

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS



**PRODUCTIVIDAD, ALTERNANCIA Y CALIDAD EN NOGAL
PECANERO, COMO RESPUESTA A NUTRICIÓN MINERAL Y
ORGÁNICA**

TESIS

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DOCTOR EN CIENCIAS HORTOFRUTÍCOLAS**

PRESENTA

LINDA CITLALLI NOPERI MOSQUEDA

CHIHUAHUA, CHIH., SEPTIEMBRE DE 2019

TÍTULO DE LA TESIS:

**PRODUCTIVIDAD, ALTERNANCIA Y CALIDAD EN NOGAL
PECANERO, COMO RESPUESTA A NUTRICIÓN MINERAL Y
ORGÁNICA**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN HORTOFRUTÍCOLA

DISCIPLINA

FISIOLOGÍA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

Los que suscriben, certifican que han leído y recomiendan a la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas la aceptación de la tesis de Doctorado titulada: **“PRODUCTIVIDAD, ALTERNANCIA Y CALIDAD EN NOGAL PECANERO, COMO RESPUESTA A NUTRICIÓN MINERAL Y ORGÁNICA”**

Realizada por: **LINDA CITLALLI NOPERI MOSQUEDA**

Como cumplimiento parcial de los requerimientos para obtener el grado de **DOCTOR EN CIENCIAS**

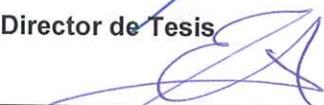
Ratifican que las firmas son verdaderas:



Dr. Damian Aaron Porras Flores
Director
Facultad de Ciencias Agrotecnológicas



D.Ph. Juan Manuel Soto Parra
Director de Tesis



Dr. Esteban Sánchez Chávez
Codirector



M.C. Ramón Saúl Luján Aguirre
Secretario de Investigación y Posgrado
Facultad de Ciencias Agrotecnológicas



Dra. María Antonia Flores Córdova
Asesor



Dra. Ramona Pérez Leal
Asesor



Dra. Nora Aideé Salas Salazar
Asesor



Fecha



Dra. Rosa María Yáñez Muñoz
Asesor

Cd. Universitaria, s/n Campus 1
Chihuahua, Chih., México C. P. 31310
Tel. y Fax (614) 4391844 y 4391845
www.faciatec.uach.mx



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

The undersigned certify that they have read, and recommend to the Agrotechnological Sciences Department for acceptance, a Doctor's thesis entitled: **"YIELD, ALTERNATION AND QUALITY IN PECANERO NOGAL, AS A RESPONSE TO MINERAL AND ORGANIC NUTRITION"**

Submitted by: **LINDA CITLALLI NOPERI MOSQUEDA**

In partial fulfillment of the requirements for the degree of **DOCTOR OF SCIENCE**

Ratify that signatures are real:

Dr. Damian Aaron Porras Flores
Department Chair
Agrotechnological Sciences Department

D.Ph. Juan Manuel Soto Parra
Major-professor

Dr. Esteban Sánchez Chávez
Co-director

M.C. Ramon Saúl Luján Aguirre
Chairman of Research and Graduate
Studies
Agrotechnological Sciences Department

Dra. María Antonia Flores Córdova
Advisor

Dra. Ramona Pérez Leal
Advisor

Dra. Nora Aideé Salas Salazar
Advisor

Date

24 Septiembre 2019

Dra. Rosa María Yáñez Muñoz
Advisor

Cd. Universitaria, s/n Campus 1
Chihuahua, Chih., México C. P. 31310
Tel. y Fax (614) 4391844 y 4391845
www.faciatec.uach.mx



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

Los que suscriben, miembros del **Cuerpo Académico UACH-CA-11 "FRUTALES DE CLIMA TEMPLADO"**, han fungido como parte integral en la asesoría de **LINDA CITLALLI NOPERI MOSQUEDA** durante el desarrollo y conclusión del trabajo de Investigación: **"PRODUCTIVIDAD, ALTERNANCIA Y CALIDAD EN NOGAL PECANERO, COMO RESPUESTA A NUTRICIÓN MINERAL Y ORGÁNICA"**

D.Ph. Juan Manuel Soto Parra
Integrante

Dra. Ramona Pérez Leal
Líder

Dra. María Antonia Flores Córdova
Colaborador

Fecha 24 Septiembre 2019

Dra. Rosa María Yáñez Muñoz
Colaborador

Cd. Universitaria
Chihuahua, Chih., México C. P. 31310
Tel. y Fax (614) 4391844 y 4391845
www.faciatec.uach.mx



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

Los que suscriben, miembros del Cuerpo Académico UACH-CA-114 "MICROBIOLOGÍA APLICADA Y PARASITOLOGÍA EN HORTICULTURA", han fungido como parte integral en la asesoría de LINDA CITLALLI NOPERI MOSQUEDA durante el desarrollo y conclusión del trabajo de Investigación: "PRODUCTIVIDAD, ALTERNANCIA Y CALIDAD EN NOGAL PECANERO, COMO RESPUESTA A NUTRICIÓN MINERAL Y ORGÁNICA"

Dra. Nora Aideé Salas Salazar

Integrante

24 Septiembre 2019

Fecha

Cd. Universitaria
Chihuahua, Chih., México C. P. 31310
Tel. y Fax (614) 4391844 y 4391845
www.faciatec.uach.mx



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

Los que suscriben, miembros del **Grupo de investigación “FISIOLOGÍA Y NUTRICIÓN VEGETAL”**, han fungido como parte integral en la asesoría de **LINDA CITLALLI NOPERI MOSQUEDA** durante el desarrollo y conclusión del trabajo de Investigación: **“PRODUCTIVIDAD, ALTERNANCIA Y CALIDAD EN NOGAL PECANERO, COMO RESPUESTA A NUTRICIÓN MINERAL Y ORGÁNICA”**



Dr. Esteban Sánchez Chávez

Líder

24 Septiembre 2019

Fecha

Cd. Universitaria
Chihuahua, Chih., México C. P. 31310
Tel. y Fax (614) 4391844 y 4391845
www.faciatec.uach.mx

AGRADECIMIENTOS

Y de pronto paso el tiempo, ha sido un periodo de mucho aprendizaje, definitivamente nada de esto hubiera sido posible sin el apoyo de ustedes y por eso hoy les doy las gracias

A Dios por la vida y por nunca permitirme perder la Fe.

A mi director de tesis el D.Ph. Juan Manuel Soto Parra, gracias por darme la oportunidad de aprender, por compartir su conocimiento y por exigirme más de lo que yo misma llegue a pensar que podía dar, ahora entiendo que cada una de sus exigencias estaban fundamentadas en el propósito de mi crecimiento. Gracias por contagiarme de ese entusiasmo para hacer las cosas, definitivamente pocas personas pueden trabajar como usted lo hace.

A mi codirector el Dr. Esteban Sánchez Chávez, gracias por guiarme en este camino de aprendizaje con paciencia, la cual es el reflejo de la dedicación y el compromiso por compartir sus conocimientos, es un orgullo poder decir que usted fue parte de mi formación.

A la Dra. María Antonia Flores Córdoba por compartir su conocimiento, por tenerme la paciencia para enseñarme cada una de las metodologías, por alentarme a seguir y por sus consejos.

A la Dra. Ramona Pérez Leal, por ayudarme a descubrir que la investigación es una de mis más grandes pasiones. Gracias por que desde hace más de 10 años dejo de ser solo mi maestra, convirtiéndose en mi consejera. Gracias por la confianza y sinceridad con la que siempre me ha hablado, por siempre estar para mí y por alentarme cuando sentía que ya no podía, gracias Dra. Ramona por ser uno de mis ejemplos a seguir.

A la Dra. Nora Aideé Salas Salazar gracias por su apoyo para realizar mi investigación, por compartir su conocimiento conmigo y por apoyarme cuando lo necesite.

A la Dra. Rosa María Yáñez por lo momentos que he pasado en el laboratorio en los cuales me he sentido como en casa, por tu apoyo, por tus consejos, pero sobre todo gracias por tu amistad.

Al Dr. Francisco Javier Piña Ramírez, por su amistad, por su motivación y su apoyo durante este tiempo.

Al D.Ph. Moisés Basurto por ser el primero en confiar en mí para realizar una investigación, por siempre estar pendiente de mí no solo como alumna, también como amiga.

A la M.C. Liliana Santana por todo tu apoyo, gracias por guiarme en el laboratorio, sé que tengo una gran amiga en ti y que nos quedan muchas cosas por compartir.

A la Dra. Angelica Acevedo y al Dr. J. Baldemar Flores, por su disposición a ayudarme siempre.

A la M.C. Roció Sánchez, gracias por ser mi compañera en esta aventura definitivamente no fue fácil pero con tu apoyo la carga fue menor, gracias por escucharme, por tus palabras de aliento y por siempre estar dispuesta a ayudarme.

A mi familia, mi esposo y mis amigos por ser el soporte de mi vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca No. 613741 otorgada para la realización de este doctorado.

A la empresa Yeso Industrial de Navojoa S.A. de C.V. por su apoyo para la realización de esta investigación, especialmente para el Lic. Humberto Schwarzbeck.

A la empresa Optihumus por su apoyo para esta investigación, especialmente para el Ing. Rafael Quevedo Fernández.

A la familia Yapor Delgado por todas las facilidades brindadas en el huerto el Eden, donde se realizó esta investigación.

DEDICATORIA

Si deseas ardientemente investigar, hazlo por todo los medios. Nada debería interponerse al deseo intenso de dedicar la vida a la Ciencia. Adquiere el aprendizaje preciso y por todos los medios hazlo. Difícilmente alguna otra cosa te dará tanta satisfacción y, sobre todo, tal sentido de logro” Severo Ochoa.

A mi madre por ser mi más grande ejemplo de lucha, de nobleza y de amor, porque definitivamente cumpliste tu promesa de apoyarme siempre hasta que yo quisiera estudiar y créeme mamá que sin tu apoyo yo no estaría aquí.

A mi padre por cada uno de tus sacrificios porque a pesar de la distancia siempre has estado presente, por tus sabios consejos y todo tu amor.

A mi hermano por ser mi protector, por guiarme y alentarme a seguir adelante luchando por nuestros sueños.

A mi hermana por ser mi compañera de vida, mi confidente, siempre mostrándome un gesto de amor.

A mi esposo por ese apoyo incondicional, por elegirnos día a día y por hacer de mis sueños nuestros sueños.

A ti Erick por ser uno de mis principales motivos para crecer y poder ser un ejemplo.

A mis sobrinos por recordarme que la inocencia es un regalo que debemos de conservar.

A mi tía Angela Mosqueda Quezada por motivarme a seguir preparándome profesionalmente y por ser un gran ejemplo del amor y la dedicación al trabajo.

A mis amigas y amigos por la comprensión con la que afrontaron mis ausencias, por siempre apoyarme y por siempre tener una palabra de aliento para mí.

A todos ustedes les dedico este trabajo porque fueron el motivo por el cual día a día trabaje.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURA	viii
RESUMEN	ix
ABSTRAC	x
I INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	2
Objetivo específico.....	2
Hipótesis	2
II REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Generalidades del nogal	3
2.2 Importancia de la nuez pecanera	4
2.3 Fertilización del nogal pacanero.....	4
2.3.1 Nitrógeno	5
2.3.2 Fósforo.....	7
2.3.3 Potasio.....	8
2.3.4 Calcio.....	8
2.3.5 Magnesio	9
2.3.6 Sodio.....	10
2.3.7 Hierro	10
2.3.8 Manganeso	11
2.3.9 Zinc.....	12
2.3.10 Cobre	13
2.3.11 Enmiendas orgánicas	13
2.4 Alternancia en el nogal pecanero.....	15
2.5 Aporte nutricional de la nuez.....	17

2.5.1 Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en la parte comestible de la nuez	18
2.6 Retos y oportunidades de la nuez pecanera	22
2.7 Diagnóstico Diferencial Integrado (DDI)	23
III MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1 Área experimental	29
3.2 Arreglo Factorial.....	30
3.3 Recolección de las muestras de nuez.....	31
3.4 Componentes de Rendimiento.....	32
3.4.1 Producción.....	32
3.4.2 Número de nueces por kilogramo	32
3.4.3 Porcentaje de nuez comestible	32
3.5 Índice de alternancia	32
3.6 Índice de productividad a largo plazo.....	33
3.7 Desgrasado de la parte comestible de la nuez	33
3.8 Determinación de compuestos bioactivos	33
3.8.1 Fenoles totales.....	33
3.8.2 Capacidad antioxidante DPPH.....	34
3.8.3 Taninos	35
3.9 Determinación de micro y macroelementos en la harina de la parte comestible y cáscara de nuez.....	35
3.9.1 Mineralización.....	35
3.9.2 Determinación de Cu, Fe, Mn, Zn y Na.....	36
3.9.3 Determinación de Ca, Mg, K.....	36
3.9.4 Determinación de Fósforo.....	36
3.9.5 Nitrógeno total.....	37
3.9.6 Nitratos	38
3.10 Generación de estándares nutricionales en la parte comestible y cáscara de la nuez.	39
3.11 Análisis estadístico.....	41
3.11.1 Superficie respuesta	41
3.11.2 Ponderación de los factores	45
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46

4.1 Componentes de Rendimiento.....	46
4.1.1 Producción.....	48
4.1.2 Número de nueces por kilogramo	50
4.1.3 Porcentaje de nuez comestible	51
4.2 Índice de alternancia	52
4.3 Índice de productividad a largo plazo	53
4.4 Compuestos bioactivos en la parte comestible de la nuez.....	56
4.4.1 Fenoles totales.....	56
4.4.2 Taninos	60
4.4.3 Capacidad antioxidante DPPH.....	61
4.5 Contenido mineral en la parte comestible de la nuez.....	62
4.5.1 Macronutrientes en la parte comestible y cáscara de la nuez	62
4.5.2 Micronutrientes en la parte comestible de la nuez	71
4.7 Generación de estándares nutricionales en la parte comestible y cáscara de la nuez.	80
V CONCLUSIONES	82
VI LITERATURA CITADA.....	83

ÍNDICE DE CUADROS

Número de Cuadro	Título	Página
Cuadro 1	Contenido nutricional de la nuez	18
Cuadro 2	Valores DDI para determinar la naturaleza nutricional o fisiológica en tejido vegetal	27
Cuadro 3	Categoría de clasificación para determinar la naturaleza de los desbalances nutricionales o fisiológicos en función de los valores DDI	27
Cuadro 4	Factores y niveles de aplicación estructura Taguchi L25	30
Cuadro 5	Tratamientos formados en estructura Taguchi L25	31
Cuadro 6	Criterios para determinar si la solución es máxima o mínima	44
Cuadro 7	Superficie de respuesta máxima ^U del análisis conjunto para producción en nogal 'Western Schley' tratado con macronutrientes y materia orgánica. 2016-2018	47
Cuadro 8	Resumen componentes de rendimiento en el cultivo del nogal pecanero 'Western Schely' tratado con macronutrientes y materia orgánica. 2016 – 2018	49
Cuadro 9	Resumen de compuestos bioactivos en la parte comestible de la nuez de nogal pecanero 'Western Schely' tratado con macronutrientes y materia orgánica. 2016 – 2018	58
Cuadro 10	Resumen para macronutrientes en la parte comestible de la nuez de nogal pecanero 'Western Schely' tratados con macronutrientes y materia orgánica. 2016 - 2018	63
Cuadro 11	Resumen para macronutrientes en la cáscara de la nuez de nogal pecanero 'Western Schely' tratados con macronutrientes y materia orgánica. 2016 - 2018	64
Cuadro 12	Resumen para micronutrientes en la parte comestible de la nuez de nogal pecanero 'Western Schely' tratados con macronutrientes y materia orgánica. 2016 - 2018	72
Cuadro 13	Resumen para micronutrientes en cáscara de nuez 'Western Schely' tratado con macronutrientes y materia orgánica. 2016 - 2018	73
Cuadro 14	Metaresumen para las categorías analizadas	79
Cuadro 15	Estándares nutricionales en la parte comestible de la nuez	81
Cuadro 16	Estándares nutricionales en la cáscara de la nuez	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Número Figura	Título	Página
Figura 1	Ruta de síntesis de compuestos fenólicos	20
Figura 2	Procesos para incrementar la rentabilidad del cultivo del nogal pecanero	23
Figura 3	Diagrama para la determinación del Rango Sugerido de interpretación (RSI) y diagnosticar desbalances nutricionales (SN) y/o fisiológicos (SF)	28
Figura 4	Gráficas para los componentes de rendimiento durante los ciclos 2016, 2017, 2018	50
Figura 5	Tipo de respuesta en componentes de rendimiento.	54
Figura 6	Interacciones entres factores en los componentes de rendimientos	55
Figura 7	Tipo de respuesta en la concentración de compuestos bioactivos en la parte comestible de la nuez.	59
Figura 8	Interacciones entres factores en la concentración de compuestos bioactivos.	60
Figura 9	Tipo de respuesta en contenido de minerales	68
Figura 10	Interacciones entres factores en el contenido de minerales.	69
Figura 11	Interacciones entres factores en el contenido de minerales.	77

RESUMEN

La nuez pecanera se produce en 57 países, la alternancia es considerada como uno de los principales problemas biológicos que afecta al cultivo del nogal pecanero. La nuez fue clasificada entre los alimentos saludables para el consumo humano. Esta investigación se realizó en el municipio de Aldama, Chihuahua durante los ciclos 2016, 2017, 2018, se probaron dosis de fertilización mineral y orgánica, en un experimento factorial 5⁶ acotado a 25 tratamientos mediante un arreglo Taguchi L25, los factores y niveles fueron Nitrógeno (N) 0, 12, 60, 120, 240 kg ha⁻¹, fósforo (P₂O₅) 0, 6, 30, 60, 120 kg ha⁻¹, potasio (K₂O) 0, 5, 25, 50, 100 kg ha⁻¹, calcio (CaO) 0, 20, 100, 200, 400 kg ha⁻¹, humus líquido 0, 180, 900, 1800, 3600 L ha⁻¹ y humus sólido 0, 400, 2000, 4000, 8000 kg ha⁻¹, el análisis estadístico fue por superficie de respuesta y ponderación de factores para dosis recomendada. Se obtuvo un rendimiento de 2.39 t ha⁻¹, 157 nueces por kilogramo y 58.9% de la parte comestible de la nuez, la media para el índice de alternancia fue de 31.58%, mientras que el índice de productividad a largo plazo fue de 9.59%. La fertilización mineral y orgánica contribuye en el aumento de la concentración de compuestos bioactivos en la parte comestible de la nuez; en ésta se encontró un mayor contenido de minerales que en la cáscara. Las dosis recomendadas fueron: N 181.4 .0 kg ha⁻¹, P₂O₅ 113.0 kg ha⁻¹, K₂O 74.7 kg ha⁻¹, CaO 225.5 kg ha⁻¹ y humus líquido 3485.2 L ha⁻¹.

(Palabras clave: *Carya illinoienensis* (Wangenh.) K. Koch; superficie respuesta, índice de alternancia; compuestos bioactivos; estándares nutricionales).

ABSTRACT

Pecan nut is produced in 57 countries, alternation bearing is one of the main biological problems that affect the cultivation pecan cultivation. The nut was classified among healthy foods for human consumption. This research was carried out in the municipality of Aldama, Chihuahua during the 2016, 2017, 2018 cycles, doses of fertilization were tested in a factorial experiment 5^6 bounded to 25 treatments through a Taguchi L25 arrangement , the factors and levels were Nitrogen (N) 0, 12, 60, 120, 240 kg ha⁻¹, phosphorus (P₂O₅) 0, 6, 30, 60, 120 kg ha⁻¹, potassium (K₂O) 0, 5, 25, 50, 100 kg ha⁻¹, calcium (CaO) 0, 20, 100, 200, 400 kg ha⁻¹, liquid humus 0, 180, 900, 1800, 3600 L ha⁻¹ and solid humus 0, 400, 2000, 4000, 8000 kg ha⁻¹, the statistical analysis was by response surface and factor weighting for recommended dose. A yield of 2.39 t ha⁻¹, 157 nuts per kilogram and 58.9% of the edible part of the nut was obtained, the means for the alternate bearing intensity was 31.58%, while the long-term productivity index was 9.59%. Mineral and organic fertilization systems contributes to increasing the concentration of total phenols, tannins and antioxidant capacity in the edible part of the nut. In the edible part of the nut there is a higher mineral bioactive compounds than in the shell. The recommended doses for optimal results were: for N 181.4 .0 kg ha⁻¹, for P₂O₅ 113.0 kg ha⁻¹, for K₂O 74.7 kg ha⁻¹, for CaO 225.5 kg ha⁻¹ and for liquid humus 3485.2 L ha⁻¹.

(Keywords: *Carya illinoienensis* (Wangenh.) K. Koch; alternate bearing intensity; bioactive compounds; response surface; nutritional standards).

I INTRODUCCIÓN

La nuez pecanera [*Carya illinoienensis* (Wangenh.) K. Koch], es considerada uno de los frutos secos de mayor importancia a nivel mundial (Zhang *et al.*, 2015). Actualmente se produce en 57 países a nivel mundial, México ocupa el 5° lugar a en producción de nuez pecanera y el 67% de la producción nacional se produce en el estado de Chihuahua (FAO 2018; SAGARPA 2018).

La alternancia es uno de los principales problemas biológicos que impacta en la producción del nogal pecanero. La alternancia es una condición que afecta a algunos frutales, la cual consiste en la variación de la producción, presentándose una elevada producción (año “ON”) y al siguiente año una baja producción (año “OFF”), repitiéndose este patrón año con año (Wood *et al.*, 2003). Las prácticas hortícolas mejoradas han reducido la severidad de la alternancia en el nogal pecanero, dentro de estas prácticas se encuentra la fertilización debido a que tiene un impacto directo en la calidad y rendimiento de cosecha (Conner y Worley, 2000; Ojeda-Barrios *et al.*, 2016).

Por otra parte estudios recientes, han clasificado a la nuez pecanera como uno de los alimentos beneficiosos para la salud humana, debido a que su consumo puede disminuir el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Domínguez-Avila *et al.*, 2015). A su vez, la nuez pecanera ha sido clasificada entre los alimentos con alto contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante (Flores-Córdova *et al.*, 2016). Se ha demostrado que los compuestos fenólicos pueden ayudar a reducir la incidencia de enfermedades crónicas (Atanosov *et al.*, 2017). Dentro de los factores que impactan la concentración de los compuestos fenólicos en la nuez se encuentran, la variedad, la madurez de la nuez, las condiciones ambientales, así como el manejo de la fertilización e inclusive la composición del suelo influyen en el contenido de estos compuestos bioactivos (Villarreal-Lozoya *et al.*, 2007).

Por lo cual, el balance nutricional en el nogal pecanero es un desafío importante al que se enfrenta el productor, debido al impacto que tiene en la producción y calidad (Aguilar *et al.*, 2003; Ojeda-Barrios *et al.*, 2016). La fertilización mineral en el suelo

es la estrategia más utilizada para mejorar la producción y la calidad de los cultivos, sin embargo este tipo de fertilización a largo plazo no es el más efectivo para mantener la fertilidad y el equilibrio del suelo, actualmente se prefiere la fertilización orgánica con bajo aporte químico (Cucci *et al.*, 2019).

Es por esto que en esta investigación se buscó un sistema de fertilización mineral y orgánica que mantenga e incremente la producción sin perder de vista la calidad de la nuez.

Objetivo general

Determinar el impacto de la nutrición mineral y orgánica en los componentes de rendimiento en nogal pecanero y en los compuestos bioactivos de la parte comestible de la nuez.

Objetivo específico

Generar conocimiento para aumentar umbral de producción y calidad en el nogal pecanero.

Disminución de índice de alternancia y mejora del índice de productividad a largo plazo.

Determinar el impacto de la nutrición mineral y orgánica en el contenido de compuestos bioactivos en la parte comestible de la nuez.

Determinar el contenido de minerales en la parte comestible y la cáscara de la nuez.

Generar estándares nutricionales en la parte comestible y la cáscara de la nuez.

Hipótesis

La nutrición mineral y orgánica tendrá efectos en los componentes de rendimiento en nogal pecanero y en los compuestos bioactivos de la parte comestible de la nuez.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades del nogal

El género *Carya*, pertenece a la familia Juglandaceae, comprende más de 20 especies, de las cuales trece son nativas de Estados Unidos de América (USA), y siete son cultivadas por sus nueces, siendo el nogal pecanero [*Carya illinoensis* Wangenh.) K. Koch] el único con importancia económica a nivel mundial. El Nogal pecanero es una especie perenne altamente valorada por sus nueces pecaneras. Las nueces pecaneras son parte de la dieta de un gran número de aves, zorros, ardillas, tlacuaches, pecaríes y mapaches, al igual que de los humanos quienes vienen aprovechándolas por su valor nutricional desde hace más de 10,000 años, motivo que ha favorecido su dispersión geográfica en su región de origen. La evidencia arqueológica más antigua de su recolección por parte de los humanos para subsistencia data de 8,000 años AC durante el periodo arcaico de América, en el asentamiento Modoc Rock, actual estado de Illinois USA (latitud 38° Norte), correspondiente al límite más norte de su distribución geográfica. La distribución geográfica actual de la especie *Carya* sobrepasa los antecedentes históricos al extenderse desde el estado de Carolina del Sur hasta California en USA, y desde el estado de Missouri en USA a Oaxaca en México, latitud 38° a 17° Norte respectivamente (Reyes y Urrea, 2016).

El Nogal pecanero es un árbol que puede superar los 30 metros de altura, vigoroso y longevo, inicia su producción de los 6 a los 10 años de edad y continúa produciendo comercialmente durante más de 50 años, comprende plantas arbóreas que producen una drupa, la cual durante la fase de maduración el pericarpio y el mesocarpio se secan, dejando libre el endocarpio (cáscara) y la semilla (almendra) los cuales son considerados una nuez. Las nueces compuestas por el endocarpio y la semilla normalmente miden de 2 a 6 centímetros (cm) de largo y pesan de 4 a 12 gramos (gr) cada una (Retes *et al.*, 2014), además la nuez pecanera ha sido clasificada dentro de los alimentos con un alto contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante, con lo cual es considerado como un alimento saludable para el ser humano (Villarreal-Lozoya *et al.*, 2007; Flores-Córdova *et al.*, 2016).

2.2 Importancia de la nuez pecanera

La producción mundial de nuez pecanera reportada en el 2017 fue de 3.5 millones de toneladas, siendo el principal productor USA seguido por China con una producción de 1, 602, 373 toneladas de nuez. México ocupa el 5 lugar en producción de nuez pecanera con una producción de 125, 758 toneladas (SAGARPA 2017, 2018). El 60% de la nuez que se produce en México se exporta a 16 países, los principales clientes son Estados Unidos, Vietnam y Hong Kong, estas exportaciones generan ingresos por más de 666 millones de dólares (SAGARPA, 2017), debido a esta demanda, se ha experimentado un crecimiento acelerado al casi triplicar el área sembrada en los últimos 30 años, los estados con mayor incremento en el área sembrada han sido Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango y Nuevo León (Reyes y Urrea, 2016).

Los principales estados productores de nuez pecanera son Chihuahua, Sonora y Coahuila, siendo el estado de Chihuahua el principal productor con 92, 939 toneladas las cuales representan un 64.7% de la producción nacional con una derrama económica de 7 450 millones de pesos (SAGARPA 2017, 2018).

Dentro del estado de Chihuahua se reporta que Jiménez es el principal municipio productor de nuez ya que cuenta con una producción de 16,024 toneladas, seguido de Camargo con 10,452 y en tercer lugar se encuentra el municipio de Aldama 4,337 toneladas. Aldama cuenta con una superficie sembrada de 4,100 hectáreas y con un rendimiento promedio de 1.83 ton ha^{-1} (SAGARPA, 2016).

2.3 Fertilización del nogal pacanero

Además del oxígeno, el dióxido de carbono y el agua, las plantas requieren al menos 14 elementos minerales para una nutrición adecuada, la deficiencia en cualquiera de estos elementos minerales reduce el crecimiento de la planta y el rendimiento de los cultivos (White y Brown, 2010).

Los nutrientes de las plantas son elementos químicos que son esenciales para el desarrollo y reproducción de las plantas. Para que un elemento sea considerado nutriente deben darse los siguientes casos: que su presencia sea necesaria para completar el ciclo de vida de la planta, que ningún otro elemento pueda sustituirlo

por completo y que además todas las plantas requieran de este elemento (Reuter y Robinson, 1997).

Los siguientes elementos pueden ser definidos como macronutrientes: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Sodio (Na) y como microelementos el Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Molibdeno (Mo), Boro (B), Cloro (Cl) y Níquel (Ni).

Las huertas de nogal deben mantenerse en un estado óptimo de producción, además se debe buscar reducir los costos de producción, para asegurar la rentabilidad.

2.3.1 Nitrógeno

El N es el nutriente más demandado por las plantas y se convierte en un factor limitante para desarrollo y producción (Yáñez-Muñoz *et al.*, 2015). Esto es debido a que el N se encuentra formando moléculas esenciales como clorofila, RNA, DNA, además es constituyente de los aminoácidos precursores de las proteínas (Yáñez *et al.*, 2010).

El N se encuentra en forma gaseosa en la atmósfera constituyendo el 78% de los componentes del aire, su molécula está formada por dos átomos de N, debido a que el N se encuentra en forma elemental en la atmósfera, es inherente y no puede ser utilizado directamente por las plantas. Las plantas pueden absorber N de 2 formas iónicas básicas: nitratos (NO_3) y amonio (NH_4), aunque es posible que también puedan absorber el N como compuestos orgánicos (Yáñez *et al.*, 2010). La absorción de NO_3 es el principal factor que determina su posterior asimilación e integración en el metabolismo nitrogenado. La mayoría de las plantas muestran un sistema bifásico para la absorción de NO_3 , definido como de alta y baja afinidad a la absorción de este anión, ambos sistemas de absorción requieren energía, incluso cuando la concentración externa de NO_3 está en un rango bajo (Sánchez *et al.*, 2006)

La dinámica del N en la relación suelo-planta es la más compleja de los nutrientes esenciales, debido a que es dependiente de condiciones ecológicas como temperatura, humedad, pH, relación carbono-nitrógeno (C/N), contenido de materia orgánica y la actividad microbiana (Uvalle, 2000). El porcentaje de aprovechamiento del N aplicado raramente supera el 50% (Figueroa *et al.*, 2002) sin embargo, en cultivos de sistema radicular profundo como el nogal pecanero son más eficientes para aprovechar el N y se pueden conseguir eficiencias de 60 al 80% (Castellanos *et al.*, 2000).

Para una adecuada fertilización de N en nogal pecanero, es indispensable el conocimiento de las etapas críticas en el cultivo, debido a que la fertilizaciones de N deben estar en función de la etapa de desarrollo del cultivo, reservas del suelo y efecto residual en años sucesivos (Yáñez-Muñoz *et al.*, 2015). Una ventaja de la fertilización fraccionada con base en las etapas críticas del cultivo, es que según se monitoree la producción del año, se pueda aumentar o disminuir las aplicaciones de N lo que puede dar pauta para contrarrestar la intensidad de la alternancia y de manera concurrente a mejorar la calidad de la nuez (Soto *et al.*, 2012). Por tanto se recomienda que la aplicación del N en el nogal pecanero comience en marzo antes de primer riego o antes de brotación y en la etapa de desarrollo de fruto hacer otra aplicación de N, por último se recomienda no hacer aplicaciones después de junio pues provocaría un posible daño por heladas tempranas (Yáñez *et al.*, 2010). Se ha demostrado que existe una relación significativa entre la producción y los niveles de N, obteniéndose un efecto lineal y cuadrático de este factor sobre la producción, la cual tuvo una tendencia creciente a medida que la dosis de N fue mayor, hasta alcanzar una producción máxima estimada de 3.20 t ha⁻¹ (Yáñez *et al.*, 2011). El N es el macronutriente más fácil de volverse deficiente debido a su fácil lixiviación bajo condiciones de riego, el principal síntoma de deficiencia es una clorosis general, especialmente en las hojas más antiguas (Yáñez *et al.*, 2010), además se disminuye el tamaño de los frutos (Uvalle-Bueno, 2000). Por otro lado el exceso de N provoca mucho crecimiento vegetativo lo cual puede afectar la calidad, sobre todo por la germinación de las nueces (Sparks, 1994).

2.3.2 Fósforo

El P en la planta, se encuentra en la formación de nucleoproteínas, ácidos nucleicos y fosfolípidos, influye en la división celular, la respiración, la fotosíntesis, síntesis de azúcares, grasas y proteínas, en la acumulación de energía como parte del ATP y NADPH en los procesos de fosforilación. El P se encuentra en el suelo en formas orgánicas e inorgánicas, el P inorgánico del suelo se encuentra en tres formas; a) como constituyente de minerales fosfatados, b) adsorbidos a la fracción mineral u orgánica del suelo y c) en solución (Aguilar *et al.*, 2003). El pH va a determinar la disponibilidad de P (fosfatos) asimilables por la planta. Gran parte del fosfato se convierte en forma orgánica al entrar en la raíz o después de ser transportado por el xilema hasta el tallo y las hojas. El P nunca es reducido en las plantas, por ello permanece en forma de fosfato (Yáñez *et al.*, 2010).

La importancia del P en la agricultura es sólo superada por el N en cuanto a las dosis que se utilizan, así como en la frecuencia y magnitud de deficiencia que se presentan en las plantas. Las plantas que tienen deficiencia de P presentan enanismo y a diferencia de las que carecen de N, a menudo tienen un color verde oscuro (Yáñez *et al.*, 2010). Si se aplica P en exceso, el crecimiento de raíz normalmente aumenta con respecto al crecimiento de la zona aérea de la planta (Salisbury, 1992).

Bajo condiciones de campo, la falta de P en el nogal puede ser pasada por alto porque el primer síntoma y el más predominante es un follaje de color verde grisáceo sin clorosis intervenal y puede ser confundido con una carencia moderada de N. Por otro lado los nogales tienen la habilidad de absorber cantidades suficientes de P por lo que este elemento solo debe adicionarse cuando el análisis foliar revele su deficiencia, ya que el exceso de P pueden agravar la disponibilidad de micronutrientes como hierro y zinc (Yáñez *et al.*, 2010). Aguilar *et al.* (2003) comentan que el efecto del P en el rendimiento total del nogal no se ha determinado, pero tiende a incrementar el peso de la nuez, aumentar el peso de la almendra y de la cáscara.

2.3.3 Potasio

El K no tiene una función estructural, pero desempeña numerosos papeles catalíticos, como en la enzima nitrato reductasa, enzima clave en la asimilación del N. El K induce cambios en la conformación de las enzimas, aumentando la velocidad de reacción y en algunos casos aumenta la afinidad por el sustrato (Aguilar *et al.*, 2003). También tiene la función de agente osmótico el cual es de esencial importancia para el movimiento del agua en los estomas. El K es absorbido por las plantas en su ion monovalente y se clasifica en cuatro categorías: 1.- K en solución del suelo usualmente como la fuente primaria que puede ser absorbida por la planta y existe en forma de ión K^+ . 2.- K intercambiable, es retenido por las cargas negativas de las arcillas y la materia orgánica. 3.- K no intercambiable es retenido por las laminillas de las arcillas en una posición en la que no es accesible para intercambiarse con los cationes en la solución del suelo. 4.- K mineral contenido en las rocas minerales potásicas (Yáñez *et al.*, 2010).

El K es el segundo macronutriente más requerido por el nogal, debido a que es requerido para tener una mayor producción, un árbol de nogal utiliza grandes cantidades de K, ya que los ruznos, almendras, cáscaras y hojas son capaces de acumularlo. Por otro lado una fuerte carga de nueces puede remover el K de las hojas y transportarlo a los frutos lo que induce el acorchado de la hoja, con lo que se puede causar una defoliación temprana y una reducción de cosecha del siguiente año, debido a su fácil movilización al igual que en N y P los síntomas de deficiencia del K se presentan en las hojas más antiguas (Yáñez *et al.*, 2010).

2.3.4 Calcio

El Ca llega a las raíces en diferentes formas, puesto que puede moverse por flujo de masas, puede ser translocado vía difusión en la cual el movimiento térmico induce a un movimiento de iones a lo largo de un gradiente de concentración, además el ión Ca^{+2} puede ser interceptado en el desarrollo de las raíces, sin

embargo la toma de calcio es de una forma pasiva. El Ca una vez dentro de la célula forma sales con compuestos orgánicos e inorgánicos del interior de la célula, regulando la presión osmótica de la misma, además de ser un factor importante en la permeabilidad de la célula, actúa también en la división mitótica de las células, en el desarrollo del polen y en crecimiento de las raíces (Yáñez *et al.*, 2010).

Los tejidos de nogal contienen pequeñas concentraciones de calcio soluble, similares a la mayoría de los micronutrientes. En el nogal, el fruto compite muy poco con el crecimiento vegetativo por el calcio; un bajo nivel de calcio en el fruto durante el estado acuoso favorece el rajado de la nuez, problema que se corrige aplicando calcio (Sparks, 1986). El calcio tiene la capacidad de prevenir la toxicidad por sodio, por tanto ayuda en la absorción de potasio y NO_3 aún en presencia de Na (Yáñez *et al.*, 2010).

2.3.5 Magnesio

El Mg es un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de la planta, está presente en las células como el ion Mg^{2+} . El Mg es necesario para la fotosíntesis debido a su papel como el átomo central de la clorofila, también funciona en la señalización y activación enzimática, así como en la síntesis de ATP y en la estabilidad del compuesto de polifosfato, incluidas las asociadas con la síntesis de ADN y ARN. Dadas sus características químicas únicas, Mg^{2+} absorbe débilmente a los coloides del suelo y es propenso a la lixiviación en suelos ácidos o arenosos. La competencia de cationes (como, Ca^{2+} , K^+ , NH_4^+ y Na^+) reduce la disponibilidad de Mg para la absorción de raíces. A su vez la aplicación excesiva de fertilizantes como el N, P y K, contribuyen con la deficiencia de Mg, con lo cual se afecta la productividad y la calidad de los cultivos (Huang, *et al.*, 2019).

La deficiencia de magnesio en nogales es relativamente rara, la deficiencia de este nutrimento se relaciona con un pH bajo del suelo, debido a que el exceso de Ca tiende a reemplazar al Mg, que se pierde por lixiviación, el retraso en la detección y corrección de la deficiencia de Mg puede ocasionar bajas severas en el rendimiento

y además requiere de varios años para que la deficiencia sea corregida (Yáñez *et al.*, 2010).

2.3.6 Sodio

El Na no cumple funciones fisiológicas, para la mayoría de las plantas, el Na⁺ es tóxico a altas concentraciones milimolares. El Na se encuentra en todos los suelos y plantas, está presente como catión monovalente en la solución del suelo y se mantiene libre en el complejo de intercambio catiónico del suelo; no obstante es fácilmente lixiviado y se mueve a través del perfil del suelo por lluvia o por riego (Yáñez *et al.*, 2010). La salinización del suelo debido a la irrigación es cada vez más perjudicial en la agricultura, la toxicidad del Na en las plantas es multifactorial, incluido el estrés osmótico, la inhibición de enzimas vitales y la competencia con el K en general (Mäser *et al.*, 2002).

2.3.7 Hierro

El hierro en el suelo se encuentra en forma de minerales primarios y secundarios, adsorbido al complejo de intercambio, en compuestos orgánicos y en la solución del suelo. Las formas aprovechables por las plantas son los hidrosolubles (Fe²⁺) y las quelatadas. La concentración usual de Fe²⁺ en la solución del suelo no abastece los requerimientos vegetales; se complementa con el Fe presente en los quelatos orgánicos naturales, los cuales son transportables por difusión o flujo de masas. En presencia del Fe en los compuestos húmicos da a la tierra un color que va de rojo mediano al rojo oscuro el Fe asimilable en el suelo varía con el pH del mismo, cuando existe una gran alcalinidad, la forma Fe³ tiende a la formación de hidróxido férrico, el cual precipita haciéndose insoluble. Esto ocurre en suelos con alto contenido de calcio (Yáñez *et al.*, 2010).

La importancia del Fe se relaciona con dos hechos importantes: el Fe es parte del sitio catalítico de muchas enzimas oxido-reductoras importantes, y es esencial para la formación de clorofila, aunque no forma parte de la molécula (Aguilar *et al.*, 2003).

Los síntomas de la deficiencia del Fe son clorosis intervenal bastante pronunciada, parecida a la que se produce por deficiencia de magnesio, pero en este caso se presenta primero en las hojas más jóvenes, a veces la clorosis intervenal va seguida por una clorosis de las venas, de modo que toda la hoja adquiere un color amarillento. La deficiencia de hierro pueden ser inducidos por sobre riegos y riegos demasiado frecuentes, agua estancada o suelos con pobre drenaje (Yáñez *et al.*, 2010).

2.3.8 Manganeso

La forma divalente Mn^{2+} es común en pH inferiores a 6.5 y se le encuentra en solución o adsorbida al complejo de intercambio. La forma trivalente Mn^{3+} se encuentra como óxido (Mn_2O_3) muy activo, por lo que se le considera aprovechable. La forma tetravalente Mn^{4+} es común a pH mayores de 8 y se encuentra como óxido estable (MnO_2) insoluble. No obstante, existe cierto equilibrio dinámico entre las tres formas de manganeso mencionadas. El manganeso posee funciones relacionadas con la membrana de los cloroplastos, manteniendo integridad y funcionalidad para el intercambio de carbono y fosfatos; actúa también en el intercambio de electrones junto con el boro activan la proteína encargada de producir la molécula de la clorofila. Es requerido también, para la actividad de algunas enzimas, como deshidrogenasas, peroxidasas, entre otras. Es un elemento imprescindible en la formación de clorofila es por ello que los síntomas de deficiencia de manganeso consisten en la formación de manchas necróticas sobre las hojas (Yáñez *et al.*, 2010).

2.3.9 Zinc

El Zn desempeña un papel muy importante en el metabolismo de las plantas al influir en las activaciones enzimáticas las cuales están involucradas en el metabolismo de los carbohidratos, el mantenimiento de la integridad de las membranas celulares, la síntesis de proteínas, la regulación de la síntesis de auxinas y la formación de polen, también la regulación y el mantenimiento de la expresión génica requerida para la tolerancia del estrés ambiental en las plantas dependen de Zn, el Zn parece afectar la capacidad de absorción y transporte de agua en las plantas y reduce los efectos adversos de los períodos cortos de calor y estrés salino, finalmente el Zn es necesario para la integridad de las membranas celulares, para preservar la orientación estructural de las macromoléculas y los sistemas de transporte de iones. Los síntomas de la deficiencia de Zn que se presentan en las plantas son un crecimiento atrofiado, clorosis y hojas más pequeñas (Hafeez *et al.*, 2013).

La deficiencia de Zn es común en los huertos comerciales de nogal pecanero, lo que a menudo limita la productividad, algunas de las consecuencias de la deficiencia de Zn en este cultivo incluyen reducciones en las concentraciones de clorofila en la hoja y por lo tanto reducción de la capacidad fotosintética así como deficiencias en la floración, afectando directamente a la producción. Se reporta que en los huertos con deficiencias de Zn, los suelos son pobres en el contenido de materia orgánica, alcalinos y calcáreos (Ojeda-Barrios *et al.*, 2014).

El Zn interactúa con diferentes nutrientes. La interacción entre el Zn y el N se reporta como negativa y positiva. En lo que se refiere a la interacción del Zn con el P, se reporta que cuando existe un exceso de P el Zn se precipita, esto puede ser debido a que puede formar compuestos insolubles como el $Zn_3(PO_4)$. Por otro lado las altas concentraciones de Ca en la solución del suelo impiden la absorción del Zn, por su parte el Zn^{2+} inhibe la absorción del Fe^{2+} . La interacción con Mg y con K se considera interacciones positivas ya que hacen que el Zn esté disponible para la planta (Yáñez *et al.*, 2010).

2.3.10 Cobre

El Cu es un micronutriente mineral esencial requerido para el crecimiento y desarrollo de las plantas. La principal forma en que es asimilable para las plantas es en forma divalente Cu^{2+} . El Cu desempeña un papel clave como cofactor redox en procesos básicos del metabolismo celular, como la fotosíntesis y la respiración, además participa en la señalización hormonal, la defensa contra el estrés oxidativo y la biosíntesis de lignina, entre otros procesos bioquímicos y fisiológicos. Tanto la escasez de Cu como el exceso resultan en la generación de especies reactivas de oxígeno, lo que perturba varias funciones biológicas (Sanz *et al.*, 2019).

Las deficiencias de Cu son raramente encontradas en nogales en el suroeste de Estados Unidos y Norte de México, los síntomas de deficiencia se caracterizan por muerte regresiva de los tallos, las hojas no se vuelven cloróticas y se recomienda no tomar medidas a menos de que el análisis foliar detecte una deficiencia de Cu (Yáñez *et al.*, 2010).

2.3.11 Enmiendas orgánicas

La contaminación del suelo continúa siendo una amenaza generalizada en los suelos de todo el mundo y ha dado lugar a una amplia gama de técnicas de recuperación.

Sin embargo, la recuperación en sí mismo debe ser sostenible en un contexto amplio, teniendo en cuenta las condiciones ecológicas, el desarrollo económico, así como los ámbitos socio-culturales de la sostenibilidad (Bardos *et al.* 2011). Dado que las funciones del suelo son fundamentales para la supervivencia de los ecosistemas (Lehmann y Stahr, 2010).

La fertilidad de un suelo agrícola ha estado relacionada tradicionalmente con el contenido de materia orgánica. Si la función de la materia orgánica fuera únicamente aportar nutrientes al suelo, en especial N tendría poco interés, debido a que la

fertilización mineral cumple con esta función y es más rápida. Sin embargo, el papel de la materia orgánica en la complejidad del suelo es mucho más importante y por ello insustituible (Labrador, 2001).

Existen tres enfoques de ver la fertilidad de los suelos.

- La fertilidad física, que valora el suelo como un soporte material adecuado de la raíz, haciendo también referencia a la dinámica de los fluidos, agua y gases.
- La fertilidad química describe el estado físico-químico del medio y la importancia de la reserva y la disponibilidad de elementos asimilables. Aspectos descritos por el pH, el potencial redox, la capacidad de intercambio el contenido en macro y micronutrientes.
- La fertilidad biológica que caracteriza la magnitud y el estado de la reserva orgánica así como la abundancia y actividad de la biomasa edáfica (Labrador, 2001).

La materia orgánica ayuda a la mineralización de los nutrientes en el suelo haciendo que los minerales estén disponibles para las plantas, un ejemplo es la unión de ácidos húmicos y los aniones fosfatos (fosfohumatos), que impiden la precipitación de los fosfatos en un medio ácido, o la formación de fosfatos tricálcicos insolubles en un medio básico, favoreciendo por la tanto la fertilidad fosfatada del suelo. En el caso del K la materia orgánica disminuye la fijación del K por las arcillas, dado que aumenta la capacidad de intercambio catiónico y de esta manera existen más puntos de absorción para el K. en relación con los microelementos la materia orgánica influye tanto en su concentración como en su disponibilidad y asimilabilidad (Labrador, 2001).

Estos atributos están basados en la capacidad de los compuestos orgánicos, para formar con macro y microelementos compuestos complejos o intracomplejos (quelatos), en los cuales los compuestos orgánicos se unen al metal por uno o varios enlaces. Con esta estructura se protege al ion de la formación de compuestos insolubles y de la fijación por las arcillas y le permite una mayor libertad de movimiento en el suelo (Labrador, 2001).

En la región productora del estado de Chihuahua, al ser zona desértica el contenido de materia orgánica aparte de ser muy variables es muy bajo con rangos que van desde 0.14 a 1.2% como máximo (Soto *et al.*, 2012). Se reporta que la aplicación de enmiendas orgánicas mejora las propiedades físicas, la actividad biológica, la fertilidad de los suelos y la nutrición de los cultivos (Zaragoza-Lira *et al.* 2011), sin embargo, es necesario un manejo adecuado para evitar riesgos de contaminación nitratos al agua subterránea y acarreo de fósforo en aguas superficiales. (Flores *et al.*, 2011)

Abonos orgánicos como la vermicomposta muestra efectos que se han atribuido al mejoramiento de las propiedades y la estructura del suelo, a una mayor disponibilidad de los elementos nutritivos para las plantas, y a una creciente población microbiana y metabolitos biológicamente activos, como los reguladores de crecimiento de la planta, repercutiendo en rendimiento (Atiyeh *et al.*, 2002). Recientemente, uno de los abonos orgánicos que ha estado siendo fuertemente impulsado es la aplicación del té de composta ya que representa una alternativa en el control de enfermedades de plantas hortícolas a escala comercial (Vázquez *et al.*, 2015). El té de composta, es la solución resultante de la fermentación aeróbica de composta en agua, puede utilizarse como fertilizante, debido a que contiene nutrimentos solubles, microorganismos benéficos y compuestos favorables para las especies vegetales (Ingham, 2005).

2.4 Alternancia en el nogal pecanero

La alternancia es una condición que afecta a algunos frutales, consiste en la variación de la producción, la cual un año es elevada (llamado año "ON") y al siguiente año es baja (llamado año "OFF"), repitiéndose así este patrón. Conner y Worley (2000) definen la alternancia como la tendencia de los árboles frutales a dar frutos en ciclos de 2 años, es decir un año dan una alta producción y el año siguiente poca producción. La alternancia se puede presentar desde una rama, un árbol, una huerta e incluso en toda una región (Martínez *et al.*, 2013). La alternancia se ha

reportado en frutales como mango, pistacho, nuez pecanera, aguacate, manzana, oliva y cítricos (Dahal *et al.*, 2019). En el caso del nogal pecanero es uno de los principales problemas para el productor (Conner y Worley, 2000).

Los mecanismos que regulan la alternancia son desconocidos y parecen ser complejos. Dentro de las principales teorías que se reportan son: a) el nivel de reservas de carbohidratos dentro del árbol; b) seguido de los reguladores endógenos del crecimiento de tipo hormonal producidos por la fruta o el follaje; c) un mecanismo dual basado en los niveles de carbohidratos dentro de los balances de árboles y fitohormonas (Wood, 1995).

Por su parte Conner y Worley (2000) mencionan que la alternancia está vinculada a tres rasgos inherentes de la nuez pecanera: 1) el tiempo de madurez del fruto; 2) la naturaleza del crecimiento del fruto; y 3) la composición química del fruto. En contraste con muchos cultivos frutales la nuez madura al final de la temporada, dejando poco tiempo antes de la caída de las hojas para el almacenamiento de carbohidratos, que servirán para el desarrollo de las flores y frutas de la próxima temporada. Además, la almendra de la nuez contiene más del 70% de lípidos, los cuales requieren una energía considerable para producirse. Cuando se combinan estos rasgos, pueden dejar a los árboles agotados de reservas de carbohidratos, especialmente en las raíces y contribuir al establecimiento de frutos deficientes en el siguiente ciclo productivo.

Por otra parte, si las ramas son muy grandes y no permiten una adecuada entrada de luz, provocara una reducción en el número de flores, afectando la producción y contribuyendo con la alternancia en el nogal pecanero (Lombardini, 2006). Yáñez *et al.* (2010) mencionan que es posible disminuir la alternancia con una adecuada poda. Para tener éxito en la disminución de la alternancia a través de los años y mantener o recuperar la calidad de la nuez es necesario que la poda sea en el momento oportuno conforme a la edad de la huerta, realizarla en los años en los que se espera una alta producción y considerar un programa de podas a mediano y largo plazo.

La edad de los arboles no está directamente relacionada con lo alternancia Wood *et al.* (2003), analizaron la relación de la madures del fruto y de la defoliación de los arboles con la alternancia, encontraron que tanto los arboles jóvenes como los arboles viejos se comportaron de maneras similares en el índice de alternancia, sin encontrar una relación entre la edad del nogal con el aumento o disminución de la alternancia. Sin embargo la calidad de la nuez pecanera puede ser deficiente durante los años de alta producción y aunque la calidad sea mejor para los años “OFF” se obtiene una menor producción (Conner y Worley, 2000).

2.5 Aporte nutricional de la nuez

La nuez está considerada como un alimento saludable para el ser humano debido a su contenido de ácidos grasos y compuestos bioactivos principalmente (Atanasov, *et al.*, 2018), de acuerdo la USDA (US Department of Agriculture, Agricultural Research), destaca el alto contenido de lípidos, carbohidratos, fibra alimentaria y proteínas (Cuadro 1). El contenido de proteínas en la nuez pecanera está conformado por 18 diferentes aminoácidos, de los cuales diez son aminoácidos esenciales, entre ellos: Arginina, Fenilalanina, Histidina, Isoleucina, Leucina, Lisina, Metionina, Treonina, Triptófano y Valina. Los aminoácidos más abundantes en nuez pecanera son el Ácido glutámico y la Arginina con más de 1 gr por cada 100 gramos de nuez. La nuez además de ser una rica fuente de lípidos, también es una fuente natural de vitaminas y minerales, los cuales son nutrientes básicos en la alimentación humana, entre los minerales más abundantes se encuentran el potasio con 410 mg, el fósforo con 277 mg y el magnesio con 121 mg por cada 100 g de nuez y de las vitaminas presentes en la nuez pecanera las más abundantes son la Colina y Gama-Tocoferol (Reyes y Urrea, 2016).

Cuadro 1. Contenido nutricional de la nuez

Nutriente	Unidad	Valor por 100 g
Agua	g	3.52
Calorías	Kcal	691
Proteína	g	9.17
Lípidos totales	g	78
• Saturados	g	6.7
• Monoinsaturados	g	44.0
• Poliinsaturados	g	23.3
Cenizas	g	1.49
Carbohidratos	g	13.86
Fibra alimentaria	g	9.6
Azúcares totales	g	3.97

Por otro lado la nuez pecanera ha sido clasificada dentro de los alimentos con un alto contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante. Se ha demostrado que los granos de nuez pueden mejorar el perfil lipídico en el humano y disminuir los niveles de lipoproteínas de baja densidad, debido a su alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados (Villarreal-Lozoya *et al.*, 2007; Flores-Córdova *et al.*, 2016).

2.5.1 Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en la parte comestible de la nuez

Los Polifenoles también llamados compuestos fenólicos, son compuestos que contienen al menos un anillo aromático con un grupo hidroxilo en su estructura. Se conocen más de 8000 compuestos fenólicos en plantas, la diversidad química de los compuestos fenólicos es responsable de sus diversos roles en la planta. Dependiendo de su estructura, poseen diferentes actividades como el soporte mecánico, protección contra la radiación solar UV dañina y pérdida excesiva de agua, atracción de polinizadores y dispersores de semillas así como señales que

inducen reacciones defensivas contra el estrés biótico o abiótico, etc. Además algunos de estos compuestos pueden suprimir el crecimiento de plantas competidoras cercanas (es decir tener efectos alelopáticos) o proporcionar protección contra herbívoros y patógenos. Por todas estas razones, son reconocidas como moléculas de plantas valiosas con funciones biológicas muy importantes (Moreno-Escamilla *et al.*, 2019).

Los principales grupos de Polifenoles son: ácidos fenólicos (derivados del ácido hidroxibenzoico o del ácido hidroxicinámico), estilbenos, lignanos, alcoholes fenólicos y flavonoides (Quiñones *et al.*, 2012).

Los compuestos fenólicos se sintetizan principalmente a través del metabolismo fenilpropanoide, que implica la presencia de precursores que se sintetizan por dos vías principales: la vía del ácido shikímico y la vía del ácido malónico. Aunque ambas vías participan en la biosíntesis de los compuestos fenólicos en las plantas, la ruta del ácido shikímico es la principal. El metabolismo de los fenilpropanoides conduce a la producción de numerosas moléculas, como los ácidos hidroxicinámicos, los ácidos hidroxibenzoicos, los flavonoides y la lignina. Otros ácidos hidroxibenzoicos se sintetizan directamente a partir de un intermedio de la vía del ácido shikímico (De la Rosa *et al.*, 2019). En la Figura 1 se muestra la principal vía de síntesis de los compuestos fenólicos.

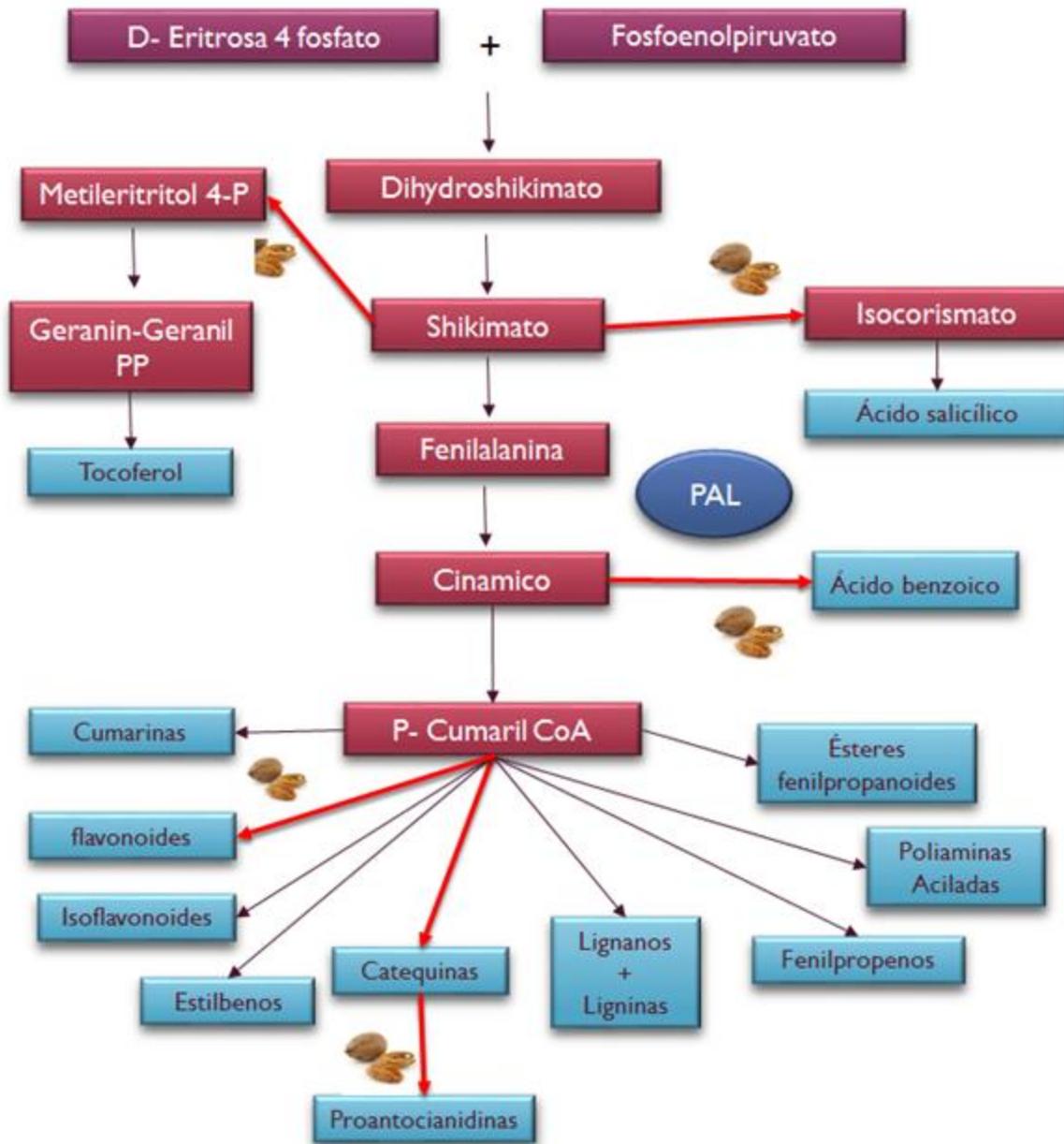


Figura 1. Ruta de síntesis de compuestos fenólicos. En rojo se muestran las rutas de los compuestos fenólicos presentes en la nuez pecanera (adaptado de Vogt, 2010).

Dentro de los compuestos fenólicos que se han encontrado en la nuez se encuentran los flavanoles, antocianidinas, proantocianidinas, ácido elágeno, ácido cumárico, y ácido gálico siendo este último el que mayor concentración presenta, con un 78% del total de los compuestos fenólicos analizados, además se encontraron otros compuestos como la quercetina y taninos condensados los cuales

tienen efectos antioxidantes y antimutagénicos. Estos compuestos fenólicos son importantes para la salud humana debido a que reducen la incidencia de enfermedades crónicas, como el Alzheimer, Parkinson, algunos tipos de cáncer, así como otras enfermedades degenerativas, esto se le puede atribuir a que los compuestos fenólicos proporciona capacidad antioxidante para la estabilización de los radicales libres, evitando el daño oxidativo de las células (Villarreal-Lozoya *et al.*, 2007; Flores-Córdova *et al.*, 2016).

La acumulación de especies reactivas de oxígeno (ROS) así como el estrés oxidativo en niveles altos en las células son el resultado de las actividades celulares normales, sin embargo la exposición a las ROS y al estrés oxidativo se les atribuye enfermedades y afecciones degenerativas crónicas en los seres humanos, como por ejemplo las enfermedades cardiovasculares, el cáncer y las afecciones relacionadas con el envejecimiento, como el Alzheimer, para ayudar a contrarrestar estas afecciones los humanos cuentan con fuentes exógenas de antioxidantes. Los antioxidantes son sustancias que retrasan, controlan o previenen los procesos oxidativos que conducen al deterioro en la salud humana, en plantas o animales. Los antioxidantes que encajan en esta definición incluyen eliminadores de radicales libres, inhibidores de oxígeno singletes, inactivadores de peróxidos y otras ROS quelantes de iones metálicos, entre otros (Shahidi y Zhong, 2015). Los antioxidantes se pueden clasificar por su mecanismo de acción como antioxidantes primarios y secundarios. Los antioxidantes primarios, como los tocoferoles y algunos compuestos fenólicos, inhiben la reacción en cadena de la oxidación al actuar como donantes de hidrógeno o aceptadores de radicales libres, así como la generación de radicales más estables. Los antioxidantes secundarios previenen o retardan la oxidación al suprimir los promotores de oxidación, incluidos los iones metálicos, el oxígeno singlete, las enzimas pro oxidantes y otros oxidantes (Shahidi y Ambigaipalan, 2015).

Las vitaminas (particularmente las vitaminas C y E), los carotenoides y los compuestos fenólicos son los tres grupos principales de antioxidantes. Dentro de estos, los compuestos fenólicos o fenoles comprenden una amplia gama de características estructurales con diversos efectos fisiológicos. Se han documentado

actividades anticancerígenas y antiproliferativas de los fenoles en líneas de células tumorales de mama, colon, próstata y leucemia en humanos, así como en modelos animales de diversos tipos de cáncer. Por otro lado el consumo de suplementos dietéticos ricos en fenoles, particularmente en etapas tempranas del desarrollo, se ha asociado con resultados cognitivos positivos en pacientes con síndrome de Down y trastornos relacionados. Otros efectos de los fenoles son las actividades antimicrobianas y antiinflamatorias (Bulut *et al.*, 2019).

Desde el punto de vista de los consumidores, los compuestos fenólicos brindan protección contra las enfermedades crónicas degenerativas, no solo por su actividad antioxidante, sino también por la regulación de muchos procesos celulares en diferentes niveles, incluida la inhibición de enzimas, la modificación de la expresión de genes, la fosforilación de proteínas, etcétera (Moreno-Escamilla *et al.*, 2019).

2.6 Retos y oportunidades de la nuez pecanera

Es indiscutible que, en los últimos años la demanda de nuez en México ha aumentado, quizá debido a la exigencia de una dieta más sana causada por el aumento de enfermedades relacionadas con la obesidad y malos hábitos de vida. Como se ha reportado el consumo de la nuez puede ayudar a prevenir estas enfermedades y esto debido a que la nuez es una buena fuente de proteínas, carbohidratos, grasas, minerales, fibra, vitaminas y compuestos antioxidantes, (Gama *et al.*, 2018).

Por otro lado los subproductos y los residuos de la nuez tienen un gran potencial, como fuente de compuestos funcionales, nutracéuticos, cosméticos y farmacéuticos con lo cual se plantean un reto científico y tecnológico hacia el desarrollo de procesos innovadores con tecnología de vanguardia para su aprovechamiento integral con el fin de reintegrarlos a la cadena productiva en beneficio de la salud de los consumidores e incrementando la sustentabilidad del cultivo. Es por esto que se

debe investigar más sobre el desarrollo de procesos industriales con el fin de utilizar integralmente los productos del cultivo del nogal pecanero, en función de los compuestos de interés (Figura 2) (Reyes y Urrea, 2016).



Figura 2. Procesos para incrementar la rentabilidad del cultivo del nogal pecanero (modificado de: Reyes y Urrea, 2016).

2.7 Diagnóstico Diferencial Integrado (DDI)

El Diagnóstico Diferencial Integrado (DDI), se compone de tres conceptos: 1) DIAGNÓSTICO, el cual se define como el conocimiento de la diferencia entre dos situaciones, una que es considerada como ideal, y la otra que se espera que se comporte de una manera ideal; 2) DIFERENCIAL, conceptualizado en hacer contraste hasta su mínima expresión para comprender la naturaleza de su desviación entre ambas situaciones e 3) INTEGRADO, enfocado de manera

multidisciplinaria para profundizar en el conocimiento de los factores Agua-Suelo-Planta-Atmósfera e identificar las causas que limitan la producción y/o productividad de la actividad hortofrutícola (Uvalle-Bueno *et al.*, 1995; Soto *et al.*, 2004, Figura 3).

El fundamento fisiológico en planta, se basa en los mecanismos de la cinética enzimática, los principios del catabolismo y la síntesis de los compuestos fosfatados ricos en energía.

Ecuación de carga de energía. Las células contienen una cantidad infinita de compuestos que almacenan energía, particularmente los fosfatos de adenosina (AMP, ADP y ATP) que pueden estar presentes como compuestos de alta o de baja energía, una célula “está totalmente cargada” cuando todos sus adenilatos están presentes como ATP. Cuando todos los ATP están hidrolizados hasta AMP, la célula está “totalmente descargada”. Atkinson (citado por Uvalle-Bueno *et al.*, 1995) derivó una ecuación que permite calcular la carga energética cuando se conocen las cantidades relativas de ATP, ADP y AMP.

$$\text{Carga energética (CE)} = \frac{[\text{ATP}] + 0.5 [\text{ADP}]}{[\text{ATP}] + [\text{ADP}] + [\text{AMP}]}$$

Sin embargo, Ziegler (citado por Uvalle-Bueno *et al.*, 1995), estudiando la ecuación de carga energética, propone la siguiente ecuación:

$$\text{CE} = \frac{1}{2} \frac{[\text{ADP}] + 2 [\text{ATP}]}{[\text{AMP}] + [\text{ADP}] + [\text{ATP}]}$$

La carga energética tendrá valor igual a 1 cuando todo el AMP y el ADP celular se hayan convertido en ATP, se tendrá disponible el número máximo de enlaces fosfato ricos en energía; la carga energética tendrá un valor igual a 0.5, cuando todos los compuestos de adenosina aparezcan como ADP, lo cual significa que el sistema

adenílico contiene la mitad de los enlaces ricos en energía. La carga energética tendrá un valor igual a cero, cuando el ATP y el ADP se hayan convertido en AMP.

Cuando hay un exceso de ATP la ecuación de carga energética es igual o mayor a 2.0, por lo tanto, la ecuación de Atkinson queda de la siguiente manera:

$$CE = \frac{1}{2} \frac{[ADP] + 4 [ATP]}{[AMP] + [ADP] + [ATP]}$$

Cuando un sistema biológico anormal en relación con uno ideal cae por debajo de 0.5, el mecanismo de homeostasis ya no es capaz de regular los cambios extrínsecos (por ejemplo, la acción climática y/o biótica) y se da una deficiencia fisiológica. El intervalo óptimo nutricional y fisiológico se señala entre 0.71 y 1.19.

Energía libre de activación (G). Es la cantidad de energía necesaria para llevar todas las moléculas de 1 mol de sustancia y a una temperatura determinada, al estado de transición en la cima de la barrera de activación. Cuando el valor de G es negativo, en los procesos biológicos hay liberación de P inorgánico, y si se encuentra un elemento contrario (antagónico) lo inmoviliza y no estará disponible para la planta. La Q₁₀ generalmente tiene un valor de 2, las reacciones enzimáticas difieren de las químicas, debido a que el incremento de la velocidad con respecto a la temperatura se interrumpe entre 45 y 50° C, ya que ocurre una desnaturalización de las proteínas (enzimas); por lo tanto, el Q₁₀ de una enzima para rangos arriba de 40° C será por lo general mucho menor a 2.0 (Lehninger, 1991).

Cinética enzimática (ecuación de Michaelis-Menten). La constante de Michaelis-Menten (Km) es igual a la concentración del sustrato en el cual la velocidad inicial de la reacción es la mitad de la velocidad máxima (Vmax). Las dimensiones de Km para una reacción de un solo sustrato son moles por litro y la constante es independiente de la concentración de la enzima (Lehninger, 1991). Entre más pequeña sea Km, su afinidad con la enzima es más grande, por lo tanto, su

abatimiento es más rápido; y viceversa, entre más grande sea el valor de Km su afinidad es más baja, por lo que su abatimiento es más lento.

La ecuación de Michaelis-Menten es:

$$v = (V_{max} * C_{ext} / (K_m + C_{ext}))$$

Valores críticos para generar el Rango Sugerido de Interpretación (RSI) y diagnosticar la situación nutricional (DN) y / o fisiológica (DF)

Para propósitos de interpretación, Y describe la situación nutricional, Z describe la situación fisiológica. Los valores de carga energética (CE = 1), constante de Michaelis-Menten ($K_m = \frac{1}{2}$) y $Q_{10} = 2$, describen la deficiencia nutricional (DN):

$$Y = (CE * K_m) = 0.5$$

o deficiencia fisiológica (DF):

$$Z = (CE * Q_{10}) = 2.0$$

Corresponde la situación de equilibrio a $X = 1.0$.

La intensidad del desplazamiento hacia un desorden nutricional o desorden fisiológico es exponencial. El intervalo óptimo nutricional se encuentra entre $0.71 \leq Y \leq 1.0$, y el óptimo fisiológico se encuentra entre $1.0 \leq Z \leq 1.19$.

A partir de esos valores se genera una escala, en la cual los valores menores de 0.5 indican una deficiencia nutricional (DN), mientras que con valores mayores de 2.0 se tiene una deficiencia fisiológica (DF); un desbalance nutricional se incrementa con una relación inversa exponencial a la del desbalance fisiológico de acuerdo a los siguientes valores en donde Z es una razón inversa de Y (Cuadro 2 y 3).

Cuadro 2. Valores DDI para determinar la naturaleza nutricional o fisiológica en tejido vegetal

Nutricional	Fisiológico	Relación inversa
$Y = 0.5$	$Z = 2.0$	$0.5^{-1} = 2.0$
$Y = (0.5)^4 = 0.0625$	$Z = (2)^4 = 16.00$	$0.0625^{-1} = 16.00$
$Y = (0.5)^2 = 0.25$	$Z = (2)^2 = 4.00$	$0.25^{-1} = 4.00$
$Y = (0.5)^{1/2} = 0.71$	$Z = (2)^{1/2} = 1.41$	$0.71^{-1} = 1.41$
$Y = (0.5)^{1/4} = 0.84$	$Z = (2)^{1/4} = 1.19$	$0.84^{-1} = 1.19$

El intervalo óptimo se da al obtener la raíz cuadrada de los valores críticos tanto de Y como de Z; entonces, dentro del rango de 0.84 y 1.19 no se presentan deficiencias nutricionales ni fisiológicas. Además de la situación nutricional y fisiológica, también se puede extrapolar para la generación de estándares nutricionales en tejido vegetal y para obtener los valores de referencia de suelo para cada cultivo (Uvalle-Bueno *et al.*, 1995; Soto *et al.*, 2004) de acuerdo al siguiente esquema:

Cuadro 3. Categoría de clasificación para determinar la naturaleza de los desbalances nutricionales o fisiológicos en función de los valores DDI

Caracterización nutricional / Estándar nutricional	Situación nutricional (N)	Caracterización nutricional / Estándar nutricional	Situación fisiológica (F)
		$Y = 0.5^4 = 0.0625$	
Extremadamente Deficiente (ED)/ Deficiente (D)	$Y = 0.5^2 = 0.25$ o menor	/ Exceso (E)	$Z = (2)^2 = 4.00$ o mayor
Muy Deficiente (MD)/ Muy Bajo (mB)		/ Muy Alto (mA)	
Deficiente (D)/ Bajo (B)	$Y = 0.5^1 = 0.50 - 0.25$ $Y = (0.50)^{1/2} = 0.71 - 0.50$	/ Alto (A)	$Z = (2)^1 = 2.00 - 4.00$ $Z = (2)^{1/2} = 1.41 - 2.00$
Suficiente (S)/ Medianamente Bajo (MB)		/ Medianamente Alto (MA)	
Óptimo (O) / Suficiente (S)	$Y = (0.5)^{1/4} = 0.84 - 0.71$ 1.19		$Z = (2)^{1/4} = 1.19 - 1.41$

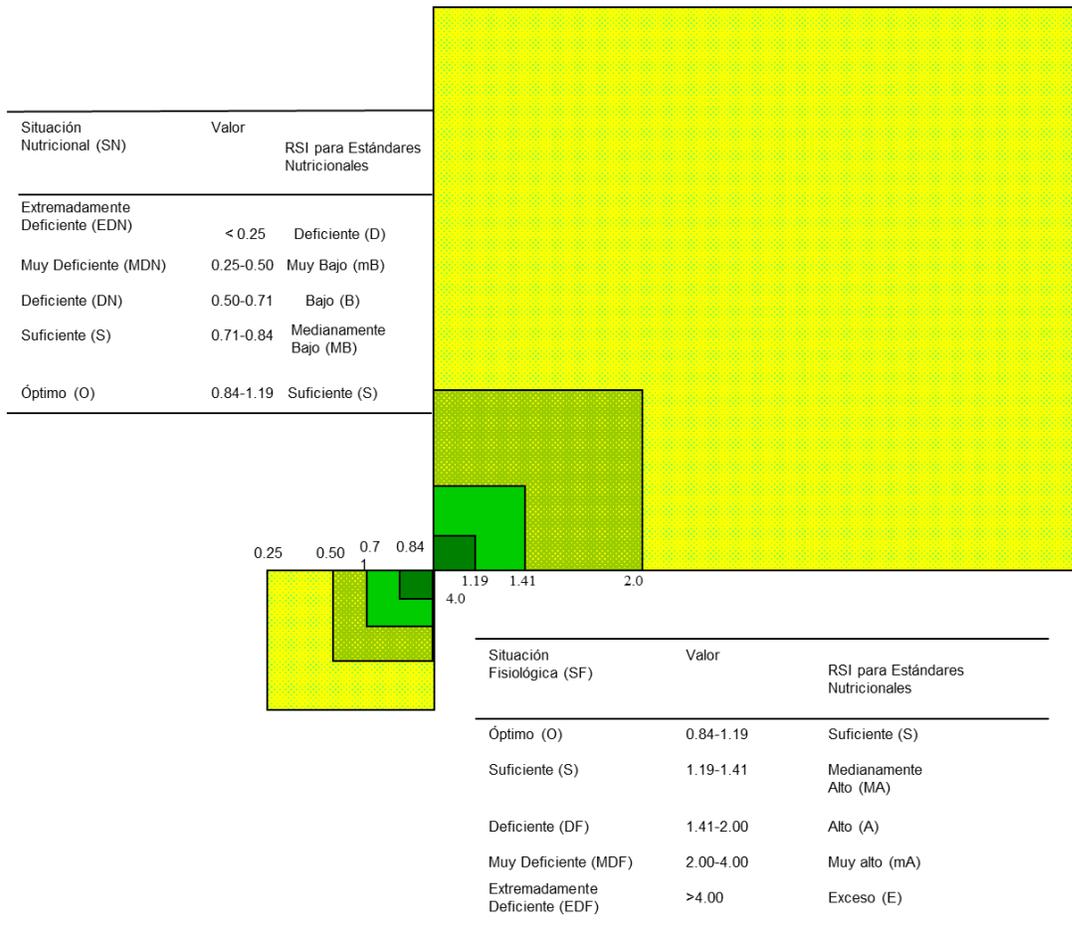


Figura 3. Diagrama para la determinación del Rango Sugerido de interpretación (RSI) y diagnosticar desbalances nutricionales (SN) y/o fisiológicos (SF). Uvalle-Bueno (1994), modificado por Yáñez (1998).

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área experimental

El estudio se llevó a cabo durante los ciclos productivos 2016, 2017 y 2018 en el municipio de Aldama, Chihuahua, México, en árboles de nogal pecanero variedad 'Western Schley', de una edad de 34 años y con una distancia de plantación de 12 X 12 m (69 árboles por hectárea). El clima de la región es seco. La temperatura máxima promedio para los tres años fue de 28.35 °C y la temperatura mínima promedio de 11.92 °C. Las precipitaciones pluviales muestran un promedio anual de 1.2 mm, siendo los meses de julio, Agosto y Septiembre los de mayores precipitaciones (INIFAP, 2019). Las características del suelo son: textura es migajón arcilloso, las propiedades físico-químicas fueron las siguientes: pH 7.86, conductividad eléctrica (C.E) 0.80 ds m⁻¹, contenido de materia orgánica (M.O) 0.88%, para los macronutrientes los valores fueron N 285.0 mg kg⁻¹, P 25.1 mg kg⁻¹, K 1075.0 mg kg⁻¹, Ca 3800.0 mg kg⁻¹, Mg 300.0 mg kg⁻¹ y micronutrientes Fe 1.88 mg kg⁻¹, Mn 6.92 mg kg⁻¹, Zn 142.0 mg kg⁻¹, Cu 0.46 mg kg⁻¹.

Las formas de los fertilizantes empleadas fueron: N (UAN 32, 33.67% N, D 1.32), P (ácido fosfórico, 49.02% P₂O₅, D 1.61), K (tiosulfato de potasio 12.63% K₂O, S 17.0%, D 1.46), Ca (sulfato de calcio Solugyp^{MR}, 31.31% CaO, 17.0% S), Humus líquido (OptiHumus^{MR}) (pH 8.20, C.E. 4.06 ds m⁻¹, Relación C/N 3.13, composición en porcentajes: M.O. 0.11, C 0.06, N 0.02, P 0.13, K 0.13, Ca 0.01, Mg 0.004, Na 0.02; en mg kg⁻¹: Fe 3.70, Mn 1.10, Zn 0.11, Cu 0.60, B 7.33), Humus de Lombriz, (OptiHumus^{MR}), (pH 8.12, C.E. 10.18 ds m⁻¹, Relación C/N 6.57, composición en porcentajes: M.O. 21.70, C 12.59, N 1.91, P 0.96, K 1.68, Ca 3.52, Mg 1.35, Na 0.27; en mg kg⁻¹: Fe 11850.29, Mn 458.80, Zn 173.65, Cu 34.04, B 164.74).

3.2 Arreglo Factorial

Se utilizó un arreglo factorial 5⁶ acotado a 25 tratamientos mediante un arreglo Taguchi L25 (Cuadro 4), mediante el paquete estadístico Minitab versión 16.1.0 se formaron 25 tratamientos (Cuadro 5) con tres repeticiones, cada repetición consistió de un árbol. Además se incorporó el Mg como factor dinámico, las dosis aplicadas de Mg fueron 0 kg ha⁻¹ en la repetición 1, 10 kg ha⁻¹ para la repetición 2 y 20 kg ha⁻¹ para la repetición 3.

El N, P, K, Ca y el Mg, el humus líquido y sólido se aplicaron al boleó, a una distancia de 2 metros del tronco del árbol.

Cuadro 4. Factores y niveles de aplicación estructura Taguchi L25

Concentración	Factores / Niveles					
	N	Kg ha ⁻¹			L ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹
		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Humus líquido	Humus sólido
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	12	6.0	5.0	20.0	180.0	400.0
5	60	30	25.0	100.0	900.0	2000.0
10	120	60	50.0	200.0	1800.0	4000.0
20	240	120	100.0	400.0	3600.0	8000.0
Media Simple	120	60	50.0	200.0	1800.0	4000.0
Elemento		0.4364	0.8301	0.7147	0.6032	1

Cuadro 5. Tratamientos formados en estructura Taguchi L25

Tratamiento	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Humus líquido	Humus sólido
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	6.0	5.0	20.0	180.0	400.0
3	0.0	30.0	25.0	100.0	900.0	2000.0
4	0.0	60.0	50.0	200.0	1800.0	4000.0
5	0.0	120.0	100.0	400.0	3600.0	8000.0
6	12.0	0.0	5.0	100.0	1800.0	8000.0
7	12.0	6.0	25.0	200.0	3600.0	0.0
8	12.0	30.0	50.0	400.0	0.0	400.0
9	12.0	60.0	100.0	0.0	180.0	2000.0
10	12.0	120.0	0.0	20.0	900.0	4000.0
11	60.0	0.0	25.0	400.0	180.0	4000.0
12	60.0	6.0	50.0	0.0	900.0	8000.0
13	60.0	30.0	100.0	20.0	1800.0	0.0
14	60.0	60.0	0.0	100.0	3600.0	400.0
15	60.0	120.0	5.0	200.0	0.0	2000.0
16	120.0	0.0	50.0	20.0	3600.0	2000.0
17	120.0	6.0	100.0	100.0	0.0	4000.0
18	120.0	30.0	0.0	200.0	180.0	8000.0
19	120.0	60.0	5.0	400.0	900.0	0.0
20	120.0	120.0	25.0	0.0	1800.0	400.0
21	240.0	0.0	100.0	200.0	900.0	400.0
22	240.0	6.0	0.0	400.0	1800.0	2000.0
23	240.0	30.0	5.0	0.0	3600.0	4000.0
24	240.0	60.0	25.0	20.0	0.0	8000.0
25	240.0	120.0	50.0	100.0	180.0	0.0

3.3 Recolección de las muestras de nuez

Para el muestreo de las nueces en campo se vibró cada árbol, posteriormente se seleccionaron 40 a 60 nueces por árbol las cuales deben de ser lo más homogéneas entre ellas. Las nueces fueron llevadas al laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas en donde se dejaron secar a temperatura ambiente durante 15 días. Seguido del secado, las nueces fueron limpiadas para quitar el exceso de polvo, finalmente las nueces fueron almacenadas en refrigeración a 4 °C hasta su análisis.

3.4 Componentes de Rendimiento

3.4.1 Producción

Después de la vibraron de los árboles, se recolectó la nuez y se estimó el peso en kg por cada árbol. Se extrapolo la producción en toneladas por hectárea al multiplicar la producción por árbol por el número de árboles por ha, corregido por un factor de 0,95 debido a la heterogeneidad en la producción individual de los árboles.

3.4.2 Número de nueces por kilogramo

Se contaron el número de nueces de una muestra de 300 g y se extrapolo el valor a la unidad de peso (kg).

3.4.3 Porcentaje de nuez comestible

Para la determinación del contenido de almendra comestible se seleccionaron 300 g, se les separó la cáscara de la parte comestible, se pesaron por separados y se determinó el porcentaje comestible, cuyo valor permitió determinar la fracción de producto comestible con respecto al total.

Las tres variables anteriores se obtuvieron considerando la Norma Mexicana NMX-FF-084-SCFI-2009.

3.5 Índice de alternancia

El índice de alternancia se calculó con la formula reportada por Medina *et al.*, 2004, con algunas modificaciones.

Alternancia = (desviación estándar de la producción (años analizados)/ media de producción (años analizados))*100

3.6 Índice de productividad a largo plazo

El índice de productividad a largo plazo se calculó utilizando la siguiente fórmula:

Índice de productividad a largo plazo = (promedio de producción de los años analizados / índice de alternancia)*100

3.7 Desgrasado de la parte comestible de la nuez

Para las determinaciones en la parte comestible de la nuez fue desgrasada según la metodología de Villareal-Lozoya *et al.* (2007) con ligeras modificaciones. Primero la almendra de la nuez fue molida en un procesador de alimentos. Se homogenizaron las muestras con hexano (1:20 p/v). Después de homogeneizar, las muestras se filtraron al vacío a 35 °C con un embudo Buchner y un filtro de velocidad de filtración lenta. El homogenizado se lavó dos veces más con hexano y se secó a 35 °C durante 10 minutos, obteniendo un polvo llamado harina de nuez. Finalmente la harina de nuez fue almacenada en refrigeración hasta su análisis.

3.8 Determinación de compuestos bioactivos

Para la cuantificación de los compuestos bioactivos se pesó 1 g de harina de nuez y se maceró con 10 ml de metanol al 80%. Luego de esto las muestras se introdujeron en una centrifuga refrigerada por 10 min a 600 rpm a 4 °C, posteriormente se extrajo la alícuota para medir los siguientes parámetros.

3.8.1 Fenoles totales

El total de fenoles totales fue determinado mediante el método descrito por Singlenton y Rossi (1965) usando ácido gálico como estándar. En un tubo de ensayo, se colocaron 1.5 ml de Na₂CO₃ al 2%, y se agregaron 0.5 ml de reactivo de Folin-Ciocalteu al 50%, 2.75 ml de H₂O desionizada y 0.5 ml del extracto. A continuación, la mezcla fue incubada a temperatura ambiente y en oscuridad durante 60 minutos. La absorbancia fue medida a 725 nm en un espectrofotómetro

Thermo Scientific, G 10S UV Vis. Los resultados fueron expresados como mg de ácido gálico por g de peso seco (mg AG g⁻¹). Se realizó una curva de calibración. La linealidad se determinó entre 0.50 y 4.0 mg ml⁻¹, utilizando un estándar de ácido gálico de grado reactivo de alta pureza, la calibración se llevó a cabo por triplicado.

Reactivos

- Carbonato sódico al 2% disuelto en NaOH 0.1 N

Se pesaron y disolvieron 5 g de carbonato sódico (Na₂CO₃) en 250 ml de NaOH 0.1 N el cual se preparó disolviendo 4 g de NaOH en 1000 ml de agua desionizada.

- Reactivo folin-Ciocalteu al 50%

Se midieron y mezclaron 50 ml de reactivo de folin-Ciocalteu en 50 ml de agua desionizada. Este reactivo debe de estar ser almacenado en total oscuridad.

3.8.2 Capacidad antioxidante DPPH

El radical DPPH (1,1-difenil-1,2-picrihidrazil) es un compuesto estable que presenta una intensa coloración violeta y que absorbe radiación a 517 nm, de forma que su concentración se puede determinar mediante métodos espectrofotométricos (Kim *et al.*, 2002). La reacción se llevó a cabo al mezclar 3.9 ml de solución de radical de DPPH con 0.1 ml de extracto vegetal. La mezcla se conservó a temperatura ambiente y protegida de la luz durante 60 minutos. Posteriormente, se procedió a medir la absorbancia a 517 nm utilizando el espectrofotómetro UV (Modelo Spectronic® Genesys 5). El blanco utilizado fue metanol al 80%, se realizó una curva de calibración, donde la linealidad se determinó entre 0 y 800 µM, utilizando un estándar de Trolox de grado reactivo de alta pureza. Los análisis se llevaron a cabo por triplicado y los resultados se expresaron como mg Trolox g⁻¹ de peso seco.

Reactivos

- Metanol al 80%

Se midieron y mezclaron 80 ml de metanol puro, más 20 ml de agua desionizada.

- Reactivo 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH)

Se pesaron 3.94 mg de DPPH y se disolvieron en 100 ml de metanol al 80%.

3.8.3 Taninos

El contenido de taninos condensados, fue evaluado usando el ensayo de vanillina de Price *et al.* (1978). Se tomó un 1 ml del extracto y se agregaron 4 ml de una solución de HCl al 8% en MeOH (v/v) y una solución de vainillina en MeOH al 4% (v/v) en una proporción 1:1. La mezcla resultante se mantuvo en baño maría a 30 °C durante 20 minutos; finalmente, se midió la absorbancia a 500 nm en el espectrofotómetro UV (Modelo Spectronic® Genesys 5). Los taninos se cuantificaron mediante una curva estándar a base de catequina grado reactivo de alta pureza. El contenido total de taninos se expresó como mg equivalentes de catequina en un gramo de harina de nuez (mg EC g⁻¹).

Reactivos

- Metanol con HCl al 4%

Se midieron y mezclaron 96 ml de metanol puro con 4 ml de HCl puro.

- Metanol con HCl al 8%

Se midieron y mezclaron 92 ml de metanol puro con 8 ml de HCl puro.

- Reactivo de vanillina

Se pesaron y mezclaron 0.5 g de vanillina en 200 ml de metanol con HCl al 4%

3.9 Determinación de micro y macroelementos en la harina de la parte comestible y cáscara de nuez.

3.9.1 Mineralización

Para la mineralización de la harina y cáscara de nuez se tomó 1 g de la muestra se colocó en un vaso de precipitado de 250 ml, se le agregaron 25 ml de la mezcla digestora triácida (ácido nítrico, ácido perclórico y ácido sulfúrico), posteriormente se tapó el vaso con un vidrio de reloj y se dejó reposar durante 24 horas dentro de la campana de extracción de humos. Transcurrido el tiempo se colocó en una placa caliente a hasta que cambió a una coloración amarillo aceitoso, en seguida se procedió al filtrado de la muestra en un matraz de 50 ml, el vaso de precipitado se

enjuago con agua desionizada, el filtrado se aforo a 50 ml con agua desionizada para finalmente agitarse. Al resultado de este proceso les llamaremos solución madre.

Reactivos

- Mezcla triácida

Se mezclaron 2000 ml de ácido nítrico más 200 ml de ácido perclórico y 50 ml de ácido sulfúrico. Nota: los ácidos utilizados para preparar la mezcla triácida fueron vaciados en un frasco color ámbar dentro de la campana extractora y en el orden que se indica.

3.9.2 Determinación de Cu, Fe, Mn, Zn y Na

Se tomaron 20 ml de la solución madre para determinar Cu, Fe, Mn, Zn y Na en el espectrofotómetro de absorción atómica (marca).

Para el cálculo de la concentración de los nutrientes se utilizaron las siguientes formulas:

$\text{Cu, Fe, Mn, Zn (ppm)} = \text{Lectura del aparato (ppm)} * 50$

$\text{Na (\%)} = \text{Lectura del aparato (ppm)} * 0.005$

3.9.3 Determinación de Ca, Mg, K

Se tomó 1 ml de la solución madre y se colocó en un matraz volumétrico de 100 ml el cual fue aforado con agua desionizada y se agito. Se tomaron 20 ml para la determinación de K, Ca, Mg en el espectrofotómetro de absorción atómica. Para el cálculo de la concentración de los nutrientes se utilizó la siguiente formula:

$\text{Ca, Mg, K (\%)} = \text{Lectura del aparato (ppm)} * 0.5$

3.9.4 Determinación de Fósforo

Para la determinación de P se tomaron 0.5 ml de la solución madre y se le agregó un 1 ml de vanadato molibdato de amonio y 3.5 ml de agua destilada, se agitó y se dejó reposar durante 30 minutos, transcurrido el tiempo se procedió a leer en el espectrofotómetro UV (Modelo Spectronic® Genesys 5) a 470 nm de absorbancia,

simultáneamente se preparó un blanco con 10 ml de vanadato molibdato de amonio. Para el cálculo de la concentración de P se utilizó la siguiente fórmula:

$$P (\%) = \text{Absorbancia (curva patrón)} * 0.05.$$

Reactivos

- Metavanadato de amonio

Se disolvieron 45 g de molibdato de amonio $((\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24})$ en 400 ml de agua desionizada. A su vez se mezclaron 2.50 g de vanadato de amonio (NH_4O_3) en 300 ml de agua desionizada hirviendo. Se dejó enfriar y cuando se enfriaron se juntó el molibdato de amonio y el vanadato de amonio, a los cuales se les agregó 500 ml de ácido nítrico concentrado. Finalmente se aforo a 2000 ml con agua desionizada.

3.9.5 Nitrógeno total

En la determinación de N total se colocó 0.1 g de la muestra (harina de nuez o cáscara) en un matraz Kjeldahl, se adicionaron 0.3 g de selenio (Se) y 3 ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) , se dejó reposar durante 2 horas, transcurrido el tiempo se colocó en una parrilla digestora dentro de la campana de extracción de humos hasta que la muestra adquirió un color verde pistache, se retiró de la placa y se dejó enfriar en un baño de arena. Una vez que la muestra estaba fría, se le añadieron 20 ml de agua desionizada y se dejó enfriar. Posteriormente se le añadieron 3 gotas de fenoftaleína. Por otra parte, se preparó una mezcla receptora colocando 30 ml de ácido bórico (H_3BO_3) al 4% en vasos de precipitado, adicionándoles 6 gotas de rojo de metilo y 6 gotas de verde de bromocresol. A los matraces Kjeldahl con la muestra digerida se les agregó hidróxido de sodio (NaOH) al 40% hasta que adquieren una coloración púrpura y se pusieron a destilar en un destilador (Micro Kjendhal Labconco Rapid Destillation Unit), hasta que la mezcla receptora cambia a un color la verde turquesa. Se retiró el matraz Kjeldahl del destilador. Finalmente se titula el contenido del vaso receptor con ácido clorhídrico 0.2 N.

El porcentaje de Nitrógeno total se expresó como:

$$Nt (\%) = [(\text{ml HCl}) * (\text{Normalidad del HCl}) * (0.014) * (100)] / \text{peso de la muestra (g)}$$

Reactivos

- Fenoftaleina

Se pesaron 0.250 g de fenoftaleina y se agregaron a 250 ml de alcohol etílico absoluto, se agito y se guardó en un frasco color ámbar.

- Ácido bórico

Se puso a hervir 500 ml de agua desionizada y se agregaron 40 g de ácido bórico, se disolvieron y se aforo a 1000 ml con agua desionizada.

- Hidróxido de sodio (40%)

Se pesaron 400 g de NaOH y se disolvieron con 1000 ml de agua desionizada, se dejó enfriar y se aforo de nuevo a 1000 ml.

- Rojo de metilo

Se pesó 0.1 g de rojo de metilo y se disolvió con 100 ml de alcohol etílico absoluto. Este reactivo debe ser almacenado en un frasco color ámbar.

- Verde bromocresol

Se pesó 0.1 g de verde de bromocresol y se disolvió con 100 ml de alcohol etílico absoluto. Este reactivo debe ser almacenado en un frasco color ámbar.

3.9.6 Nitratos

Para la determinación de nitratos se pesaron 0.2 g de muestra, adicionándole 25 ml de agua desionizada en un vaso de precipitado, la muestra se puso en un agitador de órbita, durante 20 minutos para lograr un solución concentrada. Transcurrido el tiempo se filtró en un vaso de precipitado. Se tomaron 5 ml y se le agregó 2 ml de CaCO_3 más 1 ml de peróxido de hidrógeno. Posteriormente se colocó en la estufa de secado por 24 horas a una temperatura de 30°C . Transcurrido el tiempo, se retiró la muestra de la estufa y se realizó la recuperación de la muestra agregando 3 ml de fenol-disulfónico, más 50 ml de agua desionizada, más 20 ml de NH_4OH y se aforó a 100 ml con agua desionizada. Finalmente se tomó la lectura de la muestra en el espectrofotómetro UV (Modelo Spectronic® Genesys 5) a 425 nm de absorbancia.

El cálculo se realizó de la forma siguiente:

$$\text{NO}_3 \text{ (ppm)} = [(- 0.000847459 - \text{Absorbancia}) / 0.093220338] * 2500$$

Reactivos

- Carbonato de calcio

Se pesaron 5 g de carbonato de calcio (CaCO_3) y se diluyeron en 1000 ml de agua desionizada, se agito y se filtró. Se almaceno en un recipiente color ámbar.

- Hidróxido de amonio

Se mezclaron 500 ml de hidróxido de amonio con 500 ml de agua desionizada.

- Fenoldisulfónico

Se pesaron 25 g de fenol y se agregaron a 225 ml de ácido sulfúrico concentrado, se colocó en una placa caliente a una temperatura constante de 110 °C durante 2 horas.

3.10 Generación de estándares nutricionales en la parte comestible y cáscara de la nuez.

Con los resultados de los análisis de los micro y macronutrientes en harina de la parte comestible y la cáscara de la nuez se obtuvieron para cada nutriente analizado, así como para las siguientes relaciones entre cationes $(\text{Ca} + \text{Mg})/\text{K}$, $\text{Ca}/(\text{K} + \text{Mg})$, $\text{Mg}/(\text{K} + \text{Ca})$, Ca/Mg , K/Mg , y las relaciones entre macronutrientes con respecto al $\text{Zn N}/\text{Zn}$, P/Zn , K/Zn , nueve niveles (intervalos o valores) nutricionales, *deficiente, muy bajo, bajo, medianamente bajo, suficiente, medianamente alto, alto, muy alto y exceso*; definidos como los nueve posibles rangos en los que pueden estar los nutrientes en la planta, relacionados con el crecimiento y la producción del cultivo (Etchevers, 1996; Uvalle-Bueno, 1993).

Con los datos de cada nutriente, se graficó un histograma de frecuencias de nueve intervalos de clase (niveles nutricionales), cada histograma se fue ajustando, en lo posible, para aproximarse a una distribución normal, modificando las marcas de clase de cada intervalo, mediante prueba y error.

Para graficar el histograma se utilizó el procedimiento proc chart del paquete estadístico Statistics Analysis System (SAS for Windows rel. 6.08, SAS Institute Inc., 1990), tomando como referencia para el establecimiento de los intervalos la media y la desviación estándar del conjunto de datos obtenido mediante proc invariance del SAS, de tal manera que estuvieran muy próximos sus valores o bien que coincidieran, de tal manera que se mantuviera la congruencia real de los datos una vez que fueron agrupados.

Para hacer el ajuste de los datos se debió cumplir con la premisa de que la media de las marcas de clase extremas (deficiente y exceso) debió coincidir con la marca de clase central (suficiente); así mismo, la media de las marcas de clase intermedias (bajo y alta) también debería coincidir con la marca de clase central, teniendo o no el mismo intervalo entre ellas (es decir, la distancia entre la marca suficiente +/- u intervalo, puede ser distinta a aquella de bajo-deficiente, alto exceso, pero dentro de ellas deberá ser la misma . La mayor cantidad de observaciones se tuvo en la marca de clase central (*suficiente*), después en las marcas de clase intermedias (de preferencia con igual número de observaciones para cada una) y finalmente en las marcas extremas con la menor cantidad de observaciones (preferentemente también con igual número de observaciones entre ellas, tratando en lo posible y de acuerdo al ajuste tener valores mayores a cero).

Además, la marca de clase del intervalo deficiente dividido entre la marca de clase suficiente debería dar valores ≤ 0.5 y la marca de clase exceso entre la media de la marca de clase suficiente debería ser ≥ 1.41 , estos son los valores críticos para diagnosticar desbalance nutricional, para el primer caso y desbalance fisiológico, para el segundo (Uvalle-Bueno; 1993, 1995). El análisis incluyó los valores de los contenidos nutricionales de las muestras tanto de árboles “sanos nutricionales” como los “enfermos nutricionales”, considerando por lo tanto todo el universo de muestreo.

Definidas las marcas de clase en las tablas de frecuencias para cada uno de los nutrientes, se obtuvieron los valores límites inferior y superior para determinar el intervalo de clase, obteniendo la media entre marcas de clase sucesivas,

generándose de ésta manera los límites de cada uno de los rangos nutricionales (*deficiente, muy bajo, bajo, medianamente bajo, suficiente, medianamente alto, alto, muy alto y exceso*) para nogal pecanero 'Western Schley'. Posteriormente, para cada nutrimento se construyó la respectiva tabla de frecuencias para obtener la media y desviación estándar y comparar con aquella determinada mediante proc univariante y de esta manera conocer el grado de aproximación para mayor reflejo de la realidad en función de los datos gruesos.

Cuando las marcas de clase extremas (deficiente y exceso) tuvieron la misma frecuencias, así como aquellas intermedias (bajo y alto) y como ya se mencionó con la marca de clase central con la mayor frecuencia, la media aritmética de la tabla de frecuencias coincidió con la marca de clase central (suficiente), por lo tanto valores mayores o menores de la media en relación a la marca de clase central nos indicaron hacia donde se cargaba el histograma (y por consiguiente los contenidos nutricionales). Para el intervalo nutricional suficiente, se obtuvo la diferencia entre el límite superior y el límite inferior ($DIF = LS - LI$), el cociente entre ambos límites (LI/LS), los cocientes de los límites inferior y superior entre la media del intervalo suficiente (LI/M , LS/M).

Un análisis adicional consideró a todos los intervalos para cada categoría con sus respectivas marcas de clase y frecuencia, valores DDI (cociente de cada marca de clase con respecto a aquella del intervalo suficiente), distancias entre marcas de clase en unidades originales (por ciento y $mg\ kg^{-1}$) y estandarizadas a partir de la desviación estándar obtenido en la tabla de frecuencias para determinar el promedio de unidades estándar de distancia de cada intervalo (su marca de clase o valor medio) con respecto a la media del intervalo de suficiencia.

3.11 Análisis estadístico

3.11.1 Superficie respuesta

Dada el arreglo factorial acotado Taguchi L25 para la generación de tratamientos, se realizó un análisis de superficie de respuesta cuadrática completa, ajustando la superficie para determinar los niveles de los factores para óptima respuesta (SAS,

1989; Vargas *et al.*, 1991). Esta técnica se emplea cuando cada factor es estudiado en al menos tres o más niveles, se estima una superficie de respuesta cuadrática por regresión con el método de mínimos cuadrados. El óptimo valor predicho puede ser encontrado a partir de la superficie estimada, si la forma de la superficie se asemeja a una simple colina o a un valle. Si la superficie estimada es más complicada o si el óptimo predicho está fuera de la región de experimentación, entonces la forma de la superficie puede ser analizada para indicar las direcciones en las cuales se deberán realizar nuevos experimentos.

El análisis de superficie de respuesta contempla los siguientes pasos:

1. Ajuste del modelo y análisis de varianza para estimar los parámetros. Se estiman los parámetros del modelo usando regresión por el método de mínimos cuadrados y se obtiene información acerca del ajuste en la forma de un análisis de varianza. La superficie estimada será típicamente curvada: una colina, cuyo pico ocurre en el único punto estimado de máxima respuesta, un valle o una superficie en forma de silla (saddle) sin ningún máximo o mínimo. Este análisis se realiza para determinar: a) si los tipos de efectos son lineales, cuadráticos o de productos cruzados, b) que tanto del error residual es debida a la falta de ajuste, y si la respuesta cuadrática representa la verdadera superficie de respuesta, c) cuál es la contribución de cada factor en el ajuste estadístico
2. Análisis canónico para investigar la forma de la superficie de respuesta predicha. Se examina la forma general de la curva y se determina si el punto fijo es un máximo, un mínimo o un punto silla (saddle). El análisis canónico de la superficie de respuesta determina a) si la forma de la superficie se asemeja a una colina, valle, una superficie silla (saddle), o una superficie plana, b) si existe una combinación óptima única de los valores de los factores y cuáles son, c) cuál factor o factores son las respuestas predichas más sensibles.
3. Análisis de cordillera (ridge) para la búsqueda de la óptima respuesta. Si la superficie estimada tiene un óptimo simple, el análisis realizado con los dos

pasos anteriores puede ser suficiente. En situaciones más complejas, se requiere la búsqueda adicional para la región de óptima respuesta. El método del análisis de cordillera (ridge) calcula la respuesta óptima de la cordillera estimada incrementando el radio desde el centro del diseño original para determinar a) si no existe un óptimo único de la superficie de respuesta dentro del rango de experimentación, en qué dirección se deberá realizar la búsqueda para encontrar el óptimo.

Interpretación del análisis canónico. Los eigenvalores y eigenvectores en los parámetros de la matriz de segundo orden caracterizan la forma de la superficie de respuesta. Los eigenvectores señalan la dirección de la principal orientación de la superficie, y los signos y magnitudes de los eigenvalores asociados proporcionan la forma de la superficie en esas direcciones. Eigenvalores positivos indican direcciones de la curvatura hacia arriba y eigenvalores negativos indican direcciones de la curvatura hacia abajo.

Entre más grande un eigenvalor en valor absoluto, más pronunciada es la curvatura de la superficie de respuesta en esa dirección. Frecuentemente, la totalidad de los coeficientes de un eigenvector, excepto uno, son relativamente pequeños, indicando que el vector señala fuertemente a través del eje asociado con el factor correspondiente al coeficiente grande. En este caso, el análisis canónico puede ser usado para determinar la relativa sensibilidad de la superficie de respuesta predicha a las variaciones en aquél factor.

El eigenvector para el eigenvalor más grande da la dirección de ascenso pronunciado a partir del punto fijo, si es positivo, o descenso pronunciado, si es negativo. Los eigenvectores correspondientes a eigenvalores pequeños o cero señalan direcciones de aplanado relativo.

Para determinar si la solución es un máximo o un mínimo, se observa el signo de los eigenvalores de A (matriz simétrica $k \times k$ de los parámetros cuadráticos, con los elementos de la diagonal igual a los coeficientes de los términos cuadráticos puros en el modelo y los elementos fuera de la diagonal igual a la mitad de los coeficientes de los productos cruzados correspondientes):

Cuadro 6. Criterios para determinar si la solución es máxima o mínima

Si los Eigenvalores	La solución es
Son todos negativos	Un Máximo
Son todos positivos	Un mínimo
Tienen signos mezclados	Un punto silla (saddle)
Contienen ceros	Un área aplanada

El análisis estadístico mencionado se realizó utilizando el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System, Release 9.01).

Con el propósito de ayudar en la interpretación de los resultados congeniando los aspectos estadísticos con los parámetros de producción y acabado de fruto, y calidad, se establecieron criterios óptimos para cada variable y de esta manera obtener dentro de que rangos de los nutrientes aplicados se pueden lograr esos valores a partir de la superficie de respuesta estimada, por lo que se consideraron tanto la respuesta mínima como la máxima estimada del análisis de cordillera (ridge). Para ello, se utilizaron los operadores codificados para cada uno de los niveles de los factores a través de la ecuación:

$$\text{Valor codificado} = (\text{valor original} - M)/S$$

Donde M es el promedio de los valores más alto y más bajo para cada uno de los factores en el diseño y S es la mitad de su diferencia. El propósito de la codificación es interpretar los resultados del análisis canónico y de cordillera (ridge), haciendo que los valores de las diferentes factores sean comparables; de esta manera, el nivel mínimo de cada factor en el diseño es -1 y su máximo es +1, realizando el análisis con valores codificados en lugar de las unidades originales, el análisis de varianza no es afectado por estos cambios, esta práctica tiene el beneficio adicional

de hacer 1 un límite razonable del radio para el análisis de cordillera (ridge), puesto que 1 representa aproximadamente el extremo de la región experimental.

La superficie de respuesta estimada está en función del radio codificado que es la distancia a partir de la versión codificada del punto asociado con la versión codificada del origen de la cresta. El origen está dado por el punto en radio cero.

Los valores propuestos para las variables de respuesta, algunos obtenidos de la literatura y otros de acuerdo a la experiencia que se ha venido acumulando con el comportamiento de la huerta

3.11.2 Ponderación de los factores

Seguido del análisis de superficie respuesta se resumió el comportamiento de todas las variables de respuesta (agrupadas o no por categorías) en un Cuadro donde se especifican los factores y la media simple para cada uno de ellos, la respuesta y las interacciones entre los factores. Seguido se toman los eigenvalores resultantes expresados como porcentajes de la media, positivos o negativos según sea el caso; la contribución de los eigenvectores se expresa con signos redondeados a partir de 0.25 (es decir se parte del primer cuartil o mayor) tal que $0.2501 \leq + \leq 0.3749$, $0.3750 \leq ++ \leq 0.6249$, $0.6250 \leq +++ \leq 0.8749$, $++++ > 0.8750$, lo mismo sería para el caso de eigenvectores negativos, de esta manera se pondera cuales factores son los que más influyen en esa variable.

Finalmente se realizó un cuadro metaresumen en donde se encuentra el resumen de cada una de las categorías analizadas, con el objetivo de determinar cuáles son los factores de mayor peso para el conjunto de las categorías analizadas y determinar las dosis recomendadas incluyentes de las categorías de variables para cada factor.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Componentes de Rendimiento

En la primera sección del Cuadro 7 se muestra el análisis de la regresión y varianza para determinar la contribución de cada factor al ajuste de la regresión en la variable de producción, los resultados indicaron que la media de producción fue de 2.39 t ha^{-1} , el N y el humus líquido mostraron un ajuste lineal y cuadrático a la regresión, por otro lado las interacciones entre los factores fueron el P_2O_5 con el K_2O , el P_2O_5 también mostró interacción con el humus líquido, por su parte el K_2O interactuó con el humus líquido. En la segunda sección del Cuadro 7 se muestra el análisis canónico de la superficie respuesta, el punto predicho fue de 0.2339 y los valores críticos fueron para el año 1.2146, MgO 9.4996, N 111.6386, P_2O_5 55.6628, K_2O 42.4106, CaO 47.0598, humus líquido 1020.7787, humus sólido 3075.8037, estos resultados se utilizaron para obtener las gráficas de los factores significativos y sus interacciones. Los eigenvectores mostraron significancia en el N, P_2O_5 , K_2O , humus líquido y humus sólido. En la tercera sección del Cuadro 7 se muestran los valores predichos para la superficie respuesta máxima o mínima, en esta sección se encuentra que dosis se recomiendan aplicar de cada uno de los factores para obtener un resultado puntual, un ejemplo es que para obtener una producción de 2.55 t ha^{-1} , las dosis de fertilización recomendadas fueron MgO 9.9 Kg ha^{-1} , N 143.8 Kg ha^{-1} , P_2O_5 61.4 Kg ha^{-1} , K_2O 53.1 Kg ha^{-1} , CaO 221.5 Kg ha^{-1} , humus líquido 2594.0 L ha^{-1} , y humus sólido $3952.3 \text{ Kg ha}^{-1}$. Los porcentajes de incrementos y decrementos fueron la producción Finalmente se encuentran los porcentajes de incremento y decremento con respecto a la media para obtener un aumento en la producción de un 453%, se deberá disminuir la aplicación de MgO en un 1.7%, y el humus sólido en un 3.3%, y se deberá aumentar la aplicación del N en un 51.2%, el P_2O_5 un 11.4%, el K_2O un 12.6%, CaO el 19.8 % y el humus líquido en un 81.8% con respecto a la media.

Cuadro 7. Superficie de respuesta máxima^U del análisis conjunto para producción en nogal 'Western Schley' tratado con macronutrientes y materia orgánica. 2016-2018

		Factores							
		Año	MgO ^Z	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Hu_líqu	Hu_sol
Regresión		0.0201 ^V	0.7530	<.0001	0.0984	0.2119	0.7065	0.0538	0.5717
Lineal (L)	0.0222 ^V			L ^X , C				L, C	
Cuadrático C	0.0012	N ^Y			K ₂ O	Hu_líqu			
Productos	0.0311				Hu_líqu				
Modelo	0.0004								
		R ² 0.3117		C.V. 33.70		μ 2.39			
Análisis Canónico de la superficie de respuesta									
Predicho punto fijo				Valores críticos					
0.2339		1.2146	9.4996	111.6386	55.6628	42.4106	47.0598	1020.7787	3075.8037
Eigenvalores ^T				Eigenvectores					
99.15	-0.0561	0.0124	0.8650	0.2656	-0.0175	0.1234	0.3973	-0.0674	
71.08	0.0357	-0.042	-0.3414	-0.1198	0.4120	0.0833	0.8292	0.0426	
-69.95	-0.0229	0.0295	-0.1133	0.7324	0.5366	0.1893	-0.2375	0.2629	
Valores predichos									
t ha ⁻¹	Error E.	Kg ha ⁻¹							
0.94	0.878	2	10.0	120.0	60.0	50.0	200.0	1800.0	4000.0
1.19	0.925	2	10.0	123.4	59.6	50.3	204.6	1966.3	3990.3
1.47	1.000	2	9.9	127.5	59.6	50.9	209.1	2129.8	3982.6
1.79	1.104	2	9.9	132.3	60.0	51.6	213.4	2289.2	3974.2
2.15	1.237	2	9.9	137.7	60.6	52.3	217.5	2444.0	3964.1
2.55	1.397	2	9.9	143.8	61.4	53.1	221.5	2594.0	3952.3
3.00	1.583	2	9.9	150.4	62.3	53.8	225.3	2739.1	3938.6
3.48	1.793	2	9.9	157.5	63.3	54.5	229.0	2879.2	3923.3
4.01	2.024	2	9.8	165.1	64.4	55.2	232.6	3014.6	3906.4
4.58	2.274	2	9.8	173.1	65.6	55.7	236.1	3145.4	3888.3
5.20	2.544	2	9.8	181.4	66.8	56.3	239.5	3271.9	3868.9
		Porcentaje de incremento (+) decremento (-) con respecto a la media simple							
+453.2		-1.7	+51.2	+11.4	+12.6	+19.8	+81.8	-3.3	

^TEigenvalores expresados como porcentaje de la media de la variable respuesta ^UAnálisis de cordillera (Ridge). μ Media general, C.V. Coeficiente de variación, R² Coeficiente de determinación. ^VProbabilidad de F: Pr ≥ 0.05 No significativo, Significativo 0.05 ≤ Pr ≤ 0.01, altamente significativo Pr ≤ 0.01. ^XRespuesta (Pr > |t|) significativa lineal (L), cuadrática (C); ^YProductos significativos de ese factor con el resto. Fuentes de fertilizantes: nitrógeno (N) UAN32, 33.67% N, D = 1.32, pH 7.0; fósforo (P₂O₅) ácido fosfórico (H₃PO₄) 49.02% P₂O₅, D = 1.61, pH < 1.0; potasio (K₂O) tiosulfato de potasio (K₂S₂O₃), 12.63% K₂O, D = 1.46, pH 7.0, azufre (S) 17.0%; calcio (CaO) CaSO₄·2H₂O (SoluGyp^{MR}) 31.31% CaO, S 17.0%; Humus líquido, humus de Lombriz líquido (OptiHumus^{MR}) pH 8.20, CE 4.06 dS m⁻¹, M.O. 0.11%, C 0.06%, relación C/N 3.13, Nt 0.02%, P 0.01%, K 0.13%, Ca 0.01%, Mg 0.004%, Na 0.02%, Cu 0.60 mg L⁻¹, Fe 3.70 mg L⁻¹, Mn 1.10 mg L⁻¹, Zn 0.11 mg L⁻¹, B 7.33 mg L⁻¹; humus sólido, humus de lombriz sólido (OptiHumus^{MR}), pH 8.12, CE 10.16 dS m⁻¹, M.O. 21.70%, C 12.59%, relación C/N 6.57, Nt 1.91%, P 0.96%, K 1.68%, Ca 3.52%, Mg 1.35%, Na 0.27%, Cu 34.04 mg L⁻¹, Fe 11850.3 mg L⁻¹, Mn 458.8 mg L⁻¹, Zn 173.7 mg L⁻¹, B 164.7; ^ZMagnesio como factor de señalización MgSO₄·7H₂O 15.62% MgO, 18.0% S. Valores predichos en negrilla corresponden a la media simple para cada factor.

En el Cuadro 8 se observan el resumen de los resultados del análisis estadístico para las variables de producción, número de nueces por kilogramo, porcentaje de almendra comestible, índice de alternancia e índice de producción a largo plazo.

4.1.1 Producción

Para la variable producción la media fue de 2.39 t ha⁻¹. La producción media nacional reportada de 1.7 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2018). Vázquez *et al.* (2018) reportaron que durante los años 2001-2013 la producción en la región de la Comarca Lagunera, México fue de 1.73 t ha⁻¹. Por otro lado en una investigación donde se probó la fertilización mineral y orgánica en el nogal pecanero durante dos años, se reportó una producción media de 1.34 t ha⁻¹ (Flores *et al.*, 2018). Por tanto la producción en esta investigación es mayor a lo reportado. En la Figura 4a, se observa que la producción aumentó en un 13.84% desde el año 2016 al año 2018. El N y el humus líquido mostraron una respuesta lineal y cuadrática (Figura 5a, 5b). Los principales factores que influyeron en esta variable son N, P₂O₅, K₂O y humus líquido. Estos resultados se pueden atribuir a que el N y el K están estrechamente relacionados con la producción en el nogal pecanero (Wells y Wood, 2007). A su vez al P se le atribuye el aumento en el peso de la nuez impactando en el rendimiento (Aguilar *et al.*, 2003). Los resultados indican que existe una interacción entre el humus líquido, el P₂O₅ y el K₂O. En la Figura 6a se observa la interacción entre el humus líquido y el P₂O₅, la cual indica que tanto el humus líquido como el P₂O₅ contribuyen en el incremento de la producción, sin embargo cuando existe una interacción entre ambos factores, la producción logra alcanzar mayores valores. Este comportamiento es atribuido a que cuando se aplican enmiendas orgánicas como es el humus líquido y fertilizantes minerales la producción aumenta, inclusive se reporta que fertilización mineral se pueden disminuir (Soto *et al.*, 2016; Flores *et al.*, 2018). Esto debido a que las enmiendas orgánicas no solo facilitan la absorción de nutrientes, sino que también facilitan la asimilación de estos (Labrador, 2001).

Cuadro 8. Resumen componentes de rendimiento en el cultivo del nogal pecanero 'Western Schely' tratado con macronutrientes y materia orgánica. 2016 – 2018

Eigenvalores	Año	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Hu-líqu	Hu_sol	Eigenvectores
	2	10.0^T	120.0	60.0	50.0	200.0	1800.0	4000.0	Total Prop. +/-
Producción μ 2.39 (0.94 – 5.20 t ha ⁻¹) ^V									
99.2 ^U			+++ ^W	+			++		6 6 / 0
71.1			-		++		+++		6 5 / 1
-70.0				+++	++			+	6 6 / 0
Freq.	0	0	4	4	4	0	5	1	18 ^Y
Respuesta			L,C ^R				L,C		
Interacción				K, HL ^S	HL				
Kg ha ⁻¹		9.8	181.4	66.8	56.3	239.5	3271.9	3868.9	Selección \geq 4
Nueces kg ⁻¹ μ 157 (166 – 134)									
16.8				+++	+			++	6 6 / 0
5.2			+		+	++	--	-	7 4 / 3
-11.3	++++								4 4 / 0
-19.4			+		+	+	+++		6 6 / 0
Freq.	4	0	2	3	3	3	5	3	23
Respuesta	L,C			L,C			L,C	L	
Interacción	Mg,		K, HL	Ca	HL	HL			
P,K									
Kg ha ⁻¹		9.7	139.5	52.2	59.9	240.5	2659.4	3867.4	Selección \geq 5
Porcentaje de nuez comestible μ 58.9 (56.5 – 59.7%)									
3.1	+		--	+++	+	+			8 6 / 2
2.4	++++			-					5 4 / 1
-1.1		+++	+	+	-				6 5 / 1
-3.0			++			+	+++		6 6 / 0
Freq.	5	3	5	5	2	2	3	0	25
Respuesta	L,C	C							
Interacción	Mg,K	N							
Kg ha ⁻¹	2	9.3	140.1	28.1	35.7	116.4	1258.9	3251.0	Selección \geq 5
Índice de Alternancia μ 31.58% (15.6 – 54.8)									
81.2			--	+++	++	+			8 6 / 2
21.5		++		--	++	+			7 5 / 2
-43.8			+		++	---	-		7 3 / 4
-100.3			++		+		+++		6 6 / 0
Freq.	2		5	5	7	5	4	0	28
Respuesta									
Interacción			K						
Kg ha ⁻¹		10	120.0	60.0	50.0	200.0	1800.0	4000.0	Selección \geq 5
Índice de Productividad a Largo Plazo μ 9.59% (1.64 – 31.29)									
168.9			++	++			+++		7 7 / 0
104.4			+++				--		5 3 / 2
-97.6				++	++	++			6 6 / 0
Freq.	0		5	4	2	2	5	0	18
Respuesta	L,C					L			
Interacción				HL	Ca				
Kg ha ⁻¹		9.8	164.5	84.1	51.8	181.2	3287.2	4359.9	Selección \geq 4
Resumen									
Subtotal	9 ^Z	5	21	21	18	12	22	4	112 112
Selección	1 / 5	0 / 5	4 / 1	4 / 5	2 / 5	1 / 5	3 / 5	0 / 5	Proporción +/-
Prop. +/-	9 / 0	5 / 0	16 / 5	18 / 3	17 / 1	9 / 3	17 / 5	3 / 1	94 ^Z / 18
Promotor %			76.2	85.7			77.3		
Depresor %			23.8	14.3			22.7		
Máximo			181.4	93.5			3287.2		Selección \geq 19

^RTipo de respuesta (L) lineal, (C) Cuadrática. ^Sinteracción entre factores (N) nitrógeno, (P) fósforo, (K) potasio, (Ca) Calcio, (HL) humus líquido, (HS) humus sólido. ^TMedia simple niveles de los factores; ^UEigenvalores expresados como porcentaje de la media de la variable respuesta; ^VRango entre paréntesis corresponde a los valores predichos a partir de la media simple; ^WCada signo corresponde a múltiplos de 0.25 redondeado al cuarto más cercano; ^YFrecuencia total observada para esa variable, se multiplica por el 20% para seleccionar los factores de mayor peso; ^ZFrecuencia total para el conjunto de variables, se seleccionan aquellos factores con un subtotal igual o mayor al 20%.

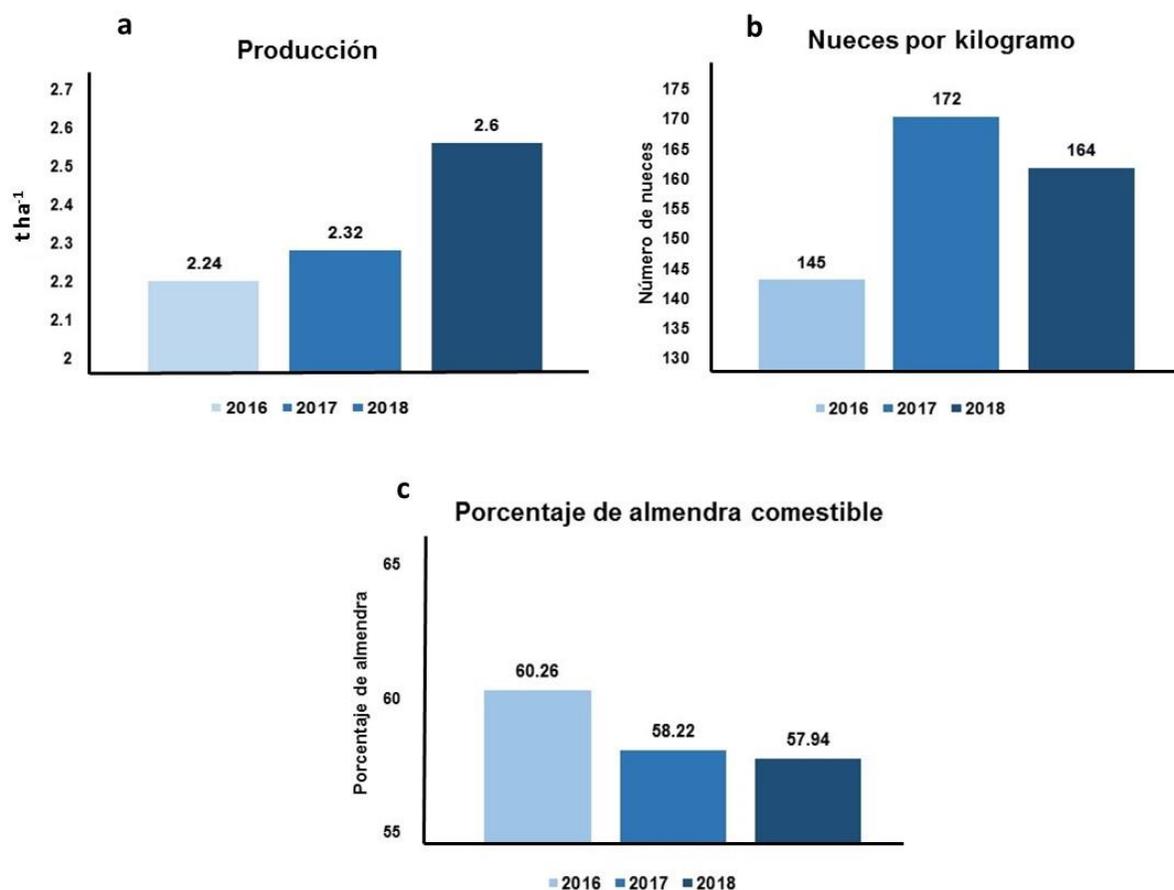


Figura 4. Gráficas para los componentes de rendimiento durante los ciclos 2016, 2017, 2018. (a) Medias de producción por año. (b) Medias de no. de nueces por kilogramo por año. (c) Medias de porcentaje de almendra comestible.

4.1.2 Número de nueces por kilogramo

Para determinar la calidad de la nuez se toman en cuenta parámetros como el tamaño del fruto, el color de la nuez, el porcentaje de almendra comestible, así como los daños que tenga la nuez (Sánchez *et al.*, 2009).

En la variable número de nueces por kilogramo entre menor sea el número de nueces por kilogramo la clasificación por tamaño es mayor. Los resultados en esta investigación indicaron que la media fue de 157 nueces por kilogramo en los tres años, por lo tanto la nuez se clasifica como una nuez de tamaño grande. Flores *et al.* (2018) reportaron 171 nueces por kilogramo, por su parte Soto *et al.*, 2016

reporto 163 nueces por kilogramo, en ambas investigaciones la fertilización fue mineral y se adicionaron enmiendas orgánicas. En la Figura 4b, se muestran las medias durante los tres años de estudios y se muestra un incremento del 12.73% en el número de las nueces por kilogramo, sin embargo este aumento no repercute en la clasificación de la nuez con base en la Norma Mexicana FF-084-SCFI-2009. Dentro de los factores analizados únicamente el humus líquido fue el factor que tiene peso sobre esta variable. El P_2O_5 y el humus líquido presentaron respuestas lineal y cuadráticas (Figuras 5c y 5d). En la Figura 6b se observa la interacción entre el humus líquido y K_2O_5 , esta interacción indica que si las dosis de estos factores aumentan, el número de nueces por kilogramo aumentara, lo cual no favorece la calidad de la nuez.

4.1.3 Porcentaje de nuez comestible

El porcentaje de nuez comestible, es un parámetro importante ya que es la base para la comercialización de la nuez (Orona *et al.*, 2013). Entre mayor sea el porcentaje de nuez comestible mayor será su precio en el mercado. La media del porcentaje de nuez comestible durante los tres años evaluados fue de 58.9%, por lo que su clasificación es calidad I. Investigaciones recientes muestran valores de 58.2% de nuez comestible Soto *et al.* (2016), por su parte Flores *et al.* (2018) obtuvieron un 58.4% de nuez comestible. Por tanto el porcentaje de nuez comestible es similar pero mayor a lo reportado. En la Figura 4c, se observa que a lo largo de los tres años el porcentaje de nuez comestibles disminuye en un 3.85%. Esta disminución en el porcentaje de nuez comestible se le atribuye a que cuando la producción aumenta la calidad de la nuez va ser menor (Conner y Worley, 2000; Flores *et al.*, 2016). Sin embargo aun con esta disminución en el porcentaje de nuez comestible, la clasificación de la nuez continúa siendo calidad I, por lo cual es bien aceptada en el mercado. Los factores que tuvieron mayor peso sobre esta variable fueron el año, N y P_2O_5 . En el caso del año significa que las condiciones climáticas durante el estudio tuvieron un impacto en el porcentaje de nuez comestible. Cuando se analizan las temperaturas máximas se encontró que el año 2017 mantuvo los mayores valores, sin embargo en este año se presentaron las mayores precipitaciones pluviales, logrando favorecer al cultivo. Por otro lado el N al estar

presente en moléculas necesarias para las plantas como lo son las clorofilas, aminoácidos, proteínas, ADN, lo convierte en un factor limitante para desarrollo y producción en el nogal pecanero (Yáñez-Muñoz *et al.*, 2015). Finalmente el P está relacionado con el incremento en el peso de la nuez (Aguilar *et al.*, 2003). A su vez existe una interacción entre el N y Mg (Figura 6c) donde se observa que a mayor aplicación de N aunado a una dosis media de Mg aumenta el porcentaje de nuez comestible, esta sinergia se le puede atribuir a que estos dos elementos están presentes en las moléculas de clorofila, las cuales son fundamentales para la síntesis de compuestos en las plantas (De Castro *et al.*, 2014; Huang, *et al.*, 2019).

4.2 Índice de alternancia

La alternancia es uno de los principales problemas biológicos que impacta en la producción del nogal pecanero (Wood *et al.*, 2003). En esta investigación se obtuvo una media para el índice de alternancia de 31.58%, con un rango de 15.6% a 54.8%. Este valor es menor a lo reportado en dos investigaciones anteriores, las cuales se realizaron en la Comarca Lagunera en el norte de México, donde se evaluaron 14 huertas entre los años 1995 y 1997, la media del índice de alternancia reportado fue de 52%, con un rango de 23 al 94% (Medina *et al.*, 2000; Santamaria *et al.*, 2002). Los factores que mostraron un impacto en esta variable son el N, P₂O₅, K₂O, Ca. Esto se le atribuye a que el N es el nutriente más demandado por las plantas, debido a la importancia en la síntesis de compuestos (Yáñez-Muñoz *et al.*, 2015). Por su parte el P tiende a incrementar el peso de la nuez (Aguilar *et al.*, 2003). Y el K es un elemento que es esencial en la fotosíntesis, la síntesis de carbohidratos y proteínas, además como activador de enzimas. Finalmente el Ca tiene la capacidad de prevenir la toxicidad por Na, por tanto ayuda en la absorción de K y NO₃, aún en presencia de Na (Yáñez *et al.*, 2010). Y se ha visto que corrige el problema del rajado de nuez con lo cual se contribuye a una mayor producción (Sparks, 1986). Es por esto que en N, P₂O₅, K₂O, CaO fueron los factores que mostraron el mayor impacto sobre la alternancia en el nogal pecanero. Por otro lado el N mostró una interacción con el K₂O₅, en la Figura 6d se observa que si se aumenta la dosis del N y el índice de alternancia aumenta. Esto se le puede atribuir a que el exceso de N en el nogal pecanero provoca el crecimiento vegetativo excesivo, lo cual afecta

directamente a la calidad y producción de la nuez debido a la competencia entre el crecimiento vegetal y el fruto, además el exceso de N en el nogal provoca la germinación de las nueces (Sparks, 1994). También se observó que cuando el K_2O disminuye, el índice de alternancia aumenta y esto es debido a que cuando existe una deficiencia de K en el nogal, se provoca una defoliación temprana, afectando directamente a la producción del siguiente año (Yáñez *et al.*, 2010). En la misma gráfica se observa que cuando se rompe el equilibrio entre el N y K_2O el índice de alternancia aumenta, esto se le atribuye a que cuando la dosis de N es excesiva se desarrolla una deficiencia de K dando como resultado el retraso de la floración, por otro lado cuando la dosis de K es excesiva la deficiencia causara el acolchado o quemadura de la hoja provocando la defoliación del nogal, además de que un exceso de K en el nogal afecta la absorción del Mg y Zn (Yáñez *et al.*, 2010). Por lo tanto se recomienda mantener un adecuado balance entre el N y el K_2O .

4.3 Índice de productividad a largo plazo

El índice de productividad a largo plazo (IP) se puede definir como, el porcentaje de incrementó en la productividad a lo largo del tiempo. En esta investigación la media fue de 9.59%, con un rango de 1.64 a 31.29%. Los factores que mostraron influencia sobre el IP son el N, P_2O_5 y humus líquido. Además el P esta interactuando con el humus líquido. Los resultados coinciden con lo reportado por Flores *et al.* (2018) ya que afirmaron que la producción y la calidad de la nuez se pueden asegurar desde un año antes, mediante una adecuada fertilización de N, P y enmiendas orgánicas. Es importante resaltar que estos factores (N, P_2O_5 y humus líquido) también mostraron ser de peso en la producción y alternancia las cuales son variables que están directamente relacionadas con el IP.

Los rangos que se definieron para una óptima producción y reducción del índice de alternancia son N 181.4 kg ha^{-1} , de P_2O_5 93.5 Kg ha^{-1} , y de humus líquido 3287.2 L ha^{-1} .

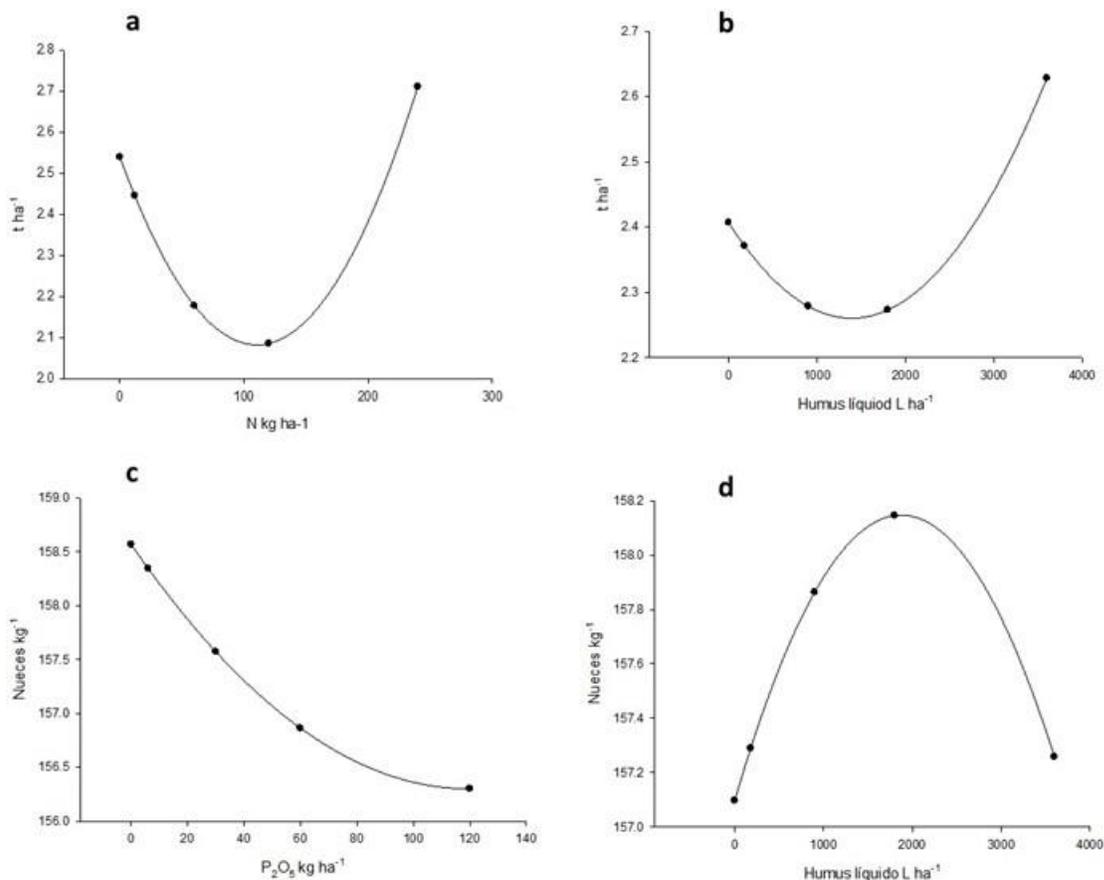


Figura 5. Tipo de respuesta en componentes de rendimiento. (a) Gráfica de la respuesta del N en la variable de producción. (b) Gráfica de la respuesta del humus líquido en la variable de producción. (c) Gráfica de la respuesta del P₂O₅ en la variable de nueces por kilogramo. (d) Gráfica de la respuesta del humus líquido en la variable de producción.

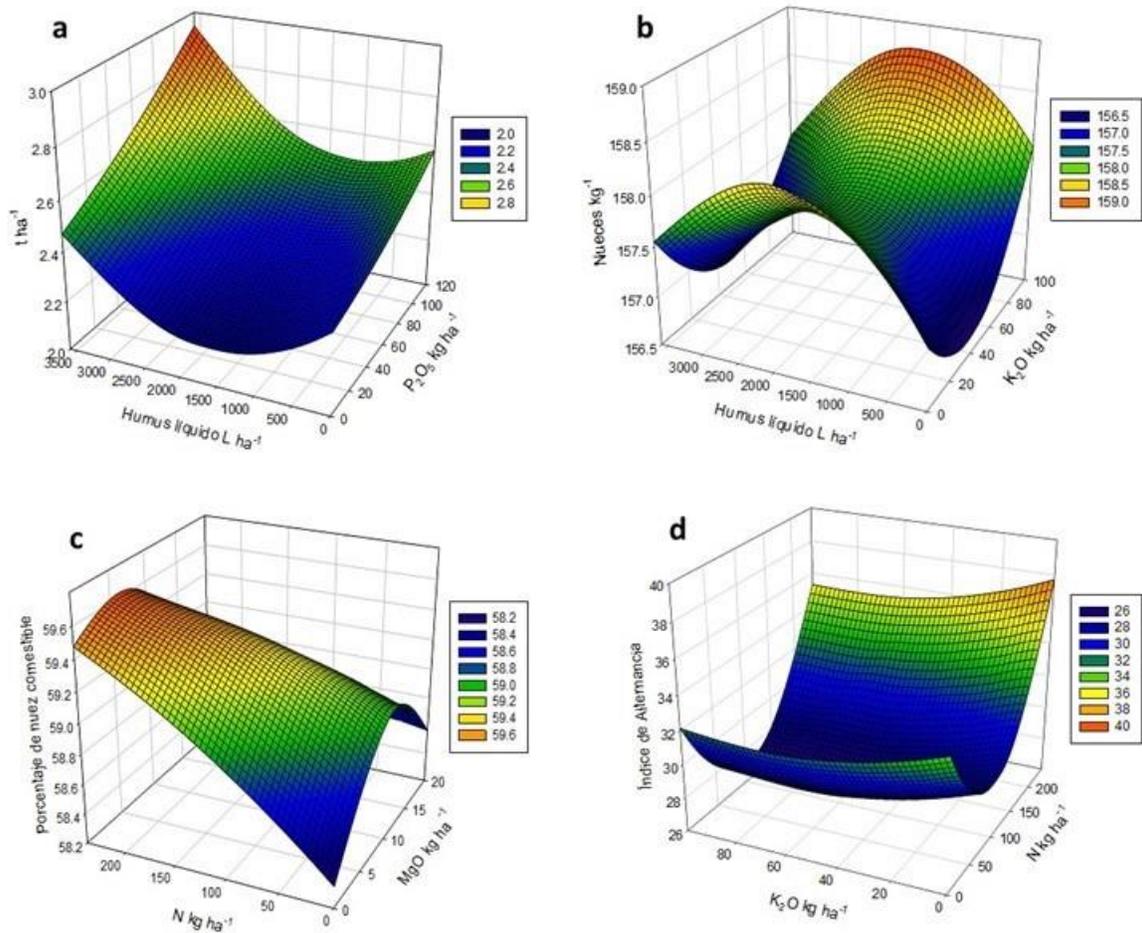


Figura 6. Interacciones entre factores en los componentes de rendimientos. (a) Gráfica de interacción entre humus líquido y P_2O_5 , en la producción. (b) Gráfica de interacción entre humus líquido y K_2O , en el número de nueces por kilogramo. (c) Gráfica de interacción entre N y MgO, para el porcentaje de nuez comestible. (d) Gráfica de interacción entre K_2O y P_2O_5 , en el índice de alternancia.

4.4 Compuestos bioactivos en la parte comestible de la nuez

La nuez pecanera ha sido clasificada entre los alimentos con alto contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante (Flores-Cordova *et al.*, 2016). Dentro de los compuestos fenólicos presentes en este fruto están el ácido elágico y gálico, la catequina, la epicatequina, taninos hidrolizables y condensados (de la Rosa *et al.*, 2014). Se ha demostrado que los compuestos fenólicos tienen actividad antioxidante, por lo cual pueden ayudar a reducir la incidencia de enfermedades crónicas como el Alzheimer, el Parkinson, así como, algunos tipos de cáncer (Atanosov *et al.*, 2017). Varios estudios han reportado una relación simple entre la capacidad antioxidante y la concentración de compuestos fenólicos, sin embargo esta relación puede ser más compleja, debido a que intervienen otros componentes de la misma planta como las proteínas, carbohidratos, el contenido de fibra, así como también la variedad, la madurez de la nuez, las condiciones ambientales, los métodos de cultivo y el manejo de la fertilización e inclusive la composición del suelo influyen en el contenido de estos compuestos bioactivos (Villarreal-Lozoya *et al.*, 2007).

En el Cuadro 9 se muestran los resultados para los compuestos bioactivos en la parte comestible de la nuez.

4.4.1 Fenoles totales

Para el contenido de fenoles totales la media fue de 161.85 mg AG g⁻¹, con un rango de 146.65 a 212.26 mg AG g⁻¹. Flores *et al.* (2016) compararon la producción de dos años, reportando 167.07 mg AG g⁻¹ en el año de baja producción y 82.41 mg AG g⁻¹, donde se concluyó que los resultados fueron afectados por la cantidad de producción que tiene el nogal, ya que la sobrecarga de nueces dará alternativamente nueces de menor calidad. En otro estudio, donde se comparó el contenido de fenoles en dos variedades, los resultados indicaron que para la variedad Wichita, el contenido de fenoles totales fue de 23.13 mg g⁻¹ y para la variedad Western, 19.25 mg g⁻¹ (Flores *et al.*, 2017). Los resultados en esta investigación son mayormente superiores a los reportados por los autores antes citados, esto se puede deber a que la concentración de fenoles varía dependiendo

de los métodos de extracción y a su vez de las condiciones del cultivo y el área geográfica del cultivo (Pinheiro *et al.*, 2014; de la Rosa *et al.*, 2014).

Los principales factores que mostraron un peso sobre el contenido de fenoles totales, fue el año y el N. Este resultado puede ser debido a que los compuestos fenólicos se sintetizan como defensa de las plantas a estrés biótico o abiótico como pueden ser las condiciones climáticas o el manejo agronómico (de la rosa *et al.*, 2009). El año expresó una respuestas lineal y cuadrática (Figura 7a), por su parte el N mostró una respuesta lineal (Figura 7b) y el K_2O una respuesta cuadrática. A su vez el año mostró una interacción con el N y el CaO, en la Figura 8a se muestra la interacción del año con el N, se observa que al aplicar N durante los años de tratamiento el contenido de fenoles totales aumento. Esta interacción positiva se puede atribuir a que como el árbol estaba con una mejor reserva de nutrientes, podría responder adecuadamente al estrés ocasionado por las condiciones climáticas. En la Figura 8b se muestra la interacción entre N y P_2O_5 se pudo observar que cuando la dosis de P_2O_5 es mayor, la concentración de fenoles aumenta, sin embargo cuando existe una interacción entre N y P_2O_5 se logran obtener concentraciones similares sin la necesidad de dosis altas de N y P_2O_5 . La ultima interacción para esta variable fue N y CaO la cual se muestra en la Figura 8c en esta interacción al aumentar la dosis de CaO y disminuir la dosis de N la concentración de fenoles se incrementa y esto se le puede atribuir a que la planta muestra síntomas de estrés, al disminuir las aplicaciones de N se podría aumentar la absorción de CaO y provocar un desbalance nutricional, caso contrario cuando se aumenta la dosis de N y las de CaO la concentración de compuestos fenólicos disminuye. La razón por la cual estas interacciones tuvieron impacto en la concentración de los compuestos fenólicos en la parte comestible de la nuez fue debido a que la concentración de los compuestos fenólicos está relacionada directamente con la variedad, las condiciones climáticas y con los manejos agronómicos. Se ha reportado que cuando la fertilización en nogal es orgánica la concentración de compuestos fenólicos en la parte comestible de la nuez aumenta debido a que el estrés en la planta es mayor, esto mismo sucede cuando se

presenta un desbalance nutricional o cuando las condiciones ambientales son extremas (Malik *et al.*, 2009; Porto, *et al.*, 2013).

Cuadro 9. Resumen de compuestos bioactivos en la parte comestible de la nuez de nogal pecanero 'Western Schely' tratado con macronutrientes y materia orgánica. 2016 – 2018

Eigenvalores	Año	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Hu-líqu	Hu_sól	Eigenvectores	
	3	10.0^T	120.0	60.0	50.0	200.0	1800.0	4000.0	Total +/- Prop.	
Fenoles totales almendra μ 161.85 (146.65 – 212.26 mg ác.Galico g ⁻¹ nuez desgrasada) ^V										
26.90 ^U			-- ^W	+++	+	+			7	5 / 2
14.61	++++								4	4 / 0
-21.85			+				+++		4	4 / 0
-33.54			++		--				4	2 / 2
Freq.	4	0	5	3	3	1	3	0	19 ^Y	
Respuesta	L,C ^R		L		C					
Interacción	N,Ca ^S		P,Ca		P					
Kg ha ⁻¹		10.3	48.9	94.7	60.6	205.0	1348.9	2713.8	Selección \geq 4	
Taninos en almendra μ 48.68 (31.08 – 18.82 mg Catequina g ⁻¹ nuez desgrasada) ^V										
54.74	++++		---	+++				+	4	4 / 0
23.81			++	+	+++			++	7	4 / 3
-16.64			++	+	+++		++		8	8 / 0
-29.69			++	++	---				7	4 / 3
Freq.	4	0	7	6	6	0	2	1	26	
Respuesta	L,C				C					
Interacción	N,Ca		P							
Kg ha ⁻¹		10.0	120.0	60.0	50.0	200.0	1800.0	4000.0	Selección \geq 5	
Capacidad antioxidante μ 367.15 (286.33 – 629.55 mg Trolox g ⁻¹ nuez desgrasada) ^V										
53.98	++++			+++	+	+		+	4	4 / 0
40.99				+++	+	+		+	6	6 / 0
-22.21			+	+	--	++	++	+	9	7 / 2
-53.53					+++		+++		6	6 / 0
Freq.	4	0	1	4	6	3	5	2	25	
Respuesta	L,C				L,C					
Interacción	N,HL				HL					
Kg ha ⁻¹		10.5	103.1	91.3	55.5	223.8	1241.3	4808.0	Selección \geq 5	
Resumen										
Subtotal	12 ^Z	0	13	13	15	4	10	3	70	70
Selección	1 / 3	0 / 3	2 / 3	1 / 3	2 / 3	0 / 3	1 / 3	0 / 3	Proporción +/-	
Prop. +/-	12 / 0	0 / 0	8 / 5	13 / 0	8 / 7	4 / 0	10 / 0	3 / 0	58 ^Z / 12	
Promotor %	100.0		61.5	100.0	53.3					
Depresor %	0.0		38.5	0	46.7					
Máximo			120.0	94.7	60.6				Selección \geq 12	

^R Tipo de respuesta (L) lineal, (C) Cuadrática. ^S Interacción entre factores (N) nitrógeno, (P) fósforo, (K) potasio, (Ca) Calcio, (HL) humus líquido, (HS) humus sólido. ^T Media simple niveles de los factores; ^U Eigenvalores expresados como porcentaje de la media de la variable respuesta; ^V Rango entre paréntesis corresponde a los valores predichos a partir de la media simple; ^W Cada signo corresponde a múltiplos de 0.25 redondeado al cuarto más cercano; ^Y Frecuencia total observada para esa variable, se multiplica por el 20% para seleccionar los factores de mayor peso; ^Z Frecuencia total para el conjunto de variables, se seleccionan aquellos factores con un subtotal igual o mayor al 20%.

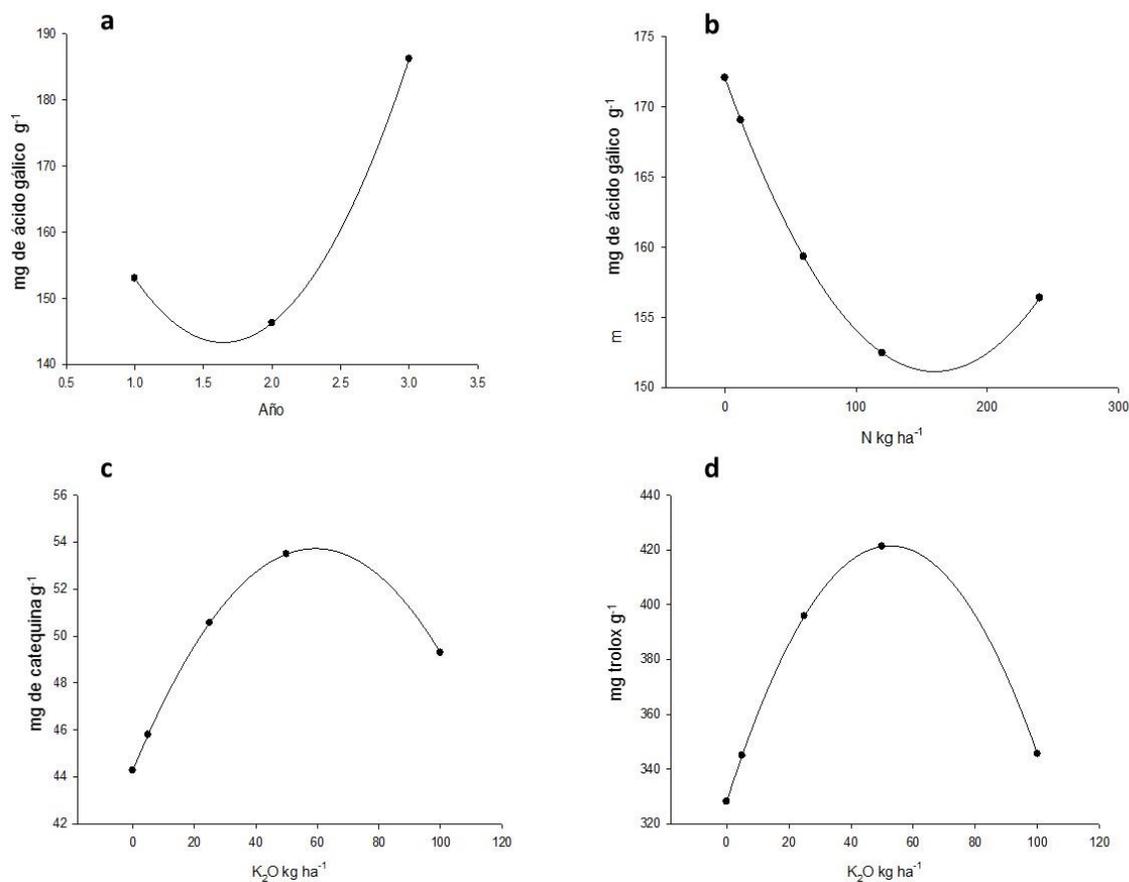


Figura 7. Tipo de respuesta en la concentración de compuestos bioactivos en la parte comestible de la nuez. (a) Gráfica de la respuesta del año en la variable de concentración de compuestos fenólicos. (b) Gráfica de la respuesta del nitrógeno en la variable de compuestos fenólicos. (c) Gráfica de la respuesta del K_2O en la variable de concentración de taninos. (d) Gráfica de la respuesta del K_2O en la variable de capacidad antioxidante.

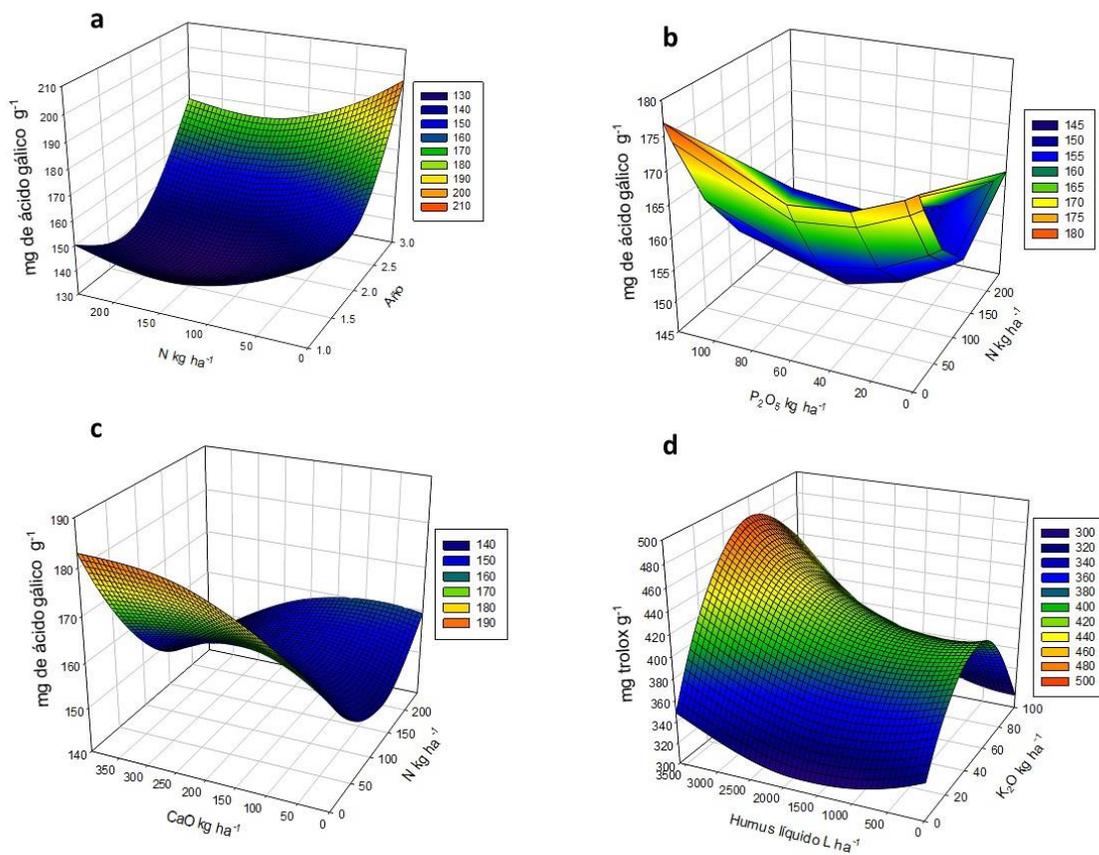


Figura 8. Interacciones entre factores en la concentración de compuestos bioactivos. (a) Gráfica de interacción entre N y el año, en la concentración de compuestos fenólicos. (b) Gráfica de interacción entre P₂O₅ y N, en la concentración de compuestos fenólicos. (c) Gráfica de interacción entre Ca y N, en la concentración de compuestos fenólicos. (d) Gráfica de interacción entre humus líquido y K₂O, en la capacidad antioxidante.

4.4.2 Taninos

Los taninos son un grupo diverso de polifenoles que se forman como metabolitos secundarios en las plantas (Frazier *et al.*, 2010). La presencia de taninos condensados e hidrolizables hace que las nueces sean una fuente interesante y compleja de fitoquímicos, ya que ambos tipos de compuestos poseen fuertes actividades biológicas. Al ser compuestos fenólicos la concentración de los taninos

va a depender de la variedad, las condiciones climáticas y el manejo agronómico del cultivo, además de los manejos posteriores a la cosecha (de la Rosa *et al.*, 2014).

Con el fin de verificar la influencia de las condiciones climáticas, los manejos agronómicos y el área geográfica se realizó una investigación donde se analizaron muestras de nuez pecanera de las regiones de norte centro y sur del estado de Chihuahua México dando como resultado una media de 28.28 mg catequina por gramo de nuez desgrasada (mg CA g^{-1}) (de la Rosa *et al.*, 2014). Por otro lado Sarkis *et al.* (2014) reportaron que la concentración de taninos en la almendra de nuez fue de 20.6 a 26.7 mg CA g^{-1} . A su vez Flores *et al.* (2017) reportan que al analizar dos variedades de nueces provenientes del estado de Chihuahua la concentración de taninos fue de 21.82 mg CA g^{-1} para la variedad Western y 23.22 mg CA g^{-1} en la variedad Wichita. Por lo tanto los datos obtenidos en esta investigación son mayores a los reportados, ya que la media de la concentración de taninos en almendra fue de 48.68 mg CA g^{-1} , con un rango de 31.08 a 18.82 mg CA g^{-1} .

Los principales factores que mostraron un impacto en la concentración de taninos fueron el N, P_2O_5 y el K_2O , en la Figura 7c se muestra la gráfica de la respuesta cuadrática para el K_2O . Es importante mencionar que el año mostró interacción con el N y el humus líquido, estos resultados concuerdan con lo mencionado ya que la concentración de taninos varía dependiendo de las condiciones climáticas y de los manejos agronómicos del cultivo.

4.4.3 Capacidad antioxidante DPPH

La capacidad antioxidante está correlacionada con las concentraciones de los compuestos polifenólicos y de algunos polifenoles individuales (de la Rosa *et al.*, 2014). En diferentes estudios se ha encontrado una correlación positiva entre compuestos fenólicos y la actividad antioxidante total, por lo que sugieren que estos compuestos son responsables de una gran proporción de esta capacidad antioxidante (Sarkis *et al.*, 2014). La actividad antioxidante, resultante de la presencia y la estructura química de los polifenoles, ha despertado interés en los

posibles efectos beneficiosos para la salud humana de los alimentos ricos en polifenoles, esto debido a que los antioxidantes protegen al cuerpo de los radicales libres, moléculas que son altamente reactivas y pueden dañar el cuerpo a nivel celular, aumentando el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Flores *et al.*, 2016).

Los resultados en la actividad antioxidante de la parte comestible de la nuez mostraron una media de 367.15 mg Trolox g⁻¹. Estos resultados son mayores a los reportados por otros autores. Flores *et al.* (2016), reportaron valores de 137.20 mg Trolox g⁻¹ en el año de baja producción y 115.39 mg Trolox g⁻¹ en el año de alta producción. Por su parte Sarkis *et al.* (2014) reportan una baja actividad antioxidante de 2.11 mmol trolox g⁻¹ en nueces de tres regiones diferentes del estado de Chihuahua.

Los factores con la mayor contribución en la actividad antioxidante fueron el K₂O con una respuesta lineal y cuadrática (Figura 7d) y el humus líquido, además se encontró una interacción entre estos factores, en la Figura 8d se observa que la mayor capacidad antioxidante que se pudo obtener fue cuando la aplicación del humus líquido es mayor y la aplicación de K₂O es media, lo cual coincide con lo reportado ya que la fertilización orgánica aumenta la capacidad antioxidante (Cucci *et al.*, 2019), por lo tanto esta interacción podría estar ocasionando un estrés en la planta debido a que al encontrarse la planta estresada, el contenido de compuestos fenólicos aumentara y a su vez la capacidad antioxidante.

En conjunto los principales factores que tuvieron peso sobre la esta categoría fue el año, el N, el P₂O₅ y el K₂O, las dosis recomendadas fueron, para el N 120.0 kg ha⁻¹, para el P₂O₅ 94.7 kg ha⁻¹ y para el K₂O 60.6 kg ha⁻¹.

4.5 Contenido mineral en la parte comestible de la nuez

4.5.1 Macronutrientes en la parte comestible y cáscara de la nuez

En los Cuadros 10 y 11 se encuentran los resultados para los macronutrientes presentes en la parte comestible y cáscara de la nuez, respectivamente.

Cuadro 10. Resumen para macronutrientes en la parte comestible de la nuez de nogal pecanero 'Western Schely' tratados con macronutrientes y materia orgánica. 2016 - 2018

Eigenvalores	Año	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Hu-líqu	Hu_sol	Eigenvectores	
	2	120.0^T	60.0	50.0	200.0	1800.0	4000.0	Total	Prop. +/-
Nitrógeno μ 3.71 (3.2 – 4.9 %) ^V									
23.4 ^U				++ ^W	++	+++		7	7 / 0
9.7			++	--		++	--	8	4 / 4
-4.2		++			+++	--	-	8	5 / 3
-18.2			+++				++	5	5 / 0
Freq. / Resp ^R	0	2	5	4/ L,C	5	7	5	28 ^Y	
Kg ha ⁻¹	2	132.8	43.5	69.7	277.1	3199.0	3751.6	Selección \geq 5	
Nitratos μ 1238.5 (2426.3 – 589.9 mg kg ⁻¹)									
73.7			+++				++	5	5 / 0
-63.7		++	---				++	7	4 / 3
-82.4		--		++	+	++		7	5 / 2
Freq. / Resp	0	4	6	2/ L,C	1	2	4	19	
Interacción		P, K ^S	HS	HL					
Kg ha ⁻¹	2	120.0	60.0	50.0	200.0	1800.0	4000.0	Selección \geq 4	
Fósforo μ 0.65 (0.68 – 0.96 %)									
30.6			++++				++	6	6 / 0
10.5		--		++++				6	4 / 2
-17.0		+++			+	---		7	4 / 3
-30.6		+		++		+++		6	6 / 0
Freq. / Resp	0/L,C	6	4/L,C	6	1/L,C	6 / C	2	25	
Interacción		K	HS						
Kg ha ⁻¹	2	139.7	106.3	41.6	218.2	1538.5	5438.0	Selección \geq 5	
Potasio μ 0.89 (1.05 – 1.73 %)									
36.5			+++				++	5	5 / 0
-15.9		+++		++	--			7	5 / 2
-42.9				++	++	+++		7	7 / 0
Freq. / Resp	0/L,C	3	3/L,C	4/L,C	4/ C	3 / L,C	2 / L	19	
Interacción			K,C,	HL	HL				
Kg ha ⁻¹	2	131.5	110.7	55.6	214.6	1435.5	5844.5	Selección \geq 4	
Calcio μ 0.24 (0.12 – 0.31 %)									
58.2		---	+++			+		7	4 / 3
-41.4				++	+++	+		6	6 / 0
Freq. / Resp	0/ L,C	3/ C	3/ C	2/ C	3/ L,C	2	0	13	
Interacción	P	A, P,	Ca, HL	Ca					
Kg ha ⁻¹	2	29.4	96.7	45.9	185.3	1989.0	3303.1	Selección \geq 3	
Magnesio μ 0.21 (0.25 – 0.16 %)									
14.7			+++	++			++	7	7 / 0
9.5	++++							4	4 / 0
-15.2		++++				++		6	6 / 0
-22.7				++		+++		5	5 / 0
Freq. / Resp	4/L,C	4	3	4	0	5	2	22	
Kg ha ⁻¹	2	120.0	60.0	50.0	200.0	1800.0	4000.0	Selección \geq 4	
Sodio μ 0.0043 (0.003 – 0.006 %)									
50.0		--	+++	++				7	5 / 2
-20.0			--	++	+	+		6	4 / 2
-25.0		+++			+	++		6	4 / 2
Freq. / Resp	0 / L	5	5	4	2	3	0	19	
Interacción	HS								
Kg ha ⁻¹	2	145.8	18.8	28.5	118.1	1281.4	3142.6	Selección \geq 4	
Resumen									
Subtotal	4 ^Z	27	29	26	16	28	15	145	145
Selección	1 / 7	5 / 7	4 / 7	4 / 7	3 / 7	3 / 7	2 / 7	Proporción +/-	
Prop. +/-	4 / 0	18 / 9	24 / 5	24 / 2	14 / 2	23 / 5	12 / 3	119 ^Z / 26	
Promotor %		66.7	82.8	92.3		82.1			
Depresor %		33.3	17.2	7.7		17.9			
Máximo		145.8	96.7	72.4		3290.5		Selección \geq 24	

^R Tipo de respuesta (L) lineal, (C) Cuadrática. ^S Interacción entre factores (N) nitrógeno, (P) fósforo, (K) potasio, (Ca) Calcio, (HL) humus líquido, (HS) humus sólido. ^T Media simple niveles de los factores; ^U Eigenvalores expresados como porcentaje de la media de la variable respuesta; ^V Rango entre paréntesis corresponde a los valores predichos a partir de la media simple; ^W Cada signo corresponde a múltiplos de 0.25 redondeado al cuarto más cercano; ^Y Frecuencia total observada para esa variable, se multiplica por el 20% para seleccionar los factores de mayor peso; ^Z Frecuencia total para el conjunto de variables, se seleccionan aquellos factores con un subtotal igual o mayor al 20%.

Cuadro 11. Resumen para macronutrientes en la cáscara de la nuez de nogal pecanero 'Western Schely' tratados con macronutrientes y materia orgánica. 2016 - 2018

Eigenvalores	Año	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Hu-líqu	Hu_sol	Eigenvectores	
	2	120.0^T	60.0	50.0	200.0	1800.0	4000.0	Total	Prop. +/-
Nitrógeno μ 0.523 (0.2595 – 0.8873%) ^V									
58.3 ^U		w	+++				++	5	5 / 0
-53.3		---	+	+		++		7	4 / 3
-68.8		++		++		++		6	6 / 0
Freq. / Resp ^R	0	5 / L,C	4	3	0	4	2	18 ^Y	15 / 3
Interacción									
Kg ha ⁻¹	2	Año ^S	Ca,HL, HS	HL					Selección \geq 3
Nitratos μ 1031.87 (934.46 – 3437.89 mg kg ⁻¹)									
79.9		++	+++	+			++	8	8 / 0
27.1				--	+++	+	++	8	6 / 2
-174.5		---		++		++		7	4 / 3
Freq. / Resp	0	5 / C	3	5 / C	3	3 / C	4	23	18 / 5
Interacción									
Kg ha ⁻¹	2	P,K,HL	Ca						Selección \geq 5
Fósforo μ 0.079 (0.0173 – 0.0897%)									
163.7		---	++		+			6	3 / 3
63.0		+	++	++			-	6	5 / 1
-75.6		++	++		+	++	++	9	9 / 0
Freq. / Resp	0	6 / C	6	2	2	2	3	21	17 / 4
Interacción									
Kg ha ⁻¹	2	P,Ca,HL							Selección \geq 4
Potasio μ 0.25 (0.2226 – 0.3889%)									
38.7			-	+++		++		6	5 / 1
27.1		++++				+		5	5 / 0
-32.5			+++	+			++	6	6 / 0
Freq. / Resp	0 / L,C	4	4	4 / C	0	3	2	17	16 / 1
Kg ha ⁻¹	2	118.6	38.8	74.5	251.1	2892.5	4931.4		Selección \geq 3
Calcio μ 0.89 (0.7680 – 1.1733%)									
27.1		--		+++	++	++		9	7 / 2
17.0		+	---				+++	7	4 / 3
-14.7		++++						4	4 / 0
-23.2		+	+++	+++		+	++	12	12 / 0
Freq. / Resp	5 / L,C	5	6	6 / L,C	2	3	5	32	27 / 5
Interacción									
Kg ha ⁻¹	2	K							Selección \geq 6
Magnesio μ 0.044 (0.0314 – 0.0564%)									
24.5		++++						4	4 / 0
15.7		--	++	+	++	--		9	5 / 4
-7.4		++			+++	--		7	5 / 2
-12.8		++		+		+++		6	6 / 0
Freq. / Resp	4 L,C	6	2	2	5	7	0	26	20 / 6
Interacción									
Kg ha ⁻¹	2		Año						Selección \geq 5
Sodio μ 0.005 (0.0054 – 0.007%)									
22.0			+++	--			+	7	4 / 3
10.0		+			+++	++		6	6 / 0
-8.0		++	++	++	--	+		9	7 / 2
-20.0		---	++	+		+		7	4 / 3
Freq. / Resp	2	6	5	5	6	4	1	29	21 / 8
Kg ha ⁻¹	2	159.8	93.1	29.6	246.3	2208.9	6070.8		Selección \geq 6
Resumen									
Subtotal	11 ^Z	37	30	27	18	26	17	166	166
Selección	0 / 7	6 / 7	4 / 7	4 / 7	2 / 7	3 / 7	0 / 7	Proporción +/-	
Prop. +/-	11 / 0	21 / 16	26 / 4	23 / 4	15 / 3	22 / 4	16 / 1	134 ^Z / 32	
Promotor %		54.8	86.7	85.2					
Depresor %		43.2	13.3	14.8					
Máximo		159.8	106.3	74.7					Selección \geq 27

^TMedia simple niveles de los factores; ^UEigenvalores expresados como porcentaje de la media de la variable respuesta; ^VRango entre paréntesis corresponde a los valores predichos a partir de la media simple; ^WCada signo corresponde a múltiplos de 0.25 redondeado al cuarto más cercano; ^YFrecuencia total observada para esa variable, se multiplica por el 20% para seleccionar los factores de mayor peso; ^ZFrecuencia total para el conjunto de variables, se seleccionan aquellos factores con un subtotal igual o mayor al 20%.

El N forma parte de moléculas fundamentales como las proteínas o los ácidos nucleicos, por lo que también está presente en todos los seres vivos (Velasco *et al.*, 2009). El N en la parte comestible de la nuez, mostró una media de 3.71% con un rango de 3.2 a 4.9%, mientras que en la cáscara de la nuez la media fue de 0.523%, por lo tanto la parte comestible de la nuez tienen 7 veces más N que la cáscara. Los factores que mayor peso tuvieron en la parte comestible de la nuez fueron P_2O_5 , CaO, humus líquido y humus sólido, en la cáscara coinciden el P_2O_5 y el humus líquido además del N y el K_2O , estos resultados pueden ser atribuidos a que tanto el humus líquido como el humus sólido tienen un alto porcentaje de N, además el humus contribuye a que los nutrientes estén más disponibles para las plantas.

El N desde el suelo se puede absorber de 2 formas iónicas básicas: NO_3 y NH_4 y posiblemente como compuestos orgánicos (Yáñez *et al.*, 2010). La absorción de NO_3 es el principal factor que determina su posterior asimilación e integración en el metabolismo nitrogenado. La mayoría de las plantas exhiben un sistema bifásico para la absorción de NO_3 , definido como de alta y baja afinidad a la absorción de este anión (Sánchez *et al.*, 2006). La media para el contenido de NO_3 en la parte comestible de la nuez fue de 1238.5 mg kg^{-1} y 1031.87 mg kg^{-1} en la cáscara. Los principales factores que influyeron sobre el contenido de NO_3 en la parte comestible de la nuez fueron el N, P_2O_5 y el humus sólido, además el N interactuó con el P_2O_5 y el K_2O , mientras que el P_2O_5 interactuó con el humus sólido y finalmente el K_2O mostró una interacción con el humus líquido. En la cáscara los factores de mayor peso fueron N y K_2O , el N interactuó con P_2O_5 , K_2O y humus líquido y el K_2O con el Ca.

Otro macronutriente de gran importancia es el P debido a que se encuentra en la formación de nucleoproteínas, ácidos nucleicos y fosfolípidos, influye en la división celular, la respiración, la fotosíntesis, síntesis de azúcares, grasas y proteínas, así como en la acumulación de energía como parte del ATP y NADPH (Aguilar *et al.*, 2003). En la parte comestible de la nuez la media para el P fue de 0.65% siendo un valor muy superior a la de la cáscara que fue de 0.079%. Los factores que mayor peso mostraron en la parte comestible de la nuez fueron el N, K_2O y el humus

líquido, este último con una respuesta lineal y cuadrática (Figura 9a). En el caso de la cáscara los principales factores de peso fueron N y K_2O , interactuando el N con el P_2O_5 , Ca y humus líquido. Tanto en la parte comestible como en la cáscara de la nuez el humus líquido mostró un impacto lo cual se le puede atribuir a que la aplicación de materia orgánica ayuda a la mineralización de los nutrientes en el suelo, haciendo que los minerales estén disponibles para las plantas, un ejemplo es la unión de ácidos húmicos y los aniones fosfatos (fosfohumatos), que impiden la precipitación de los fosfatos en un medio ácido, o la formación de fosfatos tricálcicos insolubles en un medio básico, favoreciendo por la tanto la fertilidad fosfatada del suelo (Yañez *et al.* (2010). En la Figura 10a se encuentra la interacción entre el N con K_2O en esta interacción existe un sinergismo debido que al aumentar las dosis de estos factores se obtiene un incremento en el contenido del P, lo cual coincide con lo reportado por Yañez *et al.* (2010) que mencionaron que la interacción entre estos iones no implica una competencia directa.

El K es el segundo macronutriente más requerido por el nogal pecanero (Aguilar *et al.*, 2003). La media para el K en la parte comestible de la nuez fue de 0.89% con un rango de 1.05 % a 1.73%, el contenido de K en la cáscara fue 3.5 veces menor que en la parte comestible de la nuez con una media de 0.25%. Los factores de mayor peso en la parte comestible de la nuez fueron el K_2O y CaO y en la cáscara el N, P_2O_5 , K_2O y el humus líquido. En la Figura 9b se muestra la gráfica de la respuesta lineal y cuadrática que mostró el CaO en la parte comestible de nuez además se presentaron interacciones entre P_2O_5 con K_2O , CaO y humus sólido, por otro lado el humus líquido interactuó con el el K_2O (Figura 10b) y el CaO (Figura 10c), ambas interacciones son positivas ayudando a incrementar la concentración de K en la almendra, esto puede ser debido a que la materia orgánica disminuye la fijación del K por las arcillas, dado que aumenta la capacidad de intercambio catiónico y de esta manera existen más puntos de absorción para el K, (Labrador, 2001).

El Ca regula la presión osmótica en las células, además participa en la división mitótica de las células (Yañez *et al.*, 2010). El contenido de Ca en la parte comestible

de la nuez presento una media de 0.24%, en la cáscara la media fue superior 3.7 veces con un valor de 0.89%. En la parte comestible de la nuez los factores que mostraron peso fueron el N con una respuesta cuadrática (Figura 9c) el P_2O_5 y el Ca y para la cáscara el P_2O_5 y K_2O . En la cáscara no se encontraron interacciones entre los factores, mientras que en la parte comestible de la nuez se encontró que el N interactuó con año, P_2O_5 y CaO, también el P_2O_5 interacciona con Ca y humus líquido y finalmente el K_2O está interactuando con el CaO. En la Figura 10d se muestra la interacción del P_2O_5 y el humus líquido, se observa que la incrementar las dosis de P_2O_5 se incrementa el contenido de Ca, esto se le puede atribuir a que el humus líquido está ayudando a que el pH del suelo sea adecuado para evitar una formación de fosfatos de calcio o algún otro complejo que impida la absorción de estos nutriente.

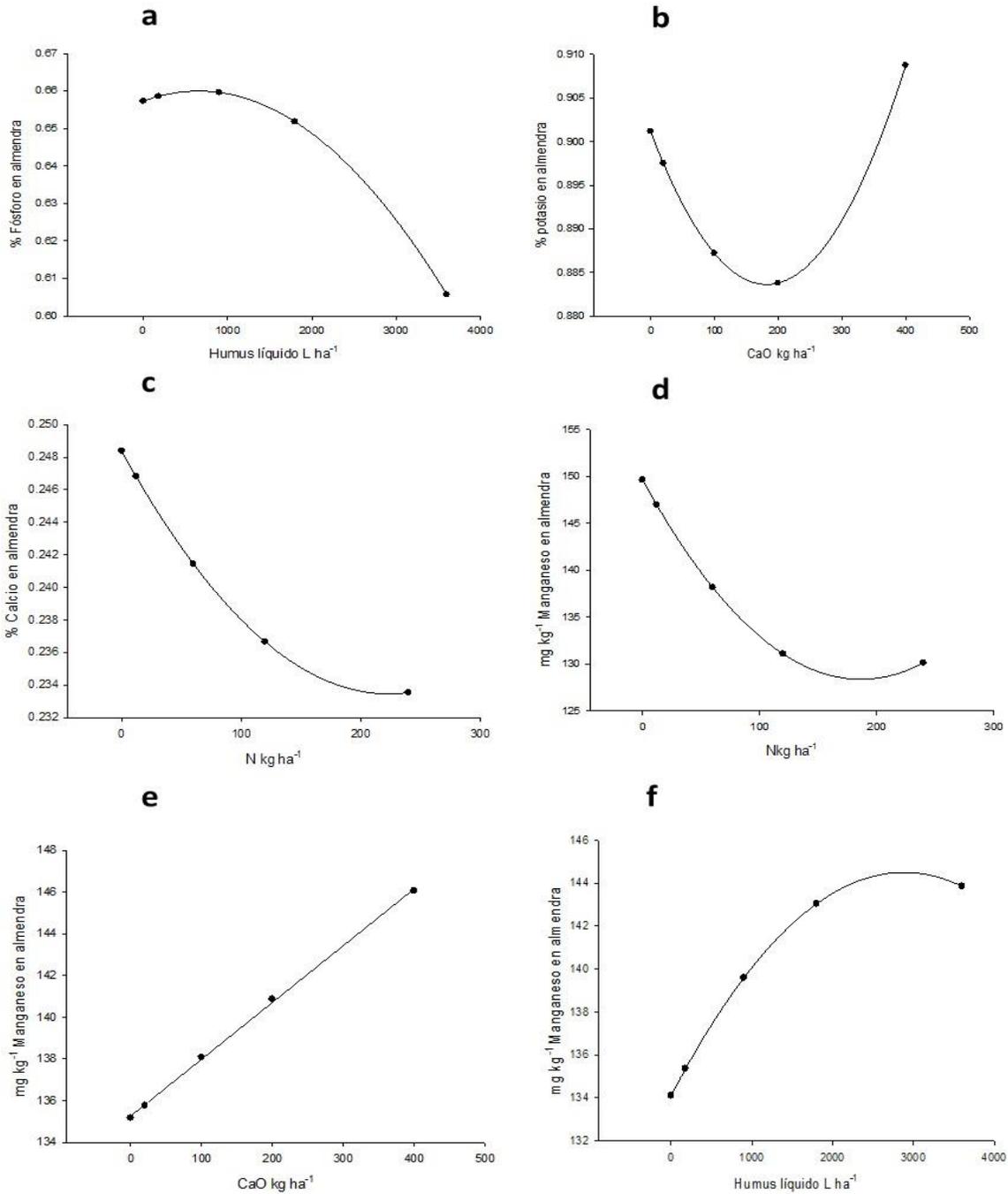


Figura 9. Tipo de respuesta en contenido de minerales. (a) Gráfica de la respuesta del humus líquido en el contenido de P. (b) Gráfica de la respuesta del CaO en el contenido de K. (c) Gráfica de la respuesta del N en el contenido de CaO. (d) Gráfica de la respuesta del N en el contenido de Mn. (e) Gráfica de la respuesta del CaO en el contenido de Mn. (f) Gráfica de la respuesta del humus líquido en el contenido de Mn.

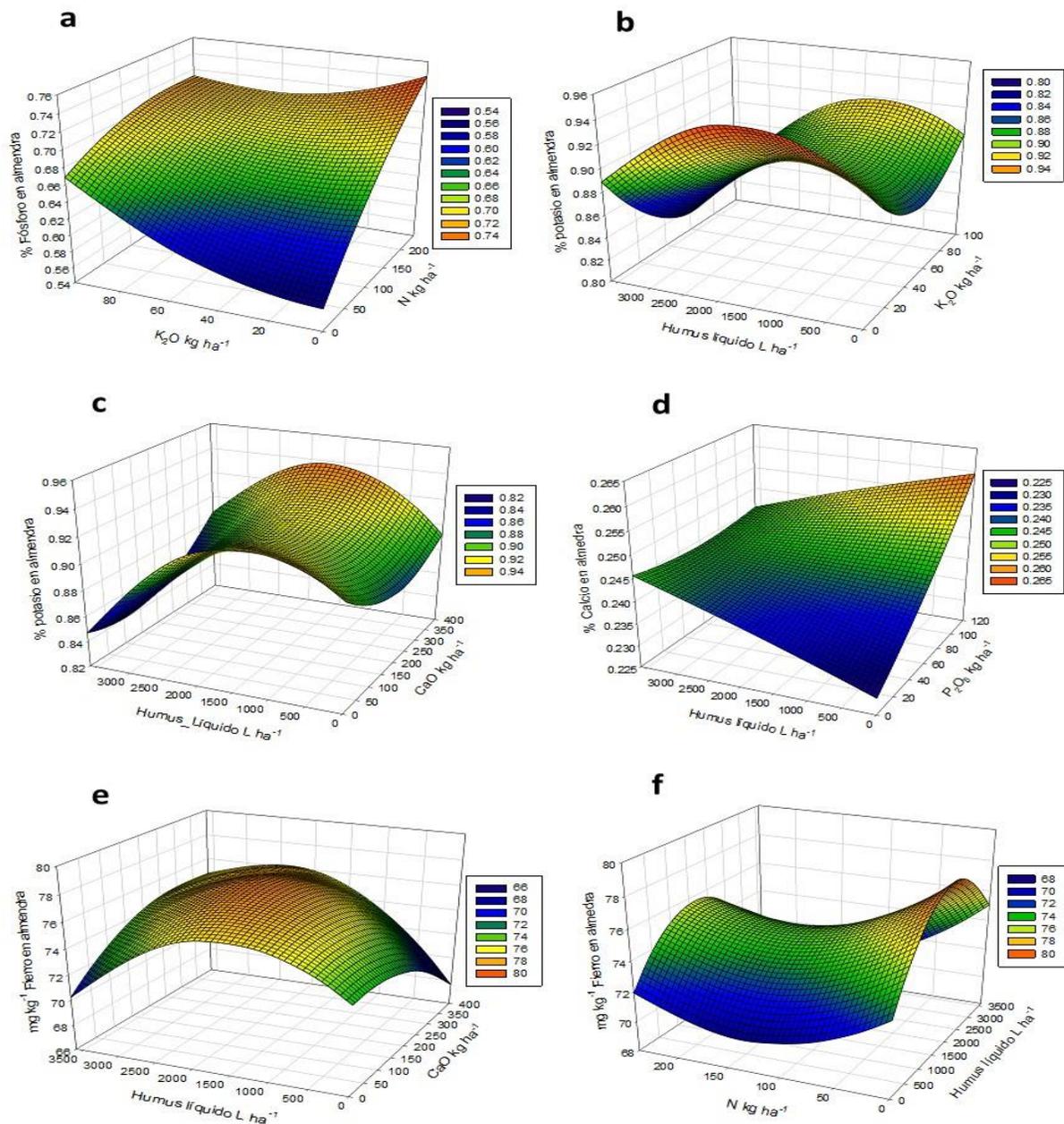


Figura 10. Interacciones entre factores en el contenido de minerales. (a) Gráfica de interacción entre N y K_2O en el contenido de P. (b) Gráfica de interacción entre K_2O y humus líquido en el contenido de K. (c) Gráfica de interacción entre CaO y humus líquido en el contenido de K. (d) Gráfica de interacción entre P_2O_5 y Humus líquido en el contenido de Ca. (e) Gráfica de interacción entre CaO y Humus líquido en el contenido de Fe. (f) Gráfica de interacción entre N y Humus líquido en el contenido de Fe.

El Mg participa en varias funciones pero la más importante es que es el átomo central de la molécula de la clorofila, actúa como activador de enzimas e interviene en la síntesis de los ácidos nucleicos y ATP fomentando la asimilación del P y la circulación de este por el interior de la planta (Yañez *et al.*, 2010). Para la parte comestible de la nuez la media fue de 0.21% con un rango de 0.25 a 0.16%, y en la cáscara la media fue de 0.044%, siendo 4.7 veces mayor en la parte comestible de la nuez que en la cáscara. Los principales factores que mostraron peso en la parte comestible de la nuez fueron el año, N, K₂O y humus líquido, mientras que en la cáscara fueron el N, CaO y humus líquido. En ambos casos el N mostró peso, lo cual se le puede atribuir al sinergismo que existe entre el N y el Mg (Yañez *et al.*, 2010).

La acumulación de Na en los cultivos causa estrés osmótico y desequilibrios iónicos, provocando estrés oxidativo y a su vez desordenes en el metabolismo de las plantas, afectando directamente en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Se reporta que algunas moléculas ayudan a resolver estos desequilibrios, como es el caso de los ácidos orgánicos (de la Torre-González *et al.*, 2018). La media para la parte comestible de la nuez fue de 0.0043 muy similar a la de la cáscara que fue de 0.005. Los principales factores que influyeron en la parte comestible de la nuez fueron N, P₂O₅, K₂O y en la cáscara el N y el Ca. La única interacción que se presentó fue en la parte comestible de la nuez entre el año y el humus sólido.

Los principales factores que mostraron un impacto en los macronutrientes en la parte comestible de la nuez fueron el N, P₂O₅, K₂O y humus líquido y en la cáscara coinciden el N, P₂O₅, K₂O. Los resultados obtenidos se pueden atribuir a la importancia de cada uno de los factores en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, en el caso del N es el principal elemento que está relacionado con la producción del nogal pecanero (Soto *et al.*, 2016). Otro de los factores que influye en estas variables es el P₂O₅, la importancia de este elemento es porque se encuentra en la formación de nucleoproteínas, ácidos nucleicos y fosfolípidos, además influye en la división celular, la respiración, la fotosíntesis, en el caso del K₂O está presente en la actividad de múltiples enzimas esenciales para el desarrollo

de las plantas como lo es la nitrato reductasa (Yañez *et al.*, 2010), y el último factor que influye es el humus líquido, se ha reportado que la aplicación de humus líquido beneficia la disponibilidad de los nutrientes debido a que estos se encuentran en solución, además de contener microorganismos que ayudaran en la mineralización de los nutrientes que se encuentran en el suelo (Ingham, 2005).

4.5.2 Micronutrientes en la parte comestible de la nuez

Se consideran micronutrientes el Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cl y el Ni esto debido a que usualmente son utilizados en funciones catalíticas y en cantidades mínimas sin embargo los micronutrientes se encuentran con una amplia distribución en los suelos (Yañez *et al.*, 2010). En el Cuadro 12 se muestran los resultados estadísticos para los micronutrientes en la parte comestible de la nuez y en el Cuadro 13 los resultados de la cáscara.

Cuadro 12. Resumen para micronutrientes en la parte comestible de la nuez de nogal pecanero 'Western Schely' tratados con macronutrientes y materia orgánica. 2016 - 2018

Eigenvalores	Año	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Hu-líqu	Hu_sol	Eigenvectores	
	2	120.0^T	60.0	50.0	200.0	1800.0	4000.0	Total +/-	Prop.
Fierro μ 73.7 (70.5 – 128.3 mg kg ⁻¹) ^V									
46.4 ^U			+++ ^W	++			+	6	6 / 0
-61.3				+	++	+++		6	6 / 0
Freq.	0	0	3	3	2	3	1	12 ^Y	
Respuesta			L, C ^R		C	L, C			
Interacción			K, Ca ^S		HL	N			
Kg ha ⁻¹	2	104.3	113.0	61.8	208.5	1354.3	5160.1	Selección \geq 2	
Manganeso μ 139.2 (129.1 – 223.9 mg kg ⁻¹)									
98.8			+++	++	++	-		8	7 / 1
-41.3		+++		+	+++	-		8	7 / 1
-109.6		+++		+	+++	+++		7	7 / 0
Freq.	0	6	3	4	5	5	0	23	
Respuesta	L, C	L, C	L, C		L	L, C	L		
Interacción		P, K, Ca, HL	K, Ca HL		K, HL	K	P		
Kg ha ⁻¹	2	111.2	77.8	57.8	219.4	1196.4	4417.7	Selección \geq 5	
Zinc μ 44.3 (31.0 – 64.4 mg kg ⁻¹)									
43.7		+++			+	++		6	6 / 0
25.8		--			+++	++		7	5 / 2
-19.7			+++	++		-	+	7	4 / 3
Freq.	0	5	3	2	4	5	1	20	
Respuesta					L, C				
Interacción									
Kg ha ⁻¹	2	94.8	102.8	69.3	225.5	1010.9	5199.9	Selección \geq 4	
Cobre μ 10.4 (14.1 – 5.8 mg kg ⁻¹)									
70.3		+		++	++	+++		8	8 / 0
-71.7		-	+++		+			5	4 / 1
Freq.	0	2	3	2	3	3	0	13	
Respuesta		C	L, C	L	L	L, C	L		
Interacción		Ca, HL	Ca, HL	Ca, HL	HL				
Kg ha ⁻¹	2	120.0	60.0	50.0	200.0	1800.0	4000.0	Selección \geq 3	
Resumen									
Subtotal	0 ^Z	13	12	11	14	16	2	68	68
Selección	0 / 4	2 / 4	2 / 4	1 / 4	4 / 4	4 / 4	0 / 4	Proporción +/-	
Prop. +/-	0 / 0	10 / 3	12 / 0	11 / 0	14 / 0	13 / 3	2 / 0	60 ^Z / 8	
Promotor %		76.9	100.0		100.0	81.3			
Depresor %		23.1	0.0		0.0	18.7			
Máximo		111.2	113.0		225.5	1800.0		Selección \geq 12	

^TMedia simple niveles de los factores; ^UEigenvalores expresados como porcentaje de la media de la variable respuesta; ^VRango entre paréntesis corresponde a los valores predichos a partir de la media simple; ^WCada signo corresponde a múltiplos de 0.25 redondeado al cuarto más cercano; ^YFrecuencia total observada para esa variable, se multiplica por el 20% para seleccionar los factores de mayor peso; ^ZFrecuencia total para el conjunto de variables, se seleccionan aquellos factores con un subtotal igual o mayor al 20%.

Cuadro 13. Resumen para micronutrientes en cáscara de nuez 'Western Schely' tratado con macronutrientes y materia orgánica. 2016 - 2018

Eigenvalores	Año	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Hu-líqu	Hu_sol	Eigenvectores	
	2	120.0 ^T	60.0	50.0	200.0	1800.0	4000.0	Total	Prop. +/-
Fierro μ 32.04 (17.71 – 48.46 mg Kg ⁻¹) ^V									
60.0 ^U		+ ^W		+	+++	+++		8	8 / 0
-31.6		++	++		+	--		7	5 / 2
-69.7		--	+++			+		6	4 / 2
Freq.	0	5	5	1	4	6	0	21 ^Y	17 / 4
Respuesta	L,C		C		C				
Interacción		K,HL			HL				
Kg ha ⁻¹	2	44.0	103.6	54.6	153.0	1896.4	42.98.0	Selección \geq 4	
Manganeso μ 47.03 (31.03 – 67.00 mg kg ⁻¹)									
43.2			++	+++	+			6	6 / 0
-29.9	+++	--						5	3 / 2
-46.8			+			++++		5	5 / 0
Freq.	3	2	3	3	1	4	0	16	14 / 2
Respuesta	L,C			C		C			
Interacción			HL						
Kg ha ⁻¹	2	118.6	74.6	55.5	188.0	3485.2	3171.5	Selección \geq 3	
Zinc μ 2.48 (1.76 – 3.22 mg Kg ⁻¹)									
26.3			+++				++	5	5 / 0
-28.1		-			++	+++		6	5 / 1
-33.4		++		+++		++		7	7 / 0
Freq.	0	3	3	3	2	5	2	18	17 / 1
Respuesta									
Interacción									
Kg ha ⁻¹	2	141.0	64.5	67.9	187.6	3434.0	3652.6	Selección \geq 4	
Cobre μ 2.38 (2.4494 – 4.3392 mg Kg ⁻¹)									
35.1			+++			+	+	5	5 / 0
-35.56				+++	++	+		6	6 / 0
Freq.	0	0	3	3	2	2	1	11	11 / 0
Respuesta					L				
Interacción	Ca			Ca					
Kg ha ⁻¹	2	137.6	110.9	53.8	160.2	2175.7	5655.2	Selección \geq 2	
Resumen									
Subtotal	3 ^Z	10	14	10	9	17	3	66	66
Selección	1 / 4	1 / 4	3 / 4	2 / 4	2 / 4	4 / 4	0 / 4	Proporción +/-	
Prop. +/-	3 / 0	5 / 5	14 / 0	10 / 0	9 / 0	15 / 2	3 / 0	59 ^Z / 7	
Promotor %			100.0			88.2			
Depresor %			0.0			11.8			
Máximo			110.9			3485.2		Selección \geq 12	

^TMedia simple niveles de los factores; ^UEigenvalores expresados como porcentaje de la media de la variable respuesta; ^VRango entre paréntesis corresponde a los valores predichos a partir de la media simple; ^WCada signo corresponde a múltiplos de 0.25 redondeado al cuarto más cercano; ^YFrecuencia total observada para esa variable, se multiplica por el 20% para seleccionar los factores de mayor peso; ^ZFrecuencia total para el conjunto de variables, se seleccionan aquellos factores con un subtotal igual o mayor al 20%.

El Fe está involucrado con la formación de la clorofila, así como en la incorporación de esta en la membrana del cloroplasto, además tiene un papel importante en el transporte de electrones (Yañez *et al.*, 2010). Para Fe la media en la parte comestible de la nuez fue 73.7 mg kg⁻¹ con rangos de 70.5 a 128.3 mg kg⁻¹, mientras que en la cáscara la media fue de 32.04 mg kg⁻¹. Para este elemento coincidieron los factores que mostraron peso en la parte comestible y en la cáscara de la nuez, los cuales fueron el P₂O₅, CaO, y humus líquido, además el K₂O mostró influencia en la parte comestible de la nuez y el N en la cáscara. En la Figura 9c se muestra como el P₂O₅ se ajusta a una regresión lineal y cuadrática en la parte comestible de la nuez, a su vez se encontraron interacciones entre P₂O₅ con K₂O y CaO, además del CaO con humus líquido y finalmente el humus líquido con el N. En lo que respecta a la cáscara se mostraron interacciones del N con el P₂O₅ y el humus líquido, así como el CaO con el humus líquido. Se puede confirmar que la aplicación del humus líquido puede ser beneficiosa para la disponibilidad del Fe, se sabe que el Fe es un elemento inmóvil en la planta y además cuando se encuentra en suelos con un alto contenido de Ca, se precipita haciéndose completamente insoluble, sin embargo la aplicación de las enmiendas orgánicas ayudan que se formen compuestos complejos (quelatos) entre los compuestos orgánicos y los macro y microelementos ayudando así a la disponibilidad de los elementos (labrador, 2001; Yañez *et al.*, 2010). Ejemplo de esto se pudieron observar en la Figura 10e donde la interacción entre el humus líquido y el Ca dio como resultado una sinergia, al igual que en la Figura 10f se observó que el N interactuó con el humus líquido resultando un incremento en el contenido de Fe.

El Mn está relacionado con la fotosíntesis, posee funciones relacionadas con las membrana de los cloroplastos además interviene en el intercambio de electrones (Yañez *et al.*, 2010). El Mn mostró una media de 139.2 mg kg⁻¹ en la parte comestible de la nuez, para la cáscara la media fue de 47.03 mg kg⁻¹. En la parte comestible de la nuez el N, CaO y el humus líquido fueron los principales factores con influencia mientras que en la cáscara fueron el año, P₂O₅, K₂O y el humus líquido. En la Figura 9e se muestra la respuesta lineal y cuadrática del N en la parte comestible de la nuez, mientras que en la Figura 9f se muestra la respuesta lineal

del Ca en la misma variable, finalmente en la Figura 9d se encuentra la respuesta lineal y cuadrática del humus líquido. Para el Mn en la parte comestible de la nuez, se mostraron varias interacciones entre los factores comenzando por el N que interactuó con P_2O_5 , K_2O , CaO, otras interacciones fueron las del P_2O_5 con K_2O , CaO y humus líquido, también el CaO interactuó con el K_2O y humus líquido, además el humus líquido con el K_2O y finalmente el humus sólido interactuó con el humus líquido. En la cáscara solamente interactuó el P_2O_5 con el humus líquido. En la Figura 11a se encuentra la gráfica de la interacción del CaO con K_2O encontrándose que cada uno de los factores si contribuye en el aumento del Mn, pero la mayor contribución es cuando se da la interacción entre el CaO y el K_2O . En la Figura 11b se observa la interacción del humus líquido con el K_2O , se muestra que las dosis bajas de fertilización de estos factores si contribuyen en la concentración del Mn, pero cuando se aumentan las dosis de fertilización de cada uno de estos factores la contribución es mayor, alcanzando los valores máximos cuando las dosis son mayores y se lleva a cabo la interacción entre el humus líquido y el K_2O .

El Zn es un microelemento que puede limitar la productividad en los huertos de nogal debido a que una deficiencia de Zn provoca las reducciones en las concentraciones de clorofila en la hoja y por lo tanto reducción de la capacidad fotosintética, impactando directamente en la producción (Ojeda-Barrios *et al.*, 2014). La media del Zn fue de 44.3 mg kg^{-1} en la parte comestible de la nuez, mientras que en la cáscara la media fue de 2.48 mg kg^{-1} , lo que significa que en la parte comestible de la nuez la concentración del Zn es 18 veces mayor que en la cáscara. Los principales factores con peso en la parte comestible de la nuez fueron N, CaO y Humus líquido y en la cáscara únicamente el humus líquido mostró influencia en el contenido de Zn.

El cobre es esencial en las funciones de las enzimas oxido-reducción, otorgándole así una asociación muy cercana con los cloroplastos. En la parte comestible de la nuez la media para el Cu fue de 10.4 mg kg^{-1} con un rango de 14.1 a 5.8 mg kg^{-1} , en la cáscara el valor de la media fue de 2.38 . Dentro de los principales factores de peso en la parte comestible de la nuez y la cáscara se encontraron el P_2O_5 , CaO y

humus líquido, además el K_2O mostró influencia sobre el contenido de Cu en la cáscara. En las interacciones de los factores se encontró que el N interactuó con CaO y humus líquido en la parte comestible de la nuez y en la cáscara el K_2O interactuó con el CaO. En la Figura 11c se encuentra la interacción del P_2O_5 con el CaO donde se observa que al tener una adecuada fertilización de P_2O_5 y al aumentar las dosis de Ca el contenido de Cu aumenta. El P_2O_5 también interactuó con el humus líquido, en la Figura 11d se observa que cuando las dosis de humus líquido y de P_2O_5 aumentan contribuyen al incremento en la concentración del Cu en la parte comestible de la nuez, por otra parte el K_2O mostró interacción con CaO y humus líquido, finalmente el CaO interactuó con el humus líquido.

En la parte comestible de la nuez los principales factores fueron N, P_2O_5 , CaO y el humus líquido, las dosis recomendadas para estos factores son 111.2 kg ha^{-1} de N, 113.0 kg ha^{-1} de P_2O_5 , 225.5 kg ha^{-1} de CaO y 1800.0 l ha^{-1} de humus líquido. Y para los micronutrientes en la cáscara los principales factores fueron el P_2O_5 y el Humus líquido, se recomienda aplicar 110.9 kg ha^{-1} de P_2O_5 y 3485.2 l ha^{-1} de humus líquido.

Es importante señalar que en la parte comestible y en la cáscara de la nuez, el humus líquido siempre fue un factor de peso, se le puede atribuir que contribuyó en el balance de las interacciones entre los factores y así incrementar el contenido de los micronutrientes.

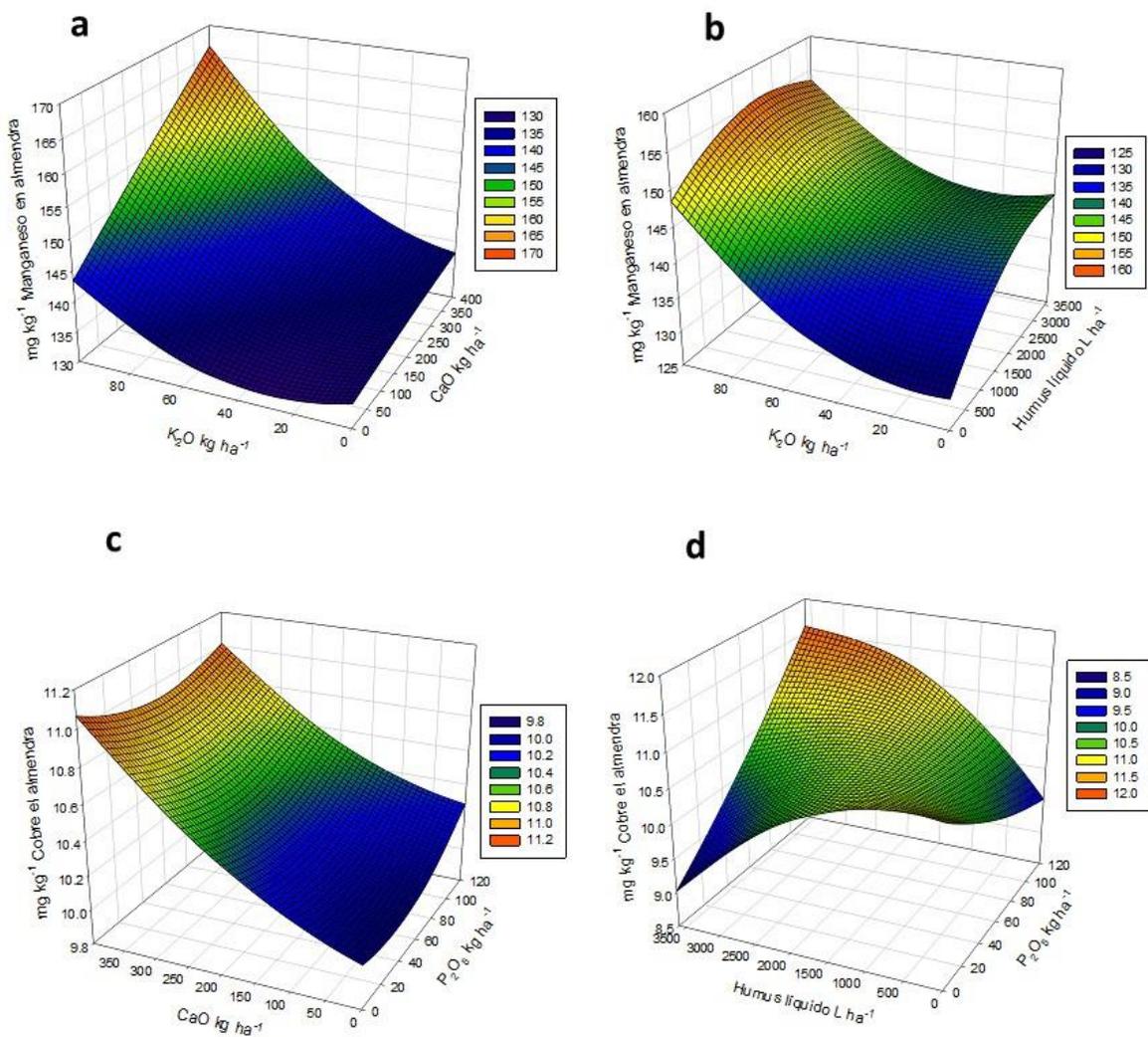


Figura 11. Interacciones entre factores en el contenido de minerales. (a) Gráfica de interacción entre CaO y K_2O en el contenido de Mn. (b) Gráfica de interacción entre K_2O y humus líquido en el contenido de Mn. (c) Gráfica de interacción entre P_2O_5 y CaO en el contenido de Cu. (d) Gráfica de interacción entre P_2O_5 y Humus líquido en el contenido de Cu.

En el Cuadro 14 se encuentra el metaresumen, con los resúmenes de cada una de las categorías. El P_2O_5 fue el que mayor impacto mostró de todos los factores aplicados, siendo un factor de peso en cada una de las 6 categorías evaluadas, seguido del N que impactó en 5 categorías, el humus líquido por su parte mostró influencia en 4 categorías, mientras que el K_2O impactó en 3 categorías, en el caso del año y del CaO solamente mostraron impacto en una categoría, mientras que el humus líquido y el Mg no impactaron en ninguna de las categorías analizadas.

Con base en el metaresumen las dosis recomendadas para obtener resultados óptimos en todas las variables evaluadas son: para N 181.4 kg ha^{-1} , para P_2O_5 113.0 kg ha^{-1} , para K_2O 74.7 kg ha^{-1} , para el CaO 225.5 kg ha^{-1} y para el humus líquido 3485.2 L ha^{-1} , en el caso del humus sólido y el Mg no mostraron impacto en ninguna de las categorías evaluadas las dosis recomendados, finalmente en el segundo año del experimento fue donde más impacto tuvieron las condiciones climáticas.

Cuadro 14. Metaresumen para las categorías analizadas

Eigenvalores	Año	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Hu-líqu	Hu_sól	Eigenvectores	
	2	10.0^T	120.0	60.0	50.0	200.0	1800.0	4000.0	Total	Prop.
									+/-	
Resumen componentes de rendimiento (5 variables)										
Subtotal	9 ^Z	5	21	21	18	12	22	4	112	112
Selección	1 / 5	0 / 5	4 / 1	4 / 5	2 / 5	1 / 5	3 / 5	0 / 5	Proporción + / -	
Prop. +/-	9 / 0	5 / 0	16 / 5	18 / 3	17 / 1	9 / 3	17 / 5	3 / 1	94 ^Z / 18	
Promotor %			76.2	85.7			77.3			
Depresor %			23.8	14.3			22.7			
Máximo			181.4	93.5			3287.2		Selección ≥ 19	
V. Críticas	Nueces kg ⁻¹ , porcentaje de almendra comestible, índice de alternancia ^Y									
Resumen compuestos bioactivos en la parte comestible de la nuez (3 variables)										
Subtotal	12	0	13	13	15	4	10	3	70	70
Selección	1 / 3	0 / 3	2 / 3	1 / 3	2 / 3	0 / 3	1 / 3	0 / 3	Proporción + / -	
Prop. +/-	12 / 0	0 / 0	8 / 5	13 / 0	8 / 7	4 / 0	10 / 0	3 / 0	58 ^Z / 12	
Promotor %	100.0		61.5	100.0	53.3					
Depresor %	0.0		38.5	0	46.7					
Máximo			120.0	94.7	60.6				Selección ≥ 12	
V. Críticas	Fenoles totales, taninos, capacidad antioxidante									
Resumen macronutrientes en la parte comestible de la nuez (7 variables)										
Subtotal	4	27	29	26	16	28	15	145	145	
Selección	1 / 7	5 / 7	4 / 7	4 / 7	3 / 7	3 / 7	2 / 7	Proporción + / -		
Prop. +/-	4 / 0	18 / 9	24 / 5	24 / 2	14 / 2	23 / 5	12 / 3	119 ^Z / 26		
Promotor %		66.7	82.8	92.3		82.1				
Depresor %		33.3	17.2	7.7		17.9				
Máximo		145.8	96.7	72.4		3290.5		Selección ≥ 24		
V. Críticas	N, P									
Resumen macronutrientes en la cáscara de la nuez (7 variables)										
Subtotal	11	37	30	27	18	26	17	166	166	
Selección	0 / 7	6 / 7	4 / 7	4 / 7	2 / 7	3 / 7	0 / 7	Proporción + / -		
Prop. +/-	11 / 0	21 / 16	26 / 4	23 / 4	15 / 3	22 / 4	16 / 1	134 ^Z / 32		
Promotor %		54.8	86.7	85.2						
Depresor %		43.2	13.3	14.8						
Máximo		159.8	106.3	74.7				Selección ≥ 27		
V. Críticas	Ca, Na									
Resumen micronutrientes en la parte comestible de la nuez (4 variables)										
Subtotal	0	13	12	11	14	16	2	68	68	
Selección	0 / 4	2 / 4	2 / 4	1 / 4	4 / 4	4 / 4	0 / 4	Proporción + / -		
Prop. +/-	0 / 0	10 / 3	12 / 0	11 / 0	14 / 0	13 / 3	2 / 0	60 ^Z / 8		
Promotor %		76.9	100.0	100.0	81.3					
Depresor %		23.1	0.0	0.0	18.7					
Máximo		111.2	113.0		225.5	1800.0		Selección ≥ 12		
V. Críticas	Fe, Mn, Zn, Cu									
Resumen micronutrientes en la cáscara de la nuez (4 variables)										
Subtotal	3	10	14	10	9	17	3	66	66	
Selección	1 / 4	1 / 4	3 / 4	2 / 4	2 / 4	4 / 4	0 / 4	Proporción + / -		
Prop. +/-	3 / 0	5 / 5	14 / 0	10 / 0	9 / 0	15 / 2	3 / 0	59 ^Z / 7		
Promotor %			100.0			88.2				
Depresor %			0.0			11.8				
Máximo			110.9			3485.2		Selección ≥ 12		
V. Críticas	Fe, Mn, Zn									

^TMedia simple niveles de los factores; ^YVariabes de cada categoría con mayor peso; ^ZFrecuencia total para el conjunto de variables, se seleccionan aquellos factores con un subtotal igual o mayor al 20%.

4.7 Generación de estándares nutricionales en la parte comestible y cáscara de la nuez.

Cuadro 15. Estándares nutricionales en la parte comestible de la nuez

Nutriente	Media E. Est. Media	Deficiente (D)	Muy Bajo (mB)	Bajo (B)	Medianamente Bajo (MB)	Suficiente (S)	Medianamente Alto (MA)	Alto (A)	Muy Alto (mA)	Exceso (E)	
	DDI										0.0625
Nt %	3.680	0.460	0.920	1.840	2.613	3.091	4.379	5.189	7.360	14.720	58.880
	0.032	Intervalo	< 0.919	0.920 - 1.839	1.840 - 2.612	2.613 - 3.090	3.091 - 4.378	4.379 - 5.188	5.189 - 7.359	7.360 - 14.719	> 14.720
		YI	0.690	1.380	2.226	2.852	3.735	4.784	6.274	11.040	36.800
NO ₃ mg kg ⁻¹	1,312.100	164.013	328.025	656.050	931.591	1,102.164	1,561.399	1,850.061	2,624.200	5,248.400	20,993.600
	34.237		< 328.02	328.03 - 656.04	656.05 - 931.58	931.59 - 1102.15	1102.16 - 1561.39	1561.40 - 1850.05	1850.06 - 2624.19	2624.20 - 5248.39	> 5248.40
P %	0.624	0.078	0.156	0.312	0.443	0.524	0.743	0.880	1.248	2.496	9.984
	0.008		< 0.155	0.156 - 0.311	0.312 - 0.442	0.443 - 0.523	0.524 - 0.742	0.743 - 0.879	0.880 - 1.247	1.248 - 2.495	> 2.496
			0.117	0.234	0.378	0.484	0.633	0.811	1.064	1.872	3.744
K %	0.858	0.107	0.215	0.429	0.609	0.721	1.021	1.210	1.716	3.432	13.728
	0.010	Intervalo	< 0.214	0.215 - 0.428	0.429 - 0.608	0.609 - 0.720	0.721 - 1.020	1.021 - 1.209	1.210 - 1.715	1.716 - 3.431	> 3.432
		YI	0.161	0.322	0.519	0.665	0.871	1.115	1.463	2.574	8.580
Ca %	0.252	0.032	0.063	0.126	0.179	0.212	0.300	0.355	0.504	1.008	4.032
	0.005		< 0.062	0.063 - 0.125	0.126 - 0.178	0.179 - 0.211	0.212 - 0.299	0.300 - 0.354	0.355 - 0.503	0.504 - 1.007	> 1.008
			0.047	0.095	0.152	0.195	0.256	0.300	0.430	0.756	2.520
Mg %	0.218	0.027	0.055	0.109	0.155	0.183	0.259	0.307	0.436	0.872	3.488
	0.002		< 0.054	0.055 - 0.108	0.109 - 0.154	0.155 - 0.182	0.183 - 0.258	0.259 - 0.306	0.307 - 0.435	0.436 - 0.871	> 0.872
			0.041	0.082	0.132	0.169	0.221	0.283	0.372	0.654	2.180
(Ca+Mg)/K meq 100g	0.226	0.028	0.057	0.113	0.160	0.190	0.269	0.319	0.452	0.904	3.616
	0.003		< 0.0056	0.057 - 0.112	0.113 - 0.159	0.160 - 0.189	0.190 - 0.268	0.269 - 0.318	0.319 - 0.451	0.452 - 0.903	> 0.904
			0.042	0.085	0.137	0.175	0.229	0.294	0.385	0.678	2.260
Ca/(K+Mg) meq 100g	0.136	0.017	0.034	0.068	0.097	0.114	0.162	0.192	0.272	0.544	2.176
	0.002		< 0.033	0.034 - 0.067	0.068 - 0.096	0.097 - 0.113	0.114 - 0.161	0.162 - 0.191	0.192 - 0.271	0.272 - 0.543	> 0.544
			0.026	0.051	0.082	0.105	0.138	0.177	0.232	0.408	1.360
Mg/(K+Ca) meq 100g	0.065	0.008	0.016	0.033	0.046	0.055	0.077	0.092	0.130	0.260	1.040
	0.001		< 0.015	0.016 - 0.032	0.033 - 0.045	0.046 - 0.054	0.055 - 0.076	0.077 - 0.091	0.092 - 0.129	0.130 - 0.259	> 0.260
			0.012	0.024	0.039	0.050	0.066	0.085	0.111	0.195	0.650
Ca/Mg meq 100g	2.019	0.252	0.505	1.010	1.433	1.696	2.403	2.847	4.038	8.076	32.304
	0.047		< 0.504	0.505 - 1.009	1.010 - 1.432	1.433 - 1.695	1.696 - 2.402	2.403 - 2.846	2.847 - 4.037	4.038 - 8.075	> 8.076
			0.379	0.757	1.221	1.565	2.049	2.625	3.442	6.057	20.190
K/Mg meq 100g	13.510	1.689	3.378	6.755	9.592	11.348	16.077	19.049	27.020	54.040	216.160
	0.137		< 3.377	3.378 - 6.754	6.755 - 9.591	9.592 - 11.347	11.348 - 16.076	16.077 - 19.048	19.049 - 27.019	27.020 - 54.039	> 54.040
			2.533	5.066	8.174	10.470	13.713	17.563	23.035	40.530	135.100
Na %	0.0045	0.0006	0.0011	0.0023	0.0032	0.0038	0.0054	0.0063	0.0090	0.0180	0.0720
	0.0001		< 0.0010	0.0011 - 0.0022	0.0023 - 0.0031	0.0032 - 0.0037	0.0038 - 0.0053	0.0054 - 0.0062	0.0063 - 0.0089	0.0090 - 0.0179	> 0.0180
			0.0008	0.0017	0.0027	0.0035	0.0046	0.0059	0.0077	0.0135	0.0450
Fe mg kg ⁻¹	75.010	9.376	18.753	37.505	53.257	63.008	89.262	105.764	150.020	300.040	1,200.160
	1.120		< 18.74	18.75 - 37.50	37.51 - 53.25	53.26 - 63.00	63.01 - 89.25	89.26 - 105.75	105.76 - 150.01	150.02 - 300.03	> 300.04
			14.064	28.129	45.381	58.133	76.135	2.000	127.892	225.030	750.100
Mn mg kg ⁻¹	135.080	16.885	33.770	67.540	95.907	113.467	160.745	190.463	270.160	540.320	2,161.280
	2.219		< 33.76	33.77 - 67.53	67.54 - 95.90	95.91 - 113.46	113.47 - 160.74	160.75 - 190.45	190.46 - 270.15	270.16 - 540.31	> 540.32
			25.328	50.655	81.723	104.687	137.106	175.604	230.311	405.240	1,350.800
Zn mg kg ⁻¹	46.600	5.825	11.650	23.300	33.086	39.144	55.454	65.706	93.200	186.400	745.600
	1.163		< 11.64	11.65 - 23.29	23.30 - 33.08	33.09 - 39.13	39.14 - 55.44	55.45 - 65.70	65.71 - 93.19	93.20 - 186.39	> 186.40
			8.738	17.475	28.193	36.115	47.299	60.580	79.453	139.800	466.000
N / Zn	801.630	100.204	200.408	400.815	569.157	673.369	953.940	1,130.298	1,603.260	3,206.520	12,826.080
	18.550		< 200.40	200.41 - 400.81	400.82 - 569.15	569.16 - 673.36	673.37 - 953.93	953.94 - 1130.29	1130.30 - 1603.25	1603.26 - 3206.51	> 3206.52
			150.306	300.611	484.986	621.263	813.654	1,042.119	1,366.779	2,404.890	8,016.300
P / Zn	139.350	17.419	34.838	69.675	98.939	117.054	165.827	196.484	278.700	557.400	2,229.600
	3.328		< 34.83	34.84 - 69.67	69.68 - 98.93	98.94 - 117.04	117.05 - 165.82	165.83 - 196.47	196.48 - 278.69	278.70 - 557.39	> 557.40
			26.128	52.256	84.307	107.996	141.440	181.155	237.592	418.050	1,393.500
K / Zn	196.040	24.505	49.010	98.020	139.188	164.674	233.288	276.416	392.080	784.160	3,136.640
	4.390		< 49.00	49.01 - 98.01	98.02 - 139.18	139.19 - 164.66	164.67 - 233.28	233.29 - 276.41	276.42 - 392.07	392.08 - 784.15	> 784.16
			36.758	73.515	118.604	151.931	198.981	254.852	334.248	588.120	1,960.400
Cu mg kg ⁻¹	10.200	1.275	2.550	5.100	7.242	8.568	12.138	14.382	20.400	40.800	163.200
	0.166		< 2.54	2.55 - 5.09	5.10 - 7.23	7.24 - 8.56	8.57 - 12.13	12.14 - 14.37	14.38 - 20.39	20.40 - 40.79	> 40.80
			1.913	3.825	6.171	7.905	10.353	13.260	17.391	30.600	102.000

Cuadro 16. Estándares nutricionales en la cáscara de la nuez

Nutriente	Media E. Est. Media	Deficiente (D)	Muy Bajo (mB)	Bajo (B)	Medianamente Bajo (MB)	Suficiente (S)	Medianamente Alto (MA)	Alto (A)	Muy Alto (mA)	Exceso (E)	
	DDI	0.0625	0.25	0.50	0.71	0.84	1.19	1.41	2.00	4.00	16.00
	0.562	0.070	0.141	0.281	0.399	0.472	0.669	0.792	1.124	2.248	8.992
Nt %	0.013	Intervalo	< 0.140	0.141 - 0.280	0.281 - 0.398	0.399 - 0.471	0.472 - 0.668	0.669 - 0.791	0.792 - 1.123	1.124 - 2.247	> 2.248
		Yi	0.105	0.211	0.340	0.436	0.570	0.731	0.958	1.686	5.620
NO ₃ mg kg ⁻¹	973.670	121.709	243.418	486.835	691.306	817.883	1,158.667	1,372.875	1,947.340	3,894.680	15,578.720
	28.691		< 243.417	243.418 - 486.834	486.835 - 691.305	691.306 - 817.882	817.883 - 1,158.666	1,158.667 - 1,372.874	1,372.875 - 1,947.339	1,947.340 - 3,894.679	> 3,894.680
	182.563		365.126	589.070	754.594	988.275	1,265.771	1,660.107	2,921.010	9,736.700	
P %	0.069	0.009	0.017	0.035	0.049	0.058	0.082	0.097	0.138	0.276	1.104
	0.003		< 0.016	0.017 - 0.034	0.035 - 0.048	0.049 - 0.057	0.058 - 0.081	0.082 - 0.096	0.097 - 0.137	0.138 - 0.275	> 0.276
			0.013	0.026	0.042	0.053	0.070	0.090	0.118	0.207	0.690
K %	0.235	0.029	0.059	0.118	0.167	0.197	0.280	0.331	0.470	0.940	3.760
	0.004	Intervalo	< 0.058	0.059 - 0.117	0.118 - 0.166	0.167 - 0.196	0.197 - 0.279	0.280 - 0.330	0.331 - 0.469	0.470 - 0.939	> 0.940
		Yi	0.044	0.088	0.142	0.197	0.239	0.306	0.401	0.705	2.350
Ca %	0.827	0.103	0.207	0.414	0.587	0.695	0.984	1.166	1.654	3.308	13.232
	0.012		< 0.206	0.207 - 0.413	0.414 - 0.586	0.587 - 0.694	0.695 - 0.983	0.984 - 1.165	1.166 - 1.653	1.654 - 3.307	> 3.308
			0.155	0.310	0.500	0.641	0.839	9.000	1.410	2.481	8.270
Mg %	0.055	0.007	0.014	0.028	0.039	0.046	0.065	0.078	0.110	0.220	0.880
	0.002		< 0.013	0.014 - 0.027	0.028 - 0.038	0.039 - 0.045	0.046 - 0.064	0.065 - 0.077	0.078 - 0.109	0.110 - 0.219	> 0.220
			0.010	0.021	0.033	0.043	0.056	0.072	0.094	0.165	0.550
(Ca+Mg)/K meq 100g	1.929	0.241	0.482	0.965	1.370	1.620	2.296	2.720	3.858	7.716	30.864
	0.030		< 0.047	0.482 - 0.963	0.965 - 1.369	1.370 - 1.619	1.620 - 2.295	2.296 - 2.719	2.720 - 3.857	3.858 - 7.715	> 7.716
			0.362	0.723	1.167	1.495	1.958	2.508	3.289	5.787	19.290
Ca/(K+Mg) meq 100g	1.722	0.215	0.431	0.861	1.223	1.446	2.049	2.428	3.444	6.888	27.552
	0.023		< 0.430	0.431 - 0.860	0.861 - 1.222	1.223 - 1.445	1.446 - 2.048	2.049 - 2.427	2.428 - 3.443	3.444 - 6.887	> 6.888
			0.323	0.646	1.042	1.335	1.748	2.239	2.936	5.166	17.220
Mg/(K+Ca) meq 100g	0.027	0.003	0.007	0.014	0.019	0.023	0.032	0.038	0.054	0.108	0.432
	0.001		< 0.006	0.007 - 0.013	0.014 - 0.018	0.019 - 0.022	0.023 - 0.031	0.032 - 0.037	0.038 - 0.053	0.054 - 0.107	> 0.108
			0.005	0.010	0.016	0.021	0.027	0.035	0.046	0.081	0.270
Ca/Mg meq 100g	24.920	3.115	6.230	12.460	17.693	20.933	29.655	35.137	49.840	99.680	398.720
	1.515		< 6.229	6.230 - 12.459	12.460 - 17.692	17.693 - 20.932	20.933 - 29.654	29.655 - 35.136	35.137 - 49.839	49.840 - 99.679	> 99.680
			4.673	9.345	15.077	19.313	25.294	32.396	42.489	74.760	249.200
K/Mg meq 100g	13.730	1.716	3.433	6.865	9.748	11.533	16.339	19.359	27.460	54.920	219.680
	0.871		< 3.432	3.433 - 6.864	6.865 - 9.747	9.748 - 11.532	11.533 - 16.338	16.339 - 19.358	19.358 - 27.459	27.460 - 54.919	> 54.920
			2.574	5.149	8.307	10.641	13.936	17.849	23.410	41.190	137.300
Na %	0.0051	0.0006	0.0013	0.0026	0.0036	0.0043	0.0061	0.0072	0.0102	0.0204	0.0816
	0.0001		< 0.0012	0.0013 - 0.0025	0.0026 - 0.0035	0.0036 - 0.0042	0.0043 - 0.0060	0.0061 - 0.0071	0.0072 - 0.0101	0.0102 - 0.0203	> 0.0204
			0.0010	0.0019	0.0031	0.0040	0.0052	0.0066	0.0087	0.0153	0.0510
Fe mg kg ⁻¹	33.900	4.238	8.475	16.950	24.069	28.476	40.341	47.799	67.800	135.600	542.400
	0.846		< 8.474	8.475 - 16.949	16.950 - 24.068	24.069 - 28.475	28.476 - 40.340	40.341 - 47.798	47.799 - 67.799	67.800 - 135.599	> 135.600
			6.356	12.713	20.510	26.273	34.409	2.000	57.800	101.700	339.000
Mn mg kg ⁻¹	46.180	5.773	11.545	23.090	32.788	38.791	54.954	65.114	92.360	184.720	738.880
	0.970		< 11.544	11.545 - 23.089	23.090 - 32.787	32.788 - 38.790	38.791 - 54.953	54.954 - 65.113	65.114 - 92.359	92.360 - 184.719	> 184.720
			8.659	17.318	27.939	35.790	46.873	60.034	78.737	138.540	461.800
Zn mg kg ⁻¹	2.290	0.286	0.573	1.145	1.626	1.924	2.725	3.229	4.579	9.160	36.640
	0.041		< 0.572	0.573 - 1.144	1.145 - 1.625	1.626 - 1.923	1.924 - 2.724	2.725 - 3.228	3.229 - 4.579	4.580 - 9.159	> 9.160
			0.429	0.859	1.385	1.775	2.324	2.977	3.904	6.870	22.900
N / Zn	2,471.540	308.943	617.885	1,235.770	1,754.793	2,076.094	2,941.133	3,484.871	4,943.080	9,886.160	39,544.640
	81.219		< 617.884	617.885 - 1,235.769	1,235.770 - 1,754.792	1,754.793 - 2,076.093	2,076.094 - 2,941.132	2,941.133 - 3,484.870	3,484.871 - 4,934.079	4,934.080 - 9,886.159	> 9,886.160
			463.414	926.828	1,495.282	1,915.444	2,638.613	3,213.002	4,213.976	7,414.620	24,715.400
	309.030	38.629	77.258	154.515	219.411	259.585	367.746	435.732	618.060	1,236.120	4,944.480
P / Zn	11.314		< 77.257	77.258 - 154.514	154.515 - 219.410	219.411 - 259.584	259.584 - 367.745	367.746 - 435.731	435.732 - 618.059	618.060 - 1,236.119	> 1,236.120
			57.943	115.886	186.963	239.498	313.665	401.739	526.896	927.090	3,090.300
	982.380	122.798	245.595	491.190	697.490	825.199	1,169.032	1,385.156	1,964.760	3,929.520	15,718.080
K / Zn	23.662		< 245.594	245.595 - 491.189	491.190 - 697.489	697.490 - 825.198	825.199 - 1,169.031	1,169.032 - 1,385.155	1,385.156 - 1,964.759	1,964.760 - 3,929.519	> 3,929.520
			184.196	368.393	594.340	761.345	997.116	1,277.094	1,674.958	2,947.140	9,823.800
	2.280	0.285	0.570	1.140	1.619	1.915	2.713	3.215	4.560	9.120	36.480
Cu mg kg ⁻¹	0.041		< 0.569	0.570 - 1.139	1.140 - 1.618	1.619 - 1.914	1.915 - 2.712	2.713 - 3.214	3.215 - 4.559	4.560 - 9.119	> 9.120
			0.428	0.855	1.379	1.767	2.314	2.964	3.887	6.840	22.800

V CONCLUSIONES

Los resultados en esta investigación sugieren que un sistema de fertilización mineral y orgánica logran disminuir el índice de alternancia en el nogal pecanero y a la vez se potencializa la producción y el índice de productividad a largo plazo. Es importante mencionar que los principales factores que mostraron un impacto en las variables evaluadas fueron el N, P₂O₅, CaO y humus líquido, sin embargo el K₂O es un factor que no se debe de descuidar.

En la concentración de los compuestos bioactivos presentes en la parte comestible de la nuez el año fue un factor que mostró impacto esto debido a las variaciones estacionales. Además, se encontró que la combinación de la fertilización mineral y orgánica contribuye en el aumento de la concentración de fenoles totales, taninos y en la capacidad antioxidante.

La parte comestible de la nuez tiene mayor contenido de minerales que la cáscara. El humus líquido fue uno de los principales factores que mostró impacto en el contenido de minerales, con lo cual se sugiere que se creó un equilibrio entre los factores evitando interacciones antagonistas y por lo tanto contribuyendo en la disponibilidad de los nutrientes.

Las dosis recomendadas para obtener resultados en todas las variables evaluadas en esta investigación fueron: para N 181.4 .0 kg ha⁻¹, para P₂O₅ 113.0 kg ha⁻¹, para K₂O 74.7 kg ha⁻¹, para el CaO 225.5 kg ha⁻¹ y para el humus líquido 3485.2 L ha⁻¹.

Se generaron los estándares nutricionales de la parte comestible y de la cáscara de la nuez con la finalidad de que el productor pueda conocer el estado nutricional del cultivo sin importar el órgano que se analice, además se pretende que estos estándares nutricionales ayuden a calcular las cantidades de extracción de los nutrientes y así poder calcular las dosis adecuadas de fertilización para cada ciclo productivo, buscando mantener la producción y la biofortificación de la nuez.

VI LITERATURA CITADA

Aguilar Armendariz, C. E., J. M. Soto Parra, R. M. Yáñez Muñoz, E. Sánchez Chávez y J. X. Uvalle Bueno. 2003. Caracterización Nutricional Foliar en Nogal Pecanero (*Carya Illinoensis* (Wangenh) K. Koch) 'Western Schley': Delicias, Chih. I.S.B.N.: 84-89720-03-7.

Atanasov, A. G., S. M. Sabharanjak, G. Zengin, A. Mollica, A. Szostak, M. Simirgiotis and A. Mocan. 2018. Pecan nuts: A review of reported bioactivities and health effects. Trends in Food Science & Technology, 71, 246-257.

Atiyeh, R. M., S. Lee, C. A. Edwards, N. Q. Arancon and J. D. Metzger. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. Biores. Technol. 84: 7-14.

Bulut, O., D. Akın, C. Sönmez, A. Öktem, M. Yücel and H. A. Öktem. 2019. Phenolic compounds, carotenoids, and antioxidant capacities of a thermo-tolerant *Scenedesmus sp.*(Chlorophyta) extracted with different solvents. Journal of Applied Phycology, 1-9.

Castellanos, J.Z. y J.X. Uvalle, A. Aguilar. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos, Aguas Agrícolas, Planta y ECP. Segunda Edición. Celaya, Gto., México 208 p.

Conner, P. J. and R. E. Worley. 2000. Alternate Bearing Intensity of Pecan Cultivars, HortScience HortSci, 35(6), 1067-1069.

Cucci, G., G. Lacolla, C. Summo and A. Pasqualone. 2019. Effect of organic and mineral fertilization on faba bean (*Vicia faba* L.). Sci. Hortic. Amsterdam, 243, 338-343, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.051>

Dahal, K. C., S. P. Bhattarai, D. J. Midmore, D. R. Oag and K. B. Walsh. 2019. Temporal yield variability in subtropical table grape production. Scientia Horticulturae, 246, 951-956.

de la Rosa, L., A., E. Alvarez-Parrilla y G. A. Gonzalez-Aguilar. 2009. Fruit and vegetable phytochemicals: Chemistry, nutritional value and stability. John Wiley and Sons.

de la Rosa, L. A., J. O. Moreno-Escamilla, J. Rodrigo-García and E. Alvarez-Parrilla. 2019. Phenolic compounds. In Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables (pp. 253-271). Woodhead Publishing.

de la Rosa, L. A., A. A. Vazquez-Flores, E. Alvarez-Parrilla, J. Rodrigo-García, O. N. Medina-Campos and A. Ávila-Nava. 2014. Content of major classes of polyphenolic compounds, antioxidant, antiproliferative, and cell protective activity of pecan crude extracts and their fractions. J. Funct. Foods. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2014.02.008>.

de la Torre-Gonzalez, A., D. Montesinos-Pereira, B. Blasco, and J. M. Ruiz. 2018. Influence of the proline metabolism and glycine betaine on tolerance to salt stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) commercial genotypes. Journal of plant physiology, 231, 329-336.

Figuroa, U., M.C. Medina y J.F. Chávez. 2002. Manejo del Suelo -125. Tecnología de Producción en Nogal Pecanero. SAGARPA. INIFAP-CIRNOC, Campo Experimental La Laguna, Coahuila, México. pp. 77.

Flores-Córdova, M. A., P. Berzosa-Vásquez, E. Sánchez-Chávez, J. S. Solís, S. Guerrero-Morales and J. Hernández-Carrillo. 2016. Composición fisicoquímica y capacidad antioxidante del fruto del pecanero en condiciones de año de elevada producción ("on") y de año de baja producción ("off"). ITEA, 112, 255-270.

Flores Plascencia, J. B., J. M. Vázquez Cisneros, J. M. Soto Parra, R. M. Yáñez Muñoz, F. J. Piña Ramírez, S. A. García Muñoz, R. Pérez Leal y E. Salazar Sosa. 2011. Compostas y Microorganismos en Nogal Nitrato Reductasa Contenido Nutricional Foliar y Producción. XXXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.

Flores-Cordova, M., E. Sanchez, E. Muñoz-Márquez, D. L. Ojeda-Barrios, J. M. Soto-Parra and P. Preciado-Rangel. 2017. Phytochemical composition and

antioxidant capacity in Mexican pecan nut. *Emir. J. Food Agric.*, 29, 346-350, doi: 10.9755/ejfa.EJFA-2016-08-1075.

Frazier, R. A., E. R. Deaville, R. J. Green, E. Stringano, I. Willough and I. Mueller-Harvey. 2010. Interactions of tea tannins and condensed tannins with proteins. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 51(2), 490-495.

Gama, T., H. M. Wallace, S. J. Trueman and S. Hosseini-Bai, 2018. Quality and shelf life of tree nuts: a review. *Scientia horticulturae*, 242, 116-126.

González-Chávez, D.L., O.A. Ojeda-Barríos, J. Hernández-Rodríguez, A. Martínez-Téllez y A. Núñez-Barríos. 2009. Ectomicorrizas en nogal pecanero. *Tecnociencia* 3: 138-140.

Hafeez, B., Y. M. Khanif, and M. Saleem. 2013. Role of zinc in plant nutrition-a review. *American journal of experimental Agriculture*, 3(2), 374.

Herrera, E. 1996. Fertilización de Huertas Nogaleras. *Manual del Nogal Pecanero*. New México State University. p 70-77.

Huang, J. H., J. Xu, X. Ye, T. Luo, L. H. Ren, G. C. Fan and L. S. Chen, 2019. Magnesium deficiency affects secondary lignification of the vascular system in *Citrus sinensis* seedlings. *Trees*, 33(1), 171-182.

Ingham, R.E. 2005. *The Compost Tea Brewing Manual*. 5th Edition. Soil Foodweb Inc, Corvallis, Oregon. USA. pp.79

Malik, N. S., J. L. Perez, L. Lombardini, R. Cornacchia, L. Cisneros-Zevallos and J. Bradford. 2009. Phenolic compounds and fatty acid composition of organic and conventional grown pecan kernels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(13), 2207-2213.

Mäser, P., M. Gierrth and J.I. Schroeder. 2002. Molecular mechanisms of potassium and sodium uptake in plants. In: Horst W.J. et al. (eds) *Progress in Plant Nutrition: Plenary Lectures of the XIV International Plant Nutrition Colloquium*. *Developments in Plant and Soil Sciences*, vol 98. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2789-1_3

Medina-Morales, M. D. C., Á. Lagarda-Murrieta y J. Arreola-Ávila. 2004. Productividad a largo plazo de 14 cultivares de nogal pecanero (*Carya illinoensis*) en la Comarca Lagunera, México. Revista Chapingo Serie Horticultura, 10(1), 31-36.

Martínez Díaz, G., H. Núñez Moreno y R. Sabori Palma. 2013 Reservas de carbohidratos y proteínas en raíces y su efecto en la productividad del nogal. XIV Simposio Internacional de Nogal Pecanero. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Moreno-Escamilla, L., A., J.O. Rodrigo-García and E. Alvarez-Parrilla. 2019. Phenolic compounds. In Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables (pp. 253-271). Woodhead Publishing. J.

Labrador Moreno, J. 2001. La materia orgánica en los agrosistemas. Madrid: Ministerio Agricultura.

Lehninger, A. L. 1991. Bioquímica. Ediciones Omega, S. A. México.

Lombardini, L. 2006. One-time pruning of pecan trees induced limited and short-term benefits in canopy light penetration, yield, and nut quality. HortScience, 41(6), 1469-1473.

Norma Mexicana NMX-FF-084-SCFI-2009. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-fruto fresco-nuez pecanera *carya illinoensis*, (wangenh) k. koch- especificaciones y métodos de prueba.

Ojeda-Barrios, D. L., O. A. Perea-Portillo, Hernández-Rodríguez, G. Ávila-Quezada, J. Abadía and L. Lombardini. 2014. Foliar fertilization with zinc in pecan trees. HortScience, 49(5), 562-566.

Porto, L. C. S., J. da Silva, A. D. Ferraz, D. S. Corrêa, M. S. Porto, C. D. L., Picada and J. N. 2013. Evaluation of acute and subacute toxicity and mutagenic activity of the aqueous extract of pecan shells [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch]. Food and chemical toxicology, 59, 579-585.

Pinheiro, P. A. , Silvestre, S. H., M. S. Mello, B. P. Manique, V. C. Werneck, M. Maraschin, F. S. Salvador, M. J. Block. 2014 Effect of the extraction process on

the phenolic compounds profile and the antioxidant and antimicrobial activity of extracts of pecan nut [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch] shell. *Ind. Crop. Prod.*, 52, 552-561, <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.11.031>.

Quiñones, M., M. Miguel y A. Aleixandre. 2012. Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición hospitalaria*, 27(1), 76-89.

Retes López, R., N. Palafox, A. Ramsés, S. Moreno Medina, D. Ballesteros, G. Francisco y M. H. Martin Rivera. 2014. Análisis de rentabilidad del cultivo de nogal pecanero en la costa de Hermosillo. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 34(1345-2016-104430).

Reuter, D. and J. B. Robinson (Eds.) 1997. *Plant analysis: an interpretation manual*. CSIRO publishing.

Reyes Vázquez, N.C. y R. Urrea López. 2016. Retos y oportunidades para el aprovechamiento de la Nuez pecanera en México. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), Primera edición. ISBN 978-607-9742-1-8-8.

Sánchez Chávez, E., J.M. Soto Ruiz, L. Romero. 2006. Caracterización del Estado Nutricional y Fisiológico en Plantas de Judía (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) Sometidas a un Estrés por Nitrógeno. Granada, España, I.S.B.N.: 84-89720-07-X

Sarkis, J. R., A. P. F. Côrrea, I. Michel, A.Brandeli, I. C.Tessaro and Marczak, L. D. 2014. Evaluation of the phenolic content and antioxidant activity of different seed and nut cakes from the edible oil industry. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91(10), 1773-1782.

SAS. 1989. SAS Institute Inc., SAS/STATR User's Guide, Version 6, Fourth Edition, Volume 2, Cary, NC: SAS Institute Inc.

Salisbury Frank, B. 1992. *Fisiología de las Plantas*. Paraninfo S.A. Magallanes No. 25; 28015 Madrid, España. p548.

Sánchez Chavez, E, J. M. Soto Parra, C. M. Sosa, M. R. Yáñez Muñoz y A. A Ezequiel. 2009. "Eficiencia de Uso del Nitrógeno en Nogal Pecanero" Publicado en Terra Latinoamericana 27: 311-317.

Sánchez-Chávez, E., J.M. Soto-Parra, R. Pérez-Leal, F.J. Piña-Ramírez, M. y Basurto-Sotelo. 2016. Alternativas orgánicas para disminuir la aplicación de nitrógeno en nogal pecanero. Nova Scientia, . 140-161.

Sanz, A., S. Pike, M. A. Khan, À. Carrió-Seguí, D. G. Mendoza-Cózatl, L. Peñarrubia and W. Gassmann, 2019. Copper uptake mechanism of Arabidopsis thaliana high-affinity COPT transporters. Protoplasma, 256(1), 161-170.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA), 2017. Cierre de la producción agrícola por cultivo 2017.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA), 2018. Cierre de la producción agrícola por cultivo 2017.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA) Servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP). 2016. Cierre de la producción agrícola por cultivo 2014.

Singleton, V. L. and J. A. Rossi. 1965. Colorimetric of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. Amer. J. Enol. Viticulture. 16: 144-158.

Shahidi, F. and Y. Zhong. 2015. Measurement of antioxidant activity. Journal of functional foods, 18, 757-781.

Shahidi, F. and P. Ambigaipalan. 2015. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. Journal of functional foods, 18, 820-897.

Soto Parra, J. M., J. X. Uvalle Bueno, E. Sánchez Chavez, R. M. Yáñez Muñoz., D. F. Montes. 2003. Diagnóstico Diferencial Integrado: Una Herramienta para el Uso Racional de los Fertilizantes. In: 1er Congreso Iberoamericano de Nutrición Vegetal – Agrolatino, "Fertilización, Rentabilidad y Medio Ambiente". Suplemento de Fruticultura Profesional No. 139. Extraordinario 2003:152-156.

Soto, J.M., Sánchez E., Pérez R., Flores J.B., Yáñez R.M., Romero L. 2012 Efecto de Nitrógeno Durante Brotación y Producción en Nogal Pecanero. XIV Simposio Hispano-Luso de Nutrición Mineral de las Plantas Madrid, España.

Soto, Parra, J. M., Piña Ramírez, F. J., Sánchez Chávez, E., Pérez Leal, R. y Basurto Sotelo, M. 2016. Alternativas orgánicas para disminuir la aplicación de nitrógeno en nogal pecanero. *Nova scientia*, 8(16), 140-161.

Sparks D. 1986. Pecan: Handbook of Fruit set and Development. CRC Press. Inc. p331-332. 164.

Sparks, D. 1994. Efectos nutricionales de la producción alternancia y calidad de la nuez. Memorias de las XII Conferencias Internacionales sobre el Cultivo del Nogal. San Carlos, Sonora.

Uvalle Bueno, J. X. 2000. Diagnóstico. Análisis de Agua, Suelo y Planta, su Interpretación y Utilidad agrícola, Hermosillo, Sonora, México. p173.

Uvalle-Bueno, J. X., S. Alcalde-Blanco, H. Kick. 1995. Fundamento Fisiológico del Diagnóstico Diferencial Integrado (DDI). Memorias del XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Victoria, Tamaulipas. México. p51.

Vázquez Vázquez, P. M. Z. García López, M. C. Navarro Cortez y D. García Hernández. 2015. Efecto de la composta y té de composta en el crecimiento y producción de tomate (*lycopersicon esculentum mill.*) En invernadero. *Revista Mexicana de Agronegocios*, Enero-Junio, 1351-1356.

Velasco, J. M., Romero, T. Salamanca, C. López. 2009. Biología 2º Bachillerato. Editex.

Villarreal-Lozoya, J. E., Lombardini, L., Cisneros-Zevallos, L. 2007. Phytochemical constituents and antioxidant capacity of different pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] cultivars. *Food Chemistry*, 102, 1241–1249. doi:10.1016/j.foodchem.2006.07.024.

Vogt, T. 2010. Phenylpropanoid biosynthesis. *Molecular plant*, 3(1), 2-20.

White, P. J. and P. H. Brown. 2010. Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of botany*, 105(7), 1073-1080.

Wood, B. W. 1995. Relationship of reproductive and vegetative characteristics of pecan to previous-season fruit development and postripening foliation period. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(4), 635-642.

Wood, B. W., P. J. Conner and R. E. Worley. 2003. Relationship of alternate bearing intensity in pecan to fruit and canopy characteristics. *HortScience*, 38(3), 361-366.

Yáñez, R.M., S.A. García, J.M. Soto, F. Montes, A. Rodríguez y J.C. López. 2010. *El nogal pecanero: sus perspectivas de producción, comercialización y transformación de la nuez*. México. Universidad Autónoma de Chihuahua. ISBN 978-607-7691-62-4.

Yáñez Muñoz, R. M., J. M. Soto Parra, J.M. Vázquez Cisneros, J. B. Flores Plascencia, F. J. Piña Ramírez, S. A. García Muñoz, M. Basurto Sotelo y E. Salazar Sosa. 2011. Adición de Materia Orgánica Para Reducir Fertilización Nitrogenada en Nogal. XXXVI Congreso Nacional De La Ciencia Del Suelo.

Yáñez-Muñoz, R. M. J.M. Soto-Parra, J. Flores-Plascencia, F.J. Piña-Ramírez, M. Basurto-Sotelo y Pérez-Leal. 2015. Contenido de Materia Orgánica Y Nitratos en Suelo en Nogal Pecanero.

Zaragoza-Lira, M.M., P. Preciado-Rangel, U. Figueroa-Viramontes, J.L. García-Hernández, M. Fortis-Hernández, M.A. Segura-Castruita, A. Lagarda-Murrieta y E. Madero-Tamargo. 2011. Aplicación de composta en la producción de nogal pecanero. *Rev. Chapingo. Serie Horticultura* 17:33-34.