humedad en el suelo de la variable los sólidos solubles totales (SST); observando que la respuesta es diferente para cada tratamiento, lo que indica interacción de los factores; se presentaron valores similares en SST a mayor

disponibilidad de agua en el suelo y valores altos en los tratamientos con menor disponibilidad de agua en el suelo. Los valores encontrados están entre los reportado por Bosquez–Molina *et al.* (2008) encontraron valores de sólidos solubles totales de entre 7.8 y 9.0 evaluado el efecto del acondicionamiento con calor y daño por frio en limón persa en Veracruz. Rodríguez (2008) encontró valores de 9.8 y 8.23 de solidos solubles en las diferentes técnicas de corte de limón mexicano. Guerra *et al.* (2015) encontraron valores entre 7.9 y 8.6 de solidos solubles totales evaluando el efecto de riego y fertilización en lima ácida Tahití.

Cuadro 15. Análisis de varianza para los sólidos solubles totales.

Tests de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	Núm. DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
fert	4	36	5.16	0.0022
tens	2	6	0.09	0.9185
fert*tens	8	36	3.53	0.0041

Núm DF= grados de libertad para el numerador, Den DF= grados de libertad para el denominador

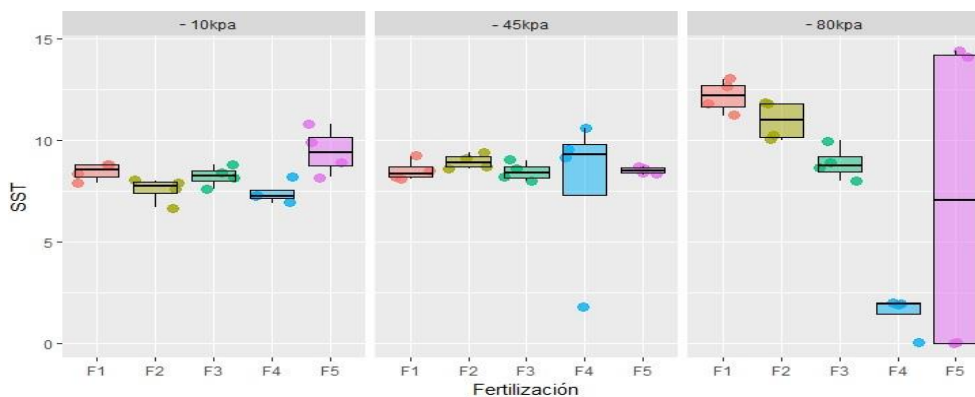


Figura 8. Efecto de interacción en los tratamientos de fertilización y tensión de humedad en el suelo.

En el análisis de varianza para la variable porcentaje de acidez se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en los factores principales de fertilización y tensión de humedad en el suelo; no se presentó interacción de los factores (Cuadro 16). Se destaca el factor de fertilización (F2) y el factor de tensión de humedad en el suelo (-10kPa) de porcentaje de acidez (Cuadro 17). Los valores obtenidos están por encima

de los reportados por Tejacal *et al.* (2009) que obtuvieron valores de entre 4.7 y 5.0% en la limón persa en el estado de Morelos. García-Sánchez *et al.* (2015) encontraron valores de acidez entre 3.7 y 5.2 en la producción de limón "Fino 49" con sombreado.

Cuadro 16. Análisis de varianza en la variable porcentaje de acidez.

Efecto	Tests de tipo 3 de efectos fijos			
	Núm. DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
fert	4	36	3.57	0.0149
tens	2	6	19.91	0.0022*
fert*tens	8	36	0.30	0.9622

Núm DF= grados de libertad para el numerador, Den DF= grados de libertad para el denominador

Cuadro 17. Medias de mínimos cuadrados en los efectos principales de fertilización y tensión.

Factor	Medias	Contrastes	Significancia
F1	7.58	F1 vs F3	0.3850 ^{ns}
F2	8.43	F2 vs F1-F3-F4-F5	0.0415*
F3	8.16		
F4	7.40	F4 vs F5	0.0676 ^{ns}
F5	6.15		
Factor	Medias	Contrastes	Significancia
-10kPa	9.26	Tens10 vs Tens45-80	0.0012**
-45kPa	7.33	Tens45 vs Tens80	0.0465*
-80kPa	6.04		

Tratamientos con (*) son estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$) realizados por contrastes; ns: no significativo

En el análisis de varianza para la variable pH no se reportó diferencias estadísticas en los factores principales, sin embargo, se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$), para la interacción de los factores de fertilización y tensión de humedad en el suelo (Cuadro 18). La Figura 9 muestra la interacción del factor de

fertilización y tensión de humedad en el suelo de la variable pH; observando que la respuesta es diferente para cada tratamiento, lo que indica interacción de los factores; se obtuvieron valores similares en pH a mayor disponibilidad de agua y valores altos en los tratamientos con menor disponibilidad de agua en el suelo. Estos valores están por debajo de los reportados por Bosquez-Molina *et al.* (2008) que encontraron valores de pH entre 2.2 y 2.8 evaluando el efecto del acondicionamiento con calor y daño por frío en limón persa en Veracruz. Castellano *et al.* (2016) evaluaron el efecto de la temperatura en el almacenaje en características organolépticas de frutos de limón persa, encontrando pH de entre 2.3 y 2.5.

Cuadro 18. Análisis de varianza en la variable pH.

Tests de tipo 3 de efectos fijos				
Efecto	Núm DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
Fert	4	36	1.03	0.4035
Tens	2	6	0.50	0.6274
fert*tens	8	36	2.79	0.0163

Núm DF= grados de libertad para el numerador, Den DF= grados de libertad para el denominador

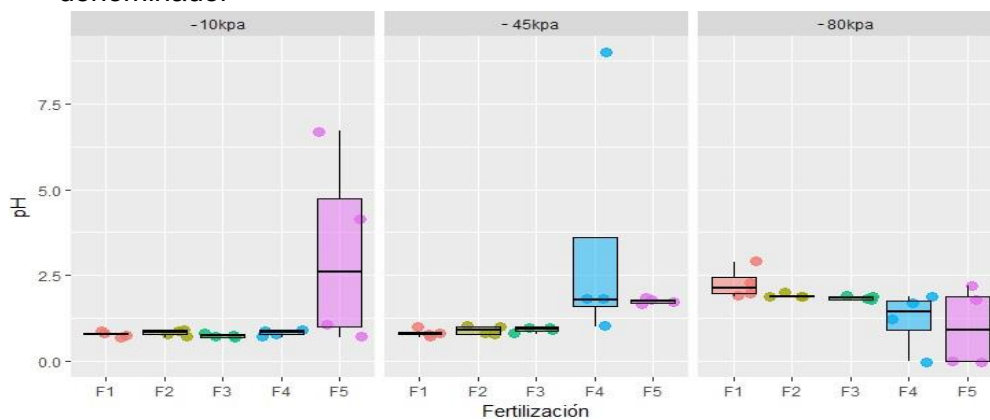


Figura 9. Efecto de interacción en los tratamientos de fertilización y tensión de humedad en el suelo en el pH

1.4. CONCLUSIONES

Las variables evaluadas presentaron interacciones en los factores principales, donde el mayor número de floración y brotación mixta se obtuvo en los niveles de tensión de humedad (-10kPa) y (-45kPa) con las dosis de fertilización (F2) y (F1) respectivamente.

En la producción de limón persa se encontró diferencia significativa en la variable número de frutos amarrados por árbol, destacando el tratamiento (F2,-10kPa) con él se estimó un rendimiento de 3.93 t h⁻¹ para la época de otoño–invierno.

En las características del fruto las variables presentaron interacción en los tratamientos de fertilización y tensión de humedad en el suelo fueron: peso de fruto por árbol, longitud polar de fruto, diámetro ecuatorial y acidez con el tratamiento (F2,-10kPa).

1.5.LITERATURA CITADA

- Alarcón, C. N., R. Ariza F, A. Barrios A, R. Cruzaley S y E. Vázquez G. 2004. Efecto de las labores culturales en la producción y calidad del limón mexicano de invierno. Revista Fitotecnia Mexicana. 27: 7
- Alarcón, C. N., R. Ariza F, A. Barrios A, R. Cruzaley S y E. Vázquez G. 2004. Efecto de las labores culturales en la producción y calidad del limón mexicano de invierno. Revista Fitotecnia Mexicana. 27: 73-76.
- Almaguer-Vargas, G., J. R. Espinoza-Espinoza y J. L. Quirós-García. 2011. Desfasamiento de cosecha de limón persa. Revista Chapingo Serie horticultura. 17(3): 197-205.
- Bosquez - Molina, E., J. D. Soberanes, L. P. Flores, S. B. Baños, F. D. de León Sánchez y F. Rivera-Cabrera. 2008. Efecto del acondicionamiento con calor en la susceptibilidad al daño por frío de lima persa (*Citrus latifolia* Tanaka). Phytotecnología (Buenos Aires). 77: 161-174.
- Curti-Díaz, S. A., Hernández-Guerra, C y Loredó-Salazar, R. X. 2012. Productividad del limón 'Persa' injertado en cuatro portainjertos en una huerta comercial de Veracruz, México. Revista Chapingo. Serie horticultura. 18(3): 291-305.
- Conesa Saura, M. D. R., Sánchez, R., Pagán Rubio, E., Corbalán Rodríguez, M. I., García Riquelme, M., Domingo Miguel, R y Pérez Pastor, A. 2011. Estudio de las relaciones hídricas y productividad en mandarino 'Fortune' sometido a riego deficitario controlado. IV Jornadas de introducción a la investigación de la UTP. 4: 51-53.
- Contreras-Morales, E., G. Almaguer-Vargas, J. R. Espinoza-Espinoza, R. Maldonado-Torres y M. T. C. León. 2008. Nutrición del desfasamiento en limón persa. Revista Chapingo. Serie horticultura. 17: 22-55.

- Díaz, L., E. Aguirre, F. Isea y Y. Hernández. 2004. Efecto de la fertilización sobre el rendimiento y la calidad de frutos de lima tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka). *Revista de la Facultad de Agronomía*. 21(4): 285-291.
- El-Otmani, M., S. Bagayogo, A. El-Fadl and M. C. Benismail. 2015. Effect of Regulated Deficit Irrigation on Vegetative Growth, Fruiting, Stomatal Conductance and Water Use Efficiency in 'Nules' Clementine under Arid Conditions of the Souss Valley of Morocco. *Acta Hort.* 1065: 1757-1766.
- Enciso, J., J. W. Sauls, R. P. Wiedenfeld and S. D. Nelson. 2008. Impacts of Irrigation on Citrus in the Lower Rio Grande Valley (Spanish): 14 p.
- Espada, R. F y G. S. Van Schouwem. 2009. Algunas consideraciones para el manejo de riego en Citricos. *Revista Tierra Adentro*. 21: 66-74.
- Guerra, D. D., Grajales, L. C y Rojas, L. R. 2015. Efecto del riego y la fertilización sobre el rendimiento y la calidad de la fruta de lima ácida Tahití *Citrus latifolia* Tanaka. *Revista Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 16(1): 87-93.
- Holzapfel, E. A., C. Lopez, J. P. Joublan y R. Matta. 2001. Efecto del agua y fertirrigación en el desarrollo y producción de naranjos cv. thompson navel. *Agricultura Técnica*. 61(1): 51-60.
- INEGI 2007-2012. Produccion de limon en Campeche: 29-34 p.
- Maldonado, T R., Almaguer V, G., Álvarez S, M, E y Robledo S, E. 2008. Diagnóstico nutrimental y validación de dosis de fertilización para limón persa. *Terra Latinoamericana*. 26(4): 341-349.
- Pérez-Gutiérrez, A., A. García-Vázquez, J. Tun-Suárez, J. Cristóbal-Alejo, R. Rosado-Lugo y S. Curti-Díaz. 2007. Producción forzada de limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) en Yucatán: 12 p.

- Pérez-Pérez, J., P. Romero, J. Navarro and P. Botía. 2008. Response of sweet orange cv 'Lane late' to deficit-irrigation strategy in two rootstocks. II: Flowering, fruit growth, yield and fruit quality. *Irrigation Science*. 26(6): 519-529.
- Pérez-Pérez, J. G., J. M. Robles, F. García-Sánchez and P. Botía. 2015. Comparison of deficit and saline irrigation strategies to confront water restriction in lemon trees grown in semi-arid regions. *Agricultural Water Manager*. 164: 46-57.
- Rocha-Peña, M. A. y Padrón-Chávez, J. E. 2009. El cultivo de los cítricos en el estado de Nuevo León. Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico. 1: 474 p.
- Rodríguez, N. F. 2008. Evaluación de factores en cosecha y de manejo postcosecha que inciden en la calidad de frutos de limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle). Tesis de maestría Colegios de Postgraduado Montecillo. 43 p.
- SIAP 2015. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.
- Southwick, S. M. and T. L. Davenport. 1986. Characterization of water stress and low temperature effects on flower induction in citrus. *Plant Physiology*. 81(1): 26-29.
- Tejacal, I. A., R. A. Flores, A. L. Alonso, M. A. S. Garcia, E. N. Martínez, G. A. Arias y E. P. Campos. 2009. Tecnología poscosecha en limón persa y naranja valencia en el estado de morelos. Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Inifap. México. Folleto Técnico. (41)32: 36 p.
- Zermeño, G. A., D. Garcia, M.A, M. Castro, B y R. Rodriguez, H. 2007. Tension de humedad del suelo y rendimiento de fruto en limon italiano. *Fitotecnia*. 30(3): 295-3033-76.
- Almaguer-Vargas, G., J. R. Espinoza-Espinoza y J. L. Quirós-García. 2011. Desfasamiento de cosecha de limón persa. *Revista Chapingo Serie horticultura*. 17(3): 197-205.

- Bosquez - Molina, E., J. D. Soberanes, L. P. Flores, S. B. Baños, F. D. de León Sánchez y F. Rivera-Cabrera. 2008. Efecto del acondicionamiento con calor en la susceptibilidad al daño por frío de lima persa (*Citrus latifolia* Tanaka). *Phyton*(Buenos aires). 77: 161-174.
- Curti-Díaz, S. A., Hernández-Guerra, C y Loredo-Salazar, R. X. 2012. Productividad del limón 'Persa' injertado en cuatro portainjertos en una huerta comercial de Veracruz, México. *Revista Chapingo. Serie horticultura*. 18(3): 291-305.
- Conesa Saura, M. D. R., Sánchez, R., Pagán Rubio, E., Corbalán Rodríguez, M. I., García Riquelme, M., Domingo Miguel, R y Pérez Pastor, A. 2011. Estudio de las relaciones hídricas y productividad en mandarino 'Fortune' sometido a riego deficitario controlado. IV Jornadas de introducción a la investigación de la UTP. 4: 51-53.
- Contreras-Morales, E., G. Almager-Vargas, J. R. Espinoza-Espinoza, R. Maldonado-Torres y M. T. C. León. 2008. Nutrición del desfasamiento en limon persa. *Revista Chapingo. Serie horticultura*. 17: 22-55.
- Díaz, L., E. Aguirre, F. Isea y Y. Hernández. 2004. Efecto de la fertilización sobre el rendimiento y la calidad de frutos de lima tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka). *Revista de la Facultad de Agronomía*. 21(4): 285-291.
- El-Otmani, M., S. Bagayogo, A. El-Fadl and M. C. Benismail. 2015. Effect of Regulated Deficit Irrigation on Vegetative Growth, Fruiting, Stomatal Conductance and Water Use Efficiency in 'Nules' Clementine under Arid Conditions of the Souss Valley of Morocco. *Acta Hort*. 1065: 1757-1766.
- Enciso, J., J. W. Sauls, R. P. Wiedenfeld and S. D. Nelson. 2008. Impacts of Irrigation on Citrus in the Lower Rio Grande Valley (Spanish): 14 p.
- Espada, R. F y G. S. Van Schouwem. 2009. Algunas consideraciones para el manejo de riego en Citricos. *Revista Tierra Adentro*. 21: 66-74.

- García-Sánchez, F., I. Simón, V. Lidón, F. J. Manera, S. Simón-Grao, J. G. Pérez-Pérez and V. Gimeno. 2015. Shade screen increases the vegetative growth but not the production in 'Fino 49'lemon trees grafted on *Citrus macrophylla* and *Citrus aurantium* L. *Scientia Horticulturae*. 194: 175-180.
- Guerra, D. D., Grajales, L. C y Rojas, L. R. 2015. Efecto del riego y la fertilización sobre el rendimiento y la calidad de la fruta de lima ácida Tahití *Citrus latifolia* Tanaka. *Revista Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 16(1): 87-93.
- Holzapfel, E. A., C. Lopez, J. P. Joublan y R. Matta. 2001. Efecto del agua y fertirrigación en el desarrollo y producción de naranjos cv. thompson navel. *Agricultura Técnica*. 61(1): 51-60.
- INEGI 2007-2012. Produccion de limon en Campeche: 29-34 p.
- Maldonado, T R., Almaguer V, G., Álvarez S, M, E y Robledo S, E. 2008. Diagnóstico nutrimental y validación de dosis de fertilización para limón persa. *Terra Latinoamericana*. 26(4): 341-349.
- Pérez-Gutiérrez, A., A. García-Vázquez, J. Tun-Suárez, J. Cristóbal-Alejo, R. Rosado-Lugo y S. Curti-Díaz. 2007. Producción forzada de limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) en Yucatán: 12 p.
- Pérez-Pérez, J., P. Romero, J. Navarro and P. Botía. 2008. Response of sweet orange cv 'Lane late'to deficit-irrigation strategy in two rootstocks. II: Flowering, fruit growth, yield and fruit quality. *Irrigation Science*. 26(6): 519-529.
- Pérez-Pérez, J. G., J. M. Robles, F. García-Sánchez and P. Botía. 2015. Comparison of deficit and saline irrigation strategies to confront water restriction in lemon trees grown in semi-arid regions. *Agricultural Water Manager*. 164: 46-57.
- Rocha-Peña, M. A. y Padrón-Chávez, J. E. 2009. El cultivo de los cítricos en el estado de Nuevo León. Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico. 1: 474 p.

- Rodríguez, N. F. 2008. Evaluación de factores en cosecha y de manejo postcosecha que inciden en la calidad de frutos de limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle). Tesis de maestría Colegios de Postgraduado Montecillo. 43 p.
- SIAP 2015.http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.
- Southwick, S. M. and T. L. Davenport. 1986. Characterization of water stress and low temperature effects on flower induction in citrus. *Plant Physiology*. 81(1): 26-29.
- Tejacal, I. A., R. A. Flores, A. L. Alonso, M. A. S. Garcia, E. N. Martínez, G. A. Arias y E. P. Campos. 2009. Tecnología poscosecha en limón persa y naranja valencia en el estado de morelos. Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Inifap. México. Folleto Técnico. (41)32: 36 p.
- Zermeño, G. A., D. Garcia, M,A, M. Castro, B y R. Rodriguez, H. 2007. Tension de humedad del suelo y rendimiento de fruto en limon italiano. *Fitotecnia*. 30(3): 295-303.

CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y CONCLUSIONES GENERALES

La **hipótesis general** indica que: El adelanto de floración, la producción y calidad de limón persa en altas densidades de plantación, son afectadas por las aplicaciones de riego y la fertilización en la región centro del estado Campeche. De acuerdo a los resultados obtenidos se acepta la hipótesis general, por lo tanto, se comprueba que hubo un efecto de los diferentes tratamientos de riego y fertilización en la producción de limón persa.

Hipótesis específica uno: La floración adelantada y producción de limón persa en altas densidades de plantación, dependen del efecto del riego y la fertilización en el estado de Campeche. Con base en los resultados obtenidos se acepta la hipótesis, ya que se encontró que el riego y la fertilización son factores que determinan la respuesta en la floración y producción de limón persa.

Hipótesis específica dos: Las características físicas y químicas del fruto limón persa en altas densidades de plantación, dependen de las aplicaciones de riego y la fertilización en el estado de Campeche. De acuerdo con los resultados obtenidos se acepta esta hipótesis, ya que se encontraron diferencias significativas en los efectos de los tratamientos de riego y fertilización sobre la calidad de fruto de limón persa.

Por lo anterior, se recomienda continuar con las evaluaciones de los tratamientos de riego y fertilización por lo menos tres años para poder sugerir los niveles más óptimos en la fase de floración, producción y calidad de limón persa en altas densidades de plantación.

ANEXOS

ANEXOS 1. Cuadro A1 y A2.

Cuadro A1. Análisis de varianza en la brotación mixta

<u>Tests de tipo 3 de efectos fijos</u>				
Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
fert	4	36	1.51	0.2201
tens	2	6	1.80	0.2441
fert*tens	8	36	3.30	0.0063

Cuadro A2. Análisis de varianza en la brotación vegetativa

<u>Tests de tipo 3 de efectos fijos</u>				
Efecto	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
fert	4	36	2.80	0.0400
tens	2	6	13.63	0.0059
fert*tens	8	36	2.97	0.0116

ANEXOS 2. Imágenes del cultivo de limón persa en altas densidades de plantación en el campo experimental de Sihochac del Campus Campeche en el año 2015.



ANEXOS 3. Imágenes de producción y muestras de limón persa.



ANEXOS 4. Imágenes del peso de fruto y extracción de jugo de limón persa.



ANEXOS 5. Imágenes del pesado de jugo y medición de pH.



ANEXOS 6. Imágenes de lectura de SST y de Acidez.

