



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

PROGRAMA DE POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA

PERFIL MICROBIOLÓGICO DE UN ANDOSOL, EN AGUACATE, CON MANEJO ORGÁNICO, BIODINÁMICO Y CONVENCIONAL

SERGIO URIEL CHÁVEZ ANGEL

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2018

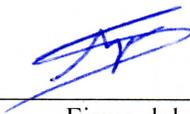
CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe SERGIO URIEL CHÁVEZ ÁNGEL, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor DR. ROBERTO QUINERO LIZAOLA, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis

"PERFIL MICROBIOLÓGICO DE UN ANDOSOL EN AGUACATE CON MANEJO ORGÁNICO, BIODINÁMICO Y CONVENCIONAL"

y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución. El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 26 de OCTUBRE de 2017



Firma del
Alumno (a)



DR. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **Perfil microbiológico de un andosol, en aguacate, con manejo orgánico, biodinámico y convencional**, realizada por el alumno: **Chávez Angel Sergio Uriel**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA

ASESOR



DR. PROMETEO SÁNCHEZ GARCÍA

ASESOR



M.C. MIGUEL PÉREZ ZAVALA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, abril de 2018

PERFIL MICROBIOLÓGICO DE UN ANDOSOL, EN AGUACATE, CON MANEJO ORGÁNICO, BIODINÁMICO Y CONVENCIONAL

Sergio Uriel Chávez Angel, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

La metagenómica ha revolucionado el estudio ecológico de microorganismos en todo tipo de ambientes, pero el suelo es uno de los más estudiados y de los más heterogéneos, sin embargo, la extracción de DNA en andosoles implica un reto por su composición mineralógica y los complejos humus-aluminio. El objetivo de este trabajo fue analizar la diversidad bacteriana de un andosol de Michoacán con un enfoque metagenómico. El DNA se aisló por el método de fenol-cloroformo y un sistema comercial, este último mostró mayor eficiencia en la extracción, las bibliotecas se construyeron con el sistema 16S™ metagenomics y la secuenciación se realizó con un Ion PGM™ Sequencing 400 con usó un Ion 316™ Chip V2. Se obtuvieron 215279 lecturas útiles con longitud media de 266 pb y se identificó 208189 lecturas. Las curvas de rarefacción estimaron un déficit de al menos 80 OTUs a nivel de especie y se consideró la muestra poco diversa con base en los índices de Simpson y Shannon, a pesar de haber obtenido 212 familias y 205 especies, pero el 98% de la diversidad bacteriana se distribuyó entre Acidobacterias y Alfaproteobacterias; las familias Mycobacteriaceae, Rhodospirillaceae, Nostocaceae y Pseudonocardiaceae dominaron con el 98.51% de abundancia relativa y las especies *Skermanella aerolata* y *Skermanella stibiirensistens* fueron las más comunes el 75.35%. Se concluyó que la composición de la muestra fue heterogénea, pero la baja diversidad se relacionó con la poca equidad en la estructura. La presencia de contaminantes como antimonio podría explicar la baja abundancia relativa de 199 especies, ya que es tóxico para la mayoría de microorganismos, pero no para *Skermanella erolata* y *Skermanella stibiirensistens*. Aunado a esto, la dominancia de las clases Acidobacterias y Alfaproteobacterias pudo atribuirse al manejo agrícola y las enmiendas orgánicas aplicadas en el suelo para la producción de aguacate.

Palabras clave: Metagenómica, *Skermanella* spp., andosol, diversidad bacteriana.

MICROBIOLOGICAL PROFILE OF AN ANDOSOL, IN AVOCADO, WITH ORGANIC, BIODYNAMIC AND CONVENTIONAL MANAGEMENT

Sergio Uriel Chávez Angel, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2018

ABSTRACT

The metagenomic has revolutionized the ecological study of the microorganism in all kind of environments, but the soil is one of the most studied and most heterogeneous, nevertheless, the DNA extraction in andosols involve a challenge because of their mineralogy and humic-aluminium composition. The aim of this work was to analyze the bacterial diversity of an andosol from Michoacan within a metagenomic approach. The DNA was isolated by the phenol-chloroform method and a commercial kit, this last one show higher efficiency in the extraction, The library was prepared with the 16S™ metagenomics kit and the sequencing was performed with an Ion PGM™ Sequencing 400 and an Ion 316™ Chip V2. 215279 usable reads was obtained with 266 bp mean length and 208189 reads was identified. The rarefaction curves estimated a deficit of at least 80 OTUs specie-level, thus the sample was considered low diverse based on Simpson and Shannon index despite to having obtained 212 families and 205 species, but 98% of the diversity was distributed until Acidobacterias and Alfabroteobacterias; the families Mycobacteriaceae, Rhodospirillaceae, Nostocaceae and Pseudonocardiaceae dominated with 98.51% of relative abundance and *Skermanella aerolata* and *Skermanella stibiiresistens* was the most common species with 75.35%. It was concluded that the composition of the simple was heterogeneous, but the low diversity was related with the low equity on the structure. The presence of contaminants as antimony could explain the low relative abundance of the 199 species, because is toxic to the most microorganisms, but not for *Skermanella erolata* y *Skermanella stibiiresistens*. Moreover, the dominance of the class Acidobacterias y Alfabroteobacterias could be attributed to the agricultural management and the organic amendments applied on the soil to the avocado culture.

Index words: Metagenomic, *Skermanella* spp., andosol, bacterial diversity.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por haberme permitido concluir un gran reto, por los triunfos, fracasos y momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más y que gracias a todo lo vivido contribuyó en mi formación ayudándome a crecer como persona y profesional. El fracaso es parte de la vida; si no fracasas, no aprendes y si no aprendes, no cambias; agradezco por permitirme vivir este momento tan grande de mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por apoyarme con recursos económicos con el fin de realizar y concluir mis estudios de postgrado.

A mis hermanos Lisethe, Yuzelim y Joel, por estar siempre a mi lado apoyándome en las buenas y en las malas, gracias por estar en otro momento tan importante en mi vida y gracias por ser como son conmigo.

A mis abuelos Ma. del Sagrario Zarco Urincho y Leocadio Angel Alvarado, ya no se encuentran conmigo, pero aún son parte muy esencial en mi vida, mi formación tanto en lo laboral como en lo espiritual, ya que ellos me aportaron muchos valores y virtudes para llegar a donde me encuentro ahora. Agradezco mucho su aportación hacia mí, gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida. Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo desde del cielo, Dios los bendiga siempre.

A mi Profesor-Investigador Dr. Prometeo Sánchez García, gracias por su amistad incondicional, por su calidez humana que me brindó desde que lo conocí, platique con el de trabajar juntos en este proyecto donde me llevo mucho de sus enseñanzas y la excelente orientación que me proporcionó para la realización de la presente tesis de maestría, muchas gracias.

A mi tío Joel Ángel Zarco, por apoyarme con algunos trabajos en el huerto donde se realizó la investigación y también por enseñarme las labores en su debido tiempo para un mejor manejo dentro del huerto.

A los profesores del Instituto Tecnológico del Valle de Morelia, que han sido base muy fundamental con sus conocimientos y me animaron hacer esta Maestría en donde algunos de ellos estudiaron en el Colegio de Postgraduados, M. C. Francisco Javier Jara García, M. C. Gilberto Espinoza Quiroz, M. C. José Eduardo Yépez Torrez, y a mi estimado amigo el Ing. Sabino Vega Castro, gracias por tanto y por haber sido parte también de este trabajo apoyándome cada uno con cada una de sus herramientas para que este trabajo tenga también un pedacito de ustedes.

Dr. Edgardo Federico Hernández Valdez, de la Facultad de Agrobiología “presidente Benito Juárez” de la UMSNH, por su recomendación, apoyo y orientación en la Maestría, al Dr. Alejandro Alarcón del Colegio de Postgraduados, les agradezco mucho de corazón.

Al Ing. Salvador Torres Mendoza, por su apoyo incondicional en todo momento, por enseñarme a desempeñarme técnicamente como profesionista y darme las herramientas necesarias para realizar este trabajo tan apasionante gracias por su apoyo es muy fundamental, por abrirme las puertas en su empresa y ayudarme a mejorar mis conocimientos, en el campo y en lo personal.

A cada uno de mis maestros que brindaron su apoyo incondicional y su orientación en mi formación profesional, Dr. Alfredo López Jiménez, M. C. Alfonso Muratalla Ulúa, Dr. Arturo Galvis Spinola, Dr. Roberto Quintero Lizaola y Dr. David Espinosa Victoria.

Al Pbro. Dr. José Luis Castorena Almanza, por sus oraciones y siempre por estar al pendiente de mi al atenderme y darme siempre su orientación, Dios le bendiga siempre.

A Gonzalo Becerra Pureco, colaborador, por brindarme su apoyo y ser mi brazo derecho en las labores de la huerta, gracias a su colaboración pudo realizarse este trabajo de investigación.

A mis compañeros de Maestría, Julio Cesar Muñoz Bojorges, Jorge Víctor Maurice Lira y Enrique Vázquez Rodríguez, por apoyarme en el posgrado con sus experiencias y orientación de la misma en conjunto con el Sr. Luis Zamora en laboratorio en los análisis de este trabajo.

Al Ing. José Luis López Barrera, por sus aportaciones, capacitaciones en el manejo de las técnicas de la poda, manejo fitosanitario y aportaciones para este trabajo de investigación realizado.

Al Ing. Fidel Quintana Lemus, por su apoyo y colaboración en el manejo fitosanitario y valiosas aportaciones para el mismo mejoramiento de la huerta.

Finalmente, al Instituto Tecnológico del Valle de Morelia, y al Colegio de Posgraduados, que me brindó un lugar en sus instalaciones para nutrirme de conocimientos y tecnologías nuevas en el área de la Ingeniería en Agronomía, y en el Posgrado sus aportaciones en este campo de investigación y mejor desempeño en la agricultura. A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

DEDICATORIA

La agricultura es la profesión propia del sabio, la más adecuada al silencio y la ocupación más digna para todo hombre libre. Sin importar que tan urbana sea nuestra vida, nuestros cuerpos viven de la agricultura; nosotros venimos de la Tierra y retornaremos a ella, y es así que existimos en la agricultura tanto como existimos en nuestra propia carne.

Dedico esta tesis a mis padres, Griselda Ángel Zarco y Javier Chávez Pérez, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.

A mi futura esposa Aritzi Elizabeth Téllez Aviña, por tu paciencia y comprensión, por apoyarme y brindarme en todo momento lo necesario en mi estancia en el Colegio. Por tu bondad y sobre todo tú amor me inspiraste a ser mejor para ti y darte cada día la mejor versión de mí, gracias a ti se hizo posible todo y ahora puedo decir que esta tesis lleva mucho de ti, gracias por estar siempre a mi lado.

Al M.C. Miguel Pérez Zavala, que ha sido parte esencial de este trabajo de tesis y en gran parte por haberme brindado sus conocimientos, por la paciencia y dedicación que me ha tenido desde la licenciatura en el Instituto Tecnológico del Valle de Morelia y ahora en el Colegio de Postgraduados, brindándome todo sus conocimientos de Maestría para que yo pueda desempeñarme ahora en ese grado, ha cerrado un ciclo en ITVM y concluye otro conmigo con este trabajo que ha sido tan importante para mí, pasando la antorcha.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
AGRADECIMIENTOS	vi
DEDICATORIA.....	ix
CONTENIDO	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE CUADROS.....	xii
CAPITULO I. INTRODUCCION GENERAL.....	1
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2. HIPÓTESIS GENERAL.....	4
1.3. REVISION DE LITERATURA	4
1.3.1. Importancia del cultivo	4
1.3.2. Fases del Aguacate	7
1.3.3. Condiciones ideales para el cultivo de aguacate	10
1.3.4. Control fitosanitario	11
1.3.5. Clasificación y función de los elementos nutricionales	12
1.3.6. Fertilizantes orgánicos y biofertilizantes.....	16
1.3.7. Composta	18
1.3.8. Gallinaza	20
1.3.9. Organodel.....	22
1.3.10. Manejo biodinámico	23
1.4. LITERATURA CITADA	27
CAPITULO II. ANÁLISIS METAGENÓMICO DE UN ANDOSOL CON ENMIENDAS ORGÁNICAS DE MICHOACÁN.....	32
2.1. RESUMEN	32
2.2. ABSTRACT.....	33
2.3. INTRODUCCIÓN.....	34
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS	35
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
2.6. CONCLUSIONES	44
2.7. REVISIÓN DE LITERATURA.....	45
CAPITULO III. ANÁLISIS DE UN ANDOSOL CON ENMIENDAS ORGÁNICAS DE MICHOACÁN.....	50

3.1. RESUMEN	50
3.2. ABSTRACT	51
3.3. INTRODUCCIÓN.....	52
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS	53
3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
3.6. CONCLUSIONES	66
3.7. LITERATURA CITADA	67
CAPITULO IV. ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL DE AGUACATE, BAJO MANEJO CON ENMIENDAS ORGÁNICAS DE MICHOACÁN.....	69
4.1. RESUMEN	69
4.2. ABSTRACT	70
4.3. INTRODUCCIÓN.....	71
4.4. MATERIALES Y MÉTODOS	72
4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	74
4.6. CONCLUSIONES	83
4.7. LITERATURA CITADA	84

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. CURVA DE CRECIMIENTO DE FRUTO DE AGUACATE (MAGALLANES, 1979).....	9
FIGURA 2. MINERALIZACIÓN DE LOS ABONOS ORGÁNICOS (CASTELLANOS Y PRATT, 1981).	22
FIGURA 3. INFLUENCIAS EXTERNAS EN EL ORGANISMO GRANJA (HTTPS://WWW.AGROPTIMA.COM/BLOG/AGRICULTURA-BIODINAMICA/).	25
FIGURA 4. PRUEBAS DE INTEGRIDAD DE DNA METAGENÓMICO EXTRAÍDO MEDIANTE EL MÉTODO FENOL-CLOROFORMO (A) Y POR EL SISTEMA COMERCIAL ZR FECAL DNA MINIPREP™ (B). LOS CUADROS AMARILLOS INDICAN EL CARRIL QUE CORRESPONDE A LA MUESTRA DEL PRESENTE TRABAJO.....	38
FIGURA 5. CURVA DE RAREFACCIÓN Y ESTIMADOR DE CHAO1 DE LOS OTUs A NIVEL DE ESPECIE (A) Y FAMILIA (B) OBTENIDOS.	40
FIGURA 6. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS OTUs A NIVEL DE CLASE.	41
FIGURA 7. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS OTUs A NIVEL DE FAMILIA (A) Y ESPECIE (B).	42
FIGURA 8. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MUNICIPIO DE ARIO DE ROSALES, MICHOACÁN.	53
FIGURA 9. DISTRIBUCIÓN DE TRATAMIENTO EN CAMPO.	55

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1. MACRO Y MICRONUTRIMENTOS EN AGUACATE, FUNCIÓN EN LA PLANTA Y SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA (SÁNCHEZ, 1999; Y MALDONADO, 2002).	13
CUADRO 2. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE DIFERENTES ABONOS (RODRÍGUEZ, 1982).	17
CUADRO 3. CONTENIDO NUTRIMENTAL DEL ESTIÉRCOL DE BOVINO COMPARADO CON LA GALLINAZA (CASTELLANOS, 1981).	21
CUADRO 4. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL ORGANODEL.....	23
CUADRO 5. ÍNDICES DE DIVERSIDAD CON BASE EN LOS OTUs OBTENIDOS A NIVEL DE ESPECIE, GÉNERO Y FAMILIA.	40
CUADRO 6. RELACIÓN DE TRATAMIENTOS EVALUADOS CON EFECTO DE LA LUNA EN AGUACATE CV HASS.	54
CUADRO 7. EFECTO DE LA LUNA (FACTOR A) EN EL CONTENIDO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.....	60
CUADRO 8. EFECTO DE LA LUNA (FACTOR A) EN EL CONTENIDO DE MACRONUTRIMENTOS Y MICRONUTRIMENTOS EN SUELO.	60
CUADRO 9. EFECTO NUTRIMENTAL (FACTOR B) EN EL CONTENIDO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.....	61
CUADRO 10. EFECTO NUTRIMENTAL (FACTOR B) EN EL CONTENIDO DE MACRONUTRIMENTOS Y MICRONUTRIMENTOS EN SUELO.	61
CUADRO 11. EFECTO DE LA LUNA EN LOS TRATAMIENTOS EN EL CONTENIDO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.....	62

CUADRO 12. EFECTO DE LA LUNA Y NUTRIMENTOS EN LOS TRATAMIENTOS EN EL CONTENIDO DE MACRO NUTRIMENTOS EN EL SUELO.	63
CUADRO 13. EFECTO DE LA LUNA (FACTOR A) EN EL CONTENIDO DE MACRO NUTRIMENTOS Y MICRONUTRIMENTOS EN TEJIDO VEGETAL.....	75
CUADRO 14. EFECTO DE LA LUNA (FACTOR A) EN EL CONTENIDO DE CLOROFILA Y TAMAÑO DE HOJA.	75
CUADRO 15. EFECTO NUTRIMENTAL (FACTOR B) EN EL CONTENIDO DE MACRO NUTRIMENTOS EN TEJIDO VEGETAL.....	76
CUADRO 16. EFECTO NUTRIMENTAL (FACTOR B) EN EL CONTENIDO DE CLOROFILA Y TAMAÑO DE HOJA	77
CUADRO 17. EFECTO DE LA LUNA EN LOS TRATAMIENTOS EN EL CONTENIDO DE MACRO NUTRIMENTOS EN TEJIDO VEGETAL.....	78
CUADRO 18. EFECTO DE LA LUNA EN LOS TRATAMIENTOS EN EL CONTENIDO DE MICRO NUTRIMENTOS DE TEJIDO VEGETAL.....	80
CUADRO 19. EFECTO DE LA LUNA EN LOS TRATAMIENTOS EN EL CONTENIDO DE CLOROFILA Y TAMAÑO DE HOJA.....	81

CAPITULO I. INTRODUCCION GENERAL

El aguacate es un fruto de gran importancia económica para México, ya que es el principal país consumidor, productor y exportador del mundo, destacando el estado de Michoacán, como principal productor a nivel mundial en donde sobresale el cv 'Hass' por presentar mejor calidad y valor nutrimental, lo cual ha contribuido a mejorar la economía en México (Rivas y Trejo, 2011).

El aguacate es una fruta que, además de su exquisito sabor y de sus extraordinarias propiedades para la salud humana, tiene la peculiaridad de permanecer en madurez fisiológica por largo tiempo en el árbol sin avanzar a su madurez de consumo. Este almacén natural en el árbol es una característica de gran valor para la comercialización de la fruta, difícilmente encontrada en otro frutal. La fruta cosechada tiene dos destinos: el mercado nacional y el internacional (Téliz y Mora, 2007).

La producción mundial de aguacate (*Persea americana* Mill) se estima en 3'956,956 toneladas (FAOSTAT, 2012), en una superficie de 436,300 hectáreas que se distribuyen en más de 50 países, de las cuales el 90 % se originan en América y el 10 % restante en los demás continentes (Secretaría de Economía, 2012). Nuestro país es el principal productor mundial, aquí se produce el 30% de la oferta. Las exportaciones alcanzan hoy cerca de 600 mil toneladas con un valor de más de mil mdd, principalmente dirigidas a EEUU (80%), Japón (9%) y Canadá (5%) (Financiera Nacional de Desarrollo, 2014).

En México, 28 entidades federativas cultivan aguacate con una superficie sembrada que alcanza las 175,939.76 hectáreas con una producción total de 1,520,694.50 toneladas, siendo el Estado de Michoacán el principal productor con 127,084.07 hectáreas sembradas con una producción de 1,219,553.58 toneladas (SIAP-SAGARPA, 2014), lo que representa el 85.9 % del total nacional (Secretaría de Economía, 2014).

La importancia socioeconómica del aguacate se deriva del beneficio que derrama entre productores, comercializadores, industriales y consumidores. Los huertos generan empleo al demandar mano de obra para las podas, los riegos, el cuidado nutritivo y fitosanitario, la cosecha, el acarreo, la selección, el empaque, el traslado, el mercadeo y ventas al mayoreo y al menudeo. La demanda de mano de obra para la poda, cosecha, selección y comercialización es una aportación del aguacate a la atención de los problemas socioeconómicos derivados de la globalización de la economía (Téliz y Mora, 2007).

El cultivo del aguacate se ha constituido en una de las cadenas agroalimentarias de mayor importancia en México. En primera instancia satisface a plenitud el mercado interno, considerado el de mayor consumo de aguacate en fresco en el mundo. Así mismo, México es el mayor exportador de esa fruta hacia los países consumidores del resto del mundo. Este fenómeno representa un reto continuo porque se requiere la presentación de un producto con la calidad exigida por los mercados de consumo; lo que implica la generación de tecnologías de vanguardia que permitan obtener la mayor productividad en huertas, pero siempre en un marco de sustentabilidad del recurso (Coria, 2009).

El cultivar Hass es el más importante en Michoacán, en cuanto a superficie cultivada y producción. Los municipios del llamado Cluster del aguacate son: Uruapan, Tancítaro, Nuevo Parangaricutiro, Tingambato, Taretan, Ziracuaretiro, Ario de Rosales, Salvador Escalante y Tacámbaro.

Los suelos donde se produce aguacate en el mundo, generalmente son muy jóvenes en términos geológicos, de fácil drenaje, friables, ligeros y debido a estas características, son también de baja fertilidad natural. Por estas circunstancias, el manejo del suelo para suplir las necesidades nutricionales del cultivo es una práctica que adquiere relevancia y que se vuelve indispensable para la obtención de fruto de calidad en peso, tamaño, apariencia y forma, que satisfaga los gustos del consumidor final (Téliz y Mora, 2007).

La poca asistencia que hay y el mal manejo que existe por parte de los productores y técnicos en muchos de los huertos en la región de Ario de Rosales, y no solo ahí, sino en muchos de los municipios del estado de Michoacán, y esto se debe a la falta de preparación para trabajar tanto en las técnicas convencionales, orgánicas y biodinámicas ya que no se tiene un conocimiento sustentable en este tipo de técnicas para hacer una producción sustentable y sostenible, tampoco existe una fertilización adecuada debido a que en esta región son muy tradicionalistas para hacer cualquiera de los tres manejos que se hacen este tipo de cultivos aplicando grandes cantidades de abonos orgánicos, tales como el abono de bovino, gallinaza y algunas compostas, y en cuanto a la fertilización química no es la adecuada ya que muchos aplican solo por aplicar teniendo unos rendimientos bajos y más se trabaja en el manejo biodinámico viéndolo de una manera esotérica que la luna influye por arte mágica, más que desde el punto de vista científico que nos dé una mayor seguridad de este tipo de manejo en los huertos de la franja aguacatera.

Con base a lo anterior se realizó el presente proyecto de investigación, el cual inicio en abril del 2016 y terminó en mayo del 2017, con el objetivo de determinar y ratificar si el efecto de la luna en la fertilización química, orgánica y la biodinámica afecta en el rendimiento y calidad del aguacate que permita aumentar la producción tanto en cantidad y calidad, con el menor costo posible en un huerto de aproximadamente 27 años de edad, ubicado en Ario de Rosales, Michoacán.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la luna en la fertilización química, orgánica y la biodinámica, en aguacate Hass en Ario de Rosales, Michoacán.

1.2. HIPÓTESIS GENERAL.

El efecto de la luna no influye en la fertilización química, orgánica y la biodinámica, en aguacate Hass en Ario de Rosales, Michoacán.

1.3. REVISION DE LITERATURA

1.3.1. Importancia del cultivo

El aguacate es nativo de América. Se originó en Mesoamérica, que es la región centro de México y Guatemala (Williams, 1977). Los restos fósiles encontrados en el Valle de Tehuacán (cueva de Coxcatlan) en el estado de Puebla, México, tienen una antigüedad de 8,000 años (Smith, 1996); antigüedad cercana a los 10,000 años del hombre de Tepexpan, en el valle de México.

Las razas de aguacate mexicana y guatemalteca, se originaron en México y Guatemala. La raza antillana probablemente se originó en el sur de México (Yucatán) y en Centroamérica (El Salvador y Nicaragua). Ben-Ya'acov *et al.*, (1995) proponen una cuarta raza la costarricenses.

El nombre azteca del aguacate es Ahuacatl, antiguamente hubo algunos pueblos que se denominan ahuacatlan. Actualmente es desde Estados Unidos hasta Panamá, se conoce como ahuacate o aguacate; sin embargo, el termino se ha corrompido; en Perú es bien conocido como palto al árbol y palta a la fruta; en el idioma ingles se denomina avocado, en francés avocatier, en holandés avoca, en

Trinidad y Tobago zaboca, y en Jamaica avocado avocato, avigato albaceta (Storey *et al.*, 1994).

A principios del presente siglo, Ruíz (1992), describió varios tipos de aguacate como: dulce largo, dulce grande, verde precoz de San Ángel, morado de Chalco, negro de San Ángel, morado de San Ángel, mencionando a su vez la existencia de varios tipos en el Distrito Federal, y, además, indica que, en San Ángel, en la población de Tizapan, ha sido notable siempre por hermosas huertas y la bondad de sus frutos sobre todo el barrio conocido como Aguatitlan.

Aun cuando ya se habían iniciado las actividades de exploración y colecta en México por parte de investigadores de California Avocado Society, en búsqueda de materiales sobresalientes, la estadística sobre la producción y superficie que se tienen por parte de la dirección general de Agricultura comienzan a partir de 1927. Es decir, una vez que el país comienza su reordenamiento económico y político después de una larga lucha armada. La superficie registrada en la mayor parte se refiere a materiales criollos. De esta manera en el año 1927, a nivel nacional se registró una superficie de 2,910 ha y una producción de 27,303 ton. En Uruapan Michoacán, se ha señalado que para esta época la mayor parte de los árboles eran de traspatio porque lo consideraban sin valor (Gallegos, 1983).

El aguacate es hasta cierto punto un cultivo rustico, en condiciones tropicales con clima templado todo el año, inviernos benignos, lluvias abundantes, y suelos ligeros y bien drenados, puede prosperar y producir rendimientos aceptables (4 a 6 t ha⁻¹), prácticamente sin riego y fertilización (Bear, 1999).

Sin embargo, Ruíz *et al.*, (2005), mencionan que existen diferencias entre las razas predominantes de aguacate, así, la antillana prefiere temperatura media mayor a 22 °C, la guatemalteca entre 22 y 25 °C y la mexicana de 20 °C. Para todas las razas la humedad relativa debe ser alta, con alta insolación, lluvias abundantes de más de 800 mm y suelos francos, drenables, y ricos en materia orgánica.

El incremento en la producción del cultivo de aguacate mediante el suministro de riego es superior en comparación a la obtenida bajo condiciones de temporal tanto en producción de fruta como en vigor y aspecto del árbol; sin embargo, un mal manejo de riego perjudica al cultivo, al suelo disminuye el beneficio económico del productor. Además de dañar el medio ambiente al contaminar el acuífero, cuya presencia en la franja aguacatera es muy somera, cercano a la superficie o de alcance inmediato por las propiedades físicas de los suelos (Agrobosa, 1999; INIFAP, 2003).

La importancia socioeconómica del aguacate se deriva del beneficio que derrama entre los productores, comercializadores, industrializadores, y consumidores. Los huertos generan empleos al demandar mano de obra para las podas, los riegos, el cuidado nutritivo y fitosanitario, la cosecha, el aclareo, la selección, el empaque, el traslado, el mercado y ventas de mayoreo y menudeo. La demanda de mano de obra para la poda, de todas las actividades que son parte del manejo de pre y postcosecha es una aportación del aguacate a la atención de problemas socioeconómicos derivados de la globalización de la economía. El valor del cultivo por unidad de superficie, hace del aguacate una oportunidad comercial enfocada a los mercados nacionales e internacionales.

La importancia del aguacate en el mercado internacional ha crecido sosteniblemente, dejando de ser una fruta exótica para incorporarse en la dieta de muchos países. Esta tendencia se ha reforzado por la importancia mundial creciente en el consumo de productos naturales, a nivel internacional, la explotación comercial de aguacates se ha intensificado.

1.3.2. Fases del Aguacate

1.3.2.1. Fase vegetativa

El aguacate tiene un largo periodo de crecimiento en el total del ciclo anual, el cual puede ser de 8 a 10 meses. Algunos tipos de aguacate, en condiciones ambientales favorables, crecen interrumidamente, es decir que no tienen un periodo de reposo y está en constante actividad vegetativa. El periodo de crecimiento activo del árbol en los distintos órganos (yemas, brotes, flores y frutos), muestra diferentes formaciones y fases que son estados fenológicos. La actividad vegetativa comienza con la hinchazón de las Yemas y escamas, entonces las brácteas protectoras se separan, produciendo el llamado desborre (Larios *et al.*, 1996).

Los estados fenológicos de la fase vegetativa del aguacate se pueden clasificar en cinco estados (A, B, C, D, E), de acuerdo a la evolución y desarrollo de las yemas vegetativas. El primero se observa cuando una yema ha terminado su crecimiento, y puede conservar el mismo estado si entra en un nuevo periodo de reposo, parcial o prolongado, según las razones de carácter interno (genético), o externo (medio ambiente) de la latencia. La rama ya crecida en ciclo anterior, posee una yema terminal que se identifica por ser delgada y de forma alargada, presenta en las axilas de las hojas yemas axilares anticipadas (Larios *et al.*, 1996).

Se han determinado cinco estados fenológicos para la floración: A, B, C, D, y E:

Estado A: Yema apical amarilla rodeada de yemas axilares verde claras (yemas de floración).

Estado B: abarca verdaderamente la actividad meristemática que comienza a desarrollar las yemas. Estas presentan una forma más hinchada y las escamas que las cubren empiezan a separarse. Las yemas toman una coloración amarillenta, mientras que los entrenudos comienzan a agotarse, o están en vías de agotamiento (Larios *et al.*, 1996).

Estado C: Aparecen en el estado del brote nuevas hojitas (4 a 5), mientras que las yemas anticipadas adyacentes tienden a evolucionar (pueden también no hacerlo). En general, la dominancia de las yemas apicales es relativa en el aguacate.

Estado D: Es aquel en el cual el brote juvenil ya tiene un estado avanzado (las originales son hojitas bastantes desarrolladas). Las hojas no son totalmente funcionales, adquieren una coloración que va desde el rojo intenso al rosado. Este nuevo brote comienza a diferenciar aún más las hojas, separándolas, y el limbo todavía totalmente funcional. Se está entonces en el estado E, en el que finaliza la maduración de las hojas (www.fira.gob/publicaciones%20aguacate/2008).

Estado E: Se separan los pedúnculos florales; apertura de pétalos; y la yema terminal se desarrolla en la antesis o después de ella (Larios *et al.*, 2007).

El crecimiento durante el año no es continuo, pero el crecimiento activo del aguacate, en los periodos correspondientes, es mayor que el de los cítricos, en condiciones igualmente favorables. En primavera, poco después del periodo álgido de la floración, se inicia una larga etapa de crecimiento, más pronto en los arboles de la raza mexicana que en los de las otras razas. Estos brotes interrumpen ocasionalmente su crecimiento y sus yemas terminales quedan protegidas por algunas escamas. En arboles jóvenes, esta interrupción puede no tener lugar hasta mediados del verano y puede iniciarse otro periodo a fines de esta estación y continuar durante el invierno. En arboles viejos, el periodo de crecimiento de la primavera puede terminar en el verano, entre los de primavera y el otoño. Una característica especial del aguacate es el tanto por ciento de las yemas laterales que se desprenden cuando el árbol tiene un año o poco menos (www.INIFAP.gob/publisher/tecnicasaguacate/mich.2005).

Fructificación. Al finalizar la etapa de floración se produce la fecundación y las primeras divisiones celulares que le siguen; en este momento el fruto alcanza el estado fenológico del cuajado, de aquí en adelante comienza el desarrollo del fruto, el cual termina con la madurez del mismo (Larios *et al.*, 2007).

El fruto pasa por tres etapas de desarrollo:

- a) Etapa de multiplicación celular. Hay una intensa división celular y alcanza el número total de células que compondrán al fruto. El crecimiento en el tamaño es mínimo. El periodo es corto de 10 a 15 días.
- b) Etapa elongación celular. Comienza la acumulación de agua y sustancias orgánicas en el interior celular; se produce el aumento en volumen y peso hasta conseguir el tamaño natural del fruto. El periodo es corto varía entre los 15 a 22 días (Figura 1).
- c) Etapa de maduración. Se producen las transformaciones internas, de carácter bioquímica. El tamaño aumenta por la acumulación de agua.

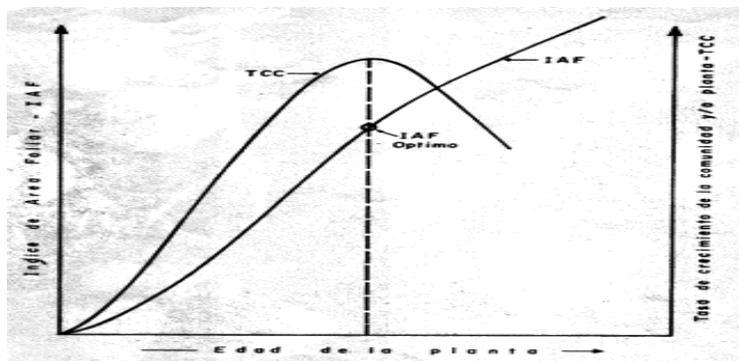


Figura 1. Curva de crecimiento de fruto de aguacate (Magallanes, 1979).

Considerando que la producción fotosintética de una planta es el resultado de la actividad de la superficie foliar, una mejor medida del capital productivo de la planta es el área de las hojas. El Índice del Área Foliar (IAF) indica la relación entre el área foliar total y el área de suelo cubierta por las plantas, o sea la densidad del follaje. Este índice (IAF) describe las dimensiones del sistema asimilador de una comunidad vegetal o planta, siendo por la tanto el principal factor a determinar en la productividad del cultivo (Magallanes, 1979).

El índice de área foliar (IAF) aumenta durante el crecimiento de la planta y alcanza un valor óptimo cuando la tasa de producción de materia seca (TCC) es máxima (Figura, 1). El IAF óptimo, difiere de aquel que determina la productividad económica máxima, estimada en términos de producción de frutos.

1.3.3. Condiciones ideales para el cultivo de aguacate

Clima. Entre Las condiciones agroambientales prevalecientes en la región productora de aguacate en el estado de Michoacán, destacan tres tipos climáticos que son:

- a) Semicálido, subhúmedo con lluvias en verano el más húmedo, en una altitud de 1600 a 1800 msnm.
- b) Semicálido, subhúmedo con lluvias en verano intermedio en humedad, en una altitud de 1,200 a 1600 msnm.
- c) Templado subhúmedo con lluvias en verano, el más húmedo. En una altitud de 1900 a 2300 msnm (Anguiano *et al.*, 2007).

Suelo. Bisonó y Hernández (2008), mencionan que el mejor suelo para el cultivo del aguacate es el de textura media por su buen drenaje. Los suelos muy livianos (con exceso de arena) no tienen capacidad adecuada de retención de humedad, los nutrientes se pierden por percolación y la aireación es excesiva. Los suelos medios y profundos garantizan el desarrollo del sistema radicular. En Michoacán las plantaciones se encuentran predominantemente (80.8%) en suelos de tipo andosol y el resto de la superficie en otros siete tipos con pendientes que van de 0 a 35% (Anguiano *et al.*, 2003).

Agua. El agua puede ser un insumo limitante del crecimiento del fruto. El peso fresco total del fruto, no fue afectado por el clima, pero si por el manejo del agua,

con mayor peso para temporal (221 g) que para riego (196.2 g), estos resultados indican que en temporal el fruto de las seis huertas analizadas, tienen mayor ganancia de peso, esto es importante ya que diversos autores han señalado que en riego se tiene mayor rendimiento de fruto (Tapia *et al.*, 2007).

1.3.4. Control fitosanitario

1.3.4.1 Principales plagas

Bisono y Hernández (2008), reportan que el aguacate es atacado por una diversidad de plagas y entre las de mayor importancia están la araña roja (*Oligonychus punicae* H), trips (*Liothrips perseae*), barrenador pequeño de la semilla (*Conotrachelus perseae* B), barrenador de troncos y ramas (*Copturus aguacate* K), araña cristalina (*Oligonychus perseae* TBA), gusano telarañero, thrips (*Thysanoptera*), nemátodos y ácaros.

1.3.4.2. Principales enfermedades del aguacate

Morales (2009), menciona las siguientes enfermedades: antracnosis, viruela, clavo, sarampión, marchitez de plantas, tizón floral (*Colletotrichum* sp. Penz (Anamorfo) = *Glomerella cingulata*), roña (*Sphalocema perseae*), anillamiento de pedúnculo (*Diplodia* sp; *alternaria* sp., *Helminthosporium* sp., *Dothiorella* sp., *Colletotrichum gloeosporioides*, *Pestalotiopsis* sp., y *Xanthomonas* sp), agalla de la corona (*Agrobacterium tumefaciens*), mancha del sol, pudrición del fruto (*Phytophthora citricola*), y tizón de la hoja (*Pestalotiopsis versicolor*); tristeza del aguacatero (*Phytoptora cinnamomi*), cáncer (*Phytoptora boehmeriae* S), roña (*Sphaceloma perseae* J), pudrición negra del fruto (*Phytoptora boehmeriae*), antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) (Morales, 1994).

1.3.5. Clasificación y función de los elementos nutricionales

1.3.5.1. Clasificación de los nutrimentos

Los requerimientos nutricionales del aguacate varían durante su desarrollo y son influenciados por la edad del árbol, fenología y la variedad. Se dice que el aguacate es una planta de baja demanda de nutrientes por tonelada de fruta producida (www.cedaf.org.do/CENTRODOC/.../GUIETECAGUACATE.PDF, 2009).

De acuerdo con Bidwell (1999), las plantas necesitan carbono, Hidrogeno, y oxígeno, pero estos están disponibles en el medio ambiente donde ellos crecen. Ciertos elementos como calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K), Nitrógeno (N), Fósforo (P), y azufre (S), son requeridos por las plantas en grandes cantidades y se conocen como nutrientes mayores o macro nutrimentos.

Otros como el hierro (Fe), Manganeso (Mn), Boro (B), Cobre (Cu), Zinc (Zn), molibdeno (Mb), y cloro (Cl), se requieren en pequeñas cantidades y se llaman micro nutrimentos. Por ello, el crecimiento de la planta puede reducirse notablemente cuando hay escasez de ellos en el suelo, o que son asimilables muy lentamente; o por no tener el equilibrio adecuado con los otros elementos esenciales. Estas delimitaciones se encuentran frecuentemente en el caso del P y N (Navarro, 2000).

1.3.5.2. Función y síntomas de deficiencia de los elementos nutricionales en el cultivo del aguacate

El cultivo del aguacate requiere 16 elementos esenciales y entre ellos, se encuentran elementos orgánicos: carbono, hidrógeno y oxígeno; minerales que se conocen los macronutrimentos como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre y magnesio; y micronutrimentos como el hierro, zinc, molibdeno, cobre, cloro, silicio, sodio, cobalto, manganeso y vanadio (Cuadro 1), algunos se requieren en cantidades muy bajas o trazas, y otros como el boro el intervalo entre la deficiencia y la toxicidad es muy cercano uno de otro (Sánchez, 2001).

Cuadro 1. Macro y micronutrientes en aguacate, función en la planta y síntomas de deficiencia (Sánchez, 1999; y Maldonado, 2002).

Elemento	Símbolo	Forma de absorción	Función en la planta	Síntoma de deficiencia
Nitrógeno	N	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻	Proteínas y clorofila	Amarillamiento general, brotación ausente, fruto pequeño
Fosforo	P	H ₂ PO ₄ ⁻² , HPO ₄ ⁻	Activador de fotosíntesis, transferencia de energía, mecanismos productivos.	Reducción de crecimiento y tamaño de hojas, quemaduras de foliares.
Calcio	Ca	Ca ⁺²	Crecimiento resistencia a enfermedades, más vida de anaquel.	Rigidez celular, quemaduras y deformación celular.
Potasio	K	K ⁺	Activador fisiológico general, calidad de fruto, resistencia de enfermedades.	Coloración pardusca y necrosis en lunares de la hoja.
Magnesio	Mg	Mg ⁺²	Activador enzimático, clorofila y respiración.	Restricción de crecimiento, amarillamiento de las hojas con manchas pardas en los márgenes.
Azufre	S	SO ₄ ⁻²	Síntesis de aminoácidos y proteínas, fotosíntesis.	Amarillamiento foliar y necrosis en márgenes.
Zinc	Zn	Zn ⁺²	Activador enzimático, calidad de fruto.	Amarillamiento, intervenal, deformación foliar, frutos redondos y pequeños.
Hierro	Fe	Fe ⁺²	Fotosíntesis, síntesis de proteínas, transferencia de energía.	Hojas amarillas con nervaduras respiración, verdes.
Cobre	Cu	Cu ⁺²	Fotosíntesis.	Coloración pardo-rojiza de nervaduras, defoliación prematura, brotación anormal.
Manganeso	Mn	Mn ⁺²	Crecimiento, producción.	Clorosis intervenal, manchas necróticas en hojas, amarillamiento intervenal.
Boro	B	B(OH) ₃	Crecimiento, producción, floración y desarrollo de fruto.	Caída de hojas, hojas nuevas secas, enrolladas y quebradizas, bajo amarre de Flores.
Cloro	Cl	Cl ⁻¹	Fotólisis del agua.	Clorosis general
Molibdeno	Mo	MoO ₄ ⁺²	Reducción de nitratos, no evidencias.	
Silicio	Si	Si(OH) ₄	Estructura celular, resistencia a enfermedades.	Mayor susceptibilidad a enfermedades
Cobalto	Co	Co ⁺²		
Vanadio	V	V ⁺		

1.3.5.3. Aspectos de fertilización importantes a considerar en aguacate.

La aplicación de fertilizantes se debe realizar considerando las necesidades de la planta, las características físico-químicas del suelo, las condiciones del cultivo y el comportamiento fenológico del árbol. El análisis foliar es una herramienta importante para conocer el estado nutrimental de huertos, particularmente para el desarrollo de programas de fertilización, por lo que la nutrición mineral de las plantas incide directamente en el rendimiento y la calidad del fruto de aguacate, así como en la presencia de desórdenes fisiológicos (Tagliavini *et al.*, 2000). Tomando en cuenta los análisis de las propiedades del suelo y los análisis de tejido son importantes ya que contando con estas herramientas podría ayudar a mejorar no sólo el rendimiento sino el tamaño y calidad de la fruta (Salazar y Lazcano, 1999).

Uno de los aspectos más importantes a considerar en la interpretación de resultados del análisis vegetal, se refiere a las relaciones nutrimentales, debido a que es común que se presenten síntomas de deficiencia de algún nutrimento por un desbalance, en cuanto a su concentración relativa con los demás. Esta relación es importante, tanto en el sustrato donde crecen las plantas (suelo o soluciones nutritivas) como dentro de la planta misma, ya que muchas veces altas concentraciones de algún elemento, pueden reducir la porción absorbida de otro, causando así una deficiencia de forma indirecta o inducida. Los balances adecuados entre nutrimentos varían con la etapa fenológica de la planta; así lo que fue óptimo para el desarrollo de la plántula puede no serlo ya para el desarrollo y cuajado de fruto, de ahí la importancia de conocer los equilibrios críticos para cada etapa fenológica (Arellano y Gutiérrez, 2009).

Las recomendaciones de fertilización para zonas aguacateras usadas en México son (en kg ha⁻¹): 200-200-100 de N-P-K para el Estado de México (Sánchez, 2001) y 200-200-300 para el estado de Michoacán, en estas zonas se han obtenido resultados exitosos por lo que dichas dosis podrían usarse como base para la elaboración de programas de fertilización (Tapia *et al.*, 2007).

La nutrición convencional de los huertos de aguacate se ha cuestionado debido a la contaminación de agua, suelo y aire. Si bien, la producción de aguacate puede beneficiarse con abonos orgánicos y así contribuir a prevenir la contaminación, los productores de aguacate son renuentes a adoptarla porque sólo conocen la fertilización inorgánica. Es entonces necesario demostrar que se pueden usar mezclas de fertilizantes orgánicos e inorgánicos sin demérito del rendimiento ni de la calidad de la fruta, además de que evita o reduce la contaminación (Aguirre *et al.*, 2009).

La demanda nutricional en aguacate es alta si se toma en cuenta la cantidad de nutrimentos que son extraídos en la cosecha (Avilan *et al.*, 1989) por lo que anualmente debe restituirse al suelo las cantidades que son extraídas más una cantidad adicional para compensar las pérdidas por lixiviación, volatización, fijación en el suelo y la que se utiliza para el crecimiento vegetativo continuo (Koller, 1984). A medida que crecen las plantas de aguacate, los suelos bajan sus contenidos nutrimentales, por lo que se necesita reponer los nutrimentos para que no se presenten deficiencias. Se debe tomar en cuenta que, en México, las recomendaciones de fertilización del aguacate generadas para una región especifican con frecuencia son extrapoladas de otras regiones productoras con condiciones ambientales y edáficas muy contrastantes, sin considerar las variaciones en la fertilidad de los suelos ni la condición nutrimental de los árboles (Salazar *et al.*, 2009).

Existe controversia sobre los requerimientos nutrimentales del aguacate. Debido al alto contenido de aceite en el futuro de aguacate (3 al 20%) se considera que la producción de fruto debe requerir una elevada cantidad de nutrimentos, por otra parte, también se argumenta que como el aguacate ha evolucionado en suelos de baja o mediana fertilidad, pero con una capa superficial de materia orgánica, (generalmente desarrollada por el mismo árbol), es muy hábil para satisfacer gran parte de sus requerimientos nutricionales a partir de ese sustrato orgánico y es capaz de producir frutos de calidad (Salazar-García, 2002).

La localización de fertilizante alrededor del tallo del aguacate debe hacerse considerando la mayor cantidad de raíces activas. Esto asegura el eficiente aprovechamiento de los nutrientes aplicados. Estas raíces se hallan localizadas entre la mitad del radio de la copa y la protección externa de la misma (Avilan *et al.*, 1999).

1.3.6. Fertilizantes orgánicos y biofertilizantes

La agricultura orgánica convive mucho con la agricultura tradicional pues no causa efectos dañinos y además conserva la cultura y garantiza una vida digna. Este tipo de agricultura también oferta mucha potencialidad para la comercialización. Es un proceso natural que depende de un ecosistema en el que un conjunto de factores influye para determinar el resultado de una siembra. Ese conjunto de factores en la interacción de poblaciones, los flujos de energía, los ciclos de nutrientes y del agua, la sucesión ecológica, entre otros, son procesos interdependientes

(www.union.org.mx/guia/actividadesyagravios/agriculturaorganica.htm).

El manejo orgánico es un sistema de producción desarrollado a principios del siglo por agricultores europeos y adoptado posteriormente en Estados Unidos. Según una definición del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (1984), la agricultura orgánica es un sistema de producción que evita o excluye ampliamente el uso de fertilizantes químicos plaguicidas y reguladores del crecimiento, tanto como sea posible. Estos sistemas de agricultura orgánica se basan en la rotación de cultivos, utilización de estiércol de animales, leguminosas, abonos verdes, residuos orgánicos originados fuera del predio, cultivo mecánico, minerales naturales y aspectos de control biológico de plagas para mantener la estructura y productividad del suelo, aportar nutrientes para las plantas y controlar insectos, malezas y otras plagas (Gómez, 2000). Los diversos materiales orgánicos varían en su composición (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición nutricional de diferentes abonos (Rodríguez, 1982).

Material	Elementos nutritivos (%)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	M.O.
Estiércol de res	0.4	0.2	0.4	30
Estiércol de oveja	1.0	0.3	1.0	60
Estiércol de cerdo	0.5	0.3	0.65	60
Gallinaza	-----	1.6	1.25	0.9
Harina de alfalfa	2.5	0.5	2.1	85
Paja de alfalfa	1.5	0.3	1.5	82

En este sistema de la agricultura orgánica trata de utilizar al máximo los recursos y desechos orgánicos dándole énfasis a la fertilidad del suelo e incrementando la producción de los cultivos y la actividad biológica y al mismo tiempo ir dejando de usar los fertilizantes químicos con finalidad de proteger al medio ambiente y la salud humano dando más confianza de los productos para el consumidor.

Los abonos orgánicos comprenden una amplia gama de productos, que van desde los estiércoles frescos, que pueden presentarse de diferentes formas (mezclados con paja, en forma líquida como los purines, etc.), hasta los composteados, realizados a base de estiércol residuos vegetales o de la agroindustria, en diferentes mezclas, enriquecidos o no y bajo diferentes procesos de fermentación.

Las plantas se benefician por efecto de algunos microorganismos del suelo que favorecen el estado nutrimental. El nitrógeno y fósforo generalmente se encuentran deficientes, pero las bacterias fijadoras de nitrógeno y los hongos micorríticos los hacen disponibles para las plantas (González-Chávez, 1995).

Los principales frutales que han sido trabajados con la micorriza arbuscular son; papaya, guanábana, chirimoya, café, mango, limón, aguacate y otros, los cuales han manifestado buenas respuestas (Gómez-Cruz, 1995; Alarcón, 1997). La Micorriza permite a la planta incrementar la exploración de la raíz con un aumento en la absorción y transporte de nutrientes como fósforo, nitrógeno, cobre, zinc y

agua del suelo, proporcionándole mayores ventajas para su desarrollo y productividad (www.inifap.gob.mx).

1.3.7. Composta

La composta es definida por la Asociación Mexicana de Agricultores Ecológicos fundada en 1992, como el arte y la ciencia para obtener productos agropecuarios sanos, mediante técnicas que favorezcan las fuentes naturales de fertilidad del suelo sin el uso de agroquímicos contaminantes, a través de un programa preestablecido de manejo ecológico. El abono resultante contiene materia orgánica, así como, los nutrientes nitrógeno, fósforo, potasio magnesio, calcio, hierro y otros elementos esenciales para la vida de las plantas (Haug, 1980). La composta es la descomposición y estabilización de sustratos orgánicos bajo condiciones que permiten el desarrollo de temperaturas termofílicas que son la resultante de los procesos biológicos mismos que dan el abono orgánico que se forma por la degradación microbiana de materiales acomodados en capas y sometidos a un proceso que requiere condiciones especiales de humedad y aireación para generar temperaturas termofílicas para la descomposición con esas condiciones controladas y aceleradas de fermentación, en el compostaje, la materia orgánica de fácil descomposición (glúcidos, proteínas, etc.) se fermenta produciendo CO₂ y agua y desprendiendo calor haciendo que los microorganismos lleven a cabo la descomposición o mineralización de los materiales ocurren de manera natural en el ambiente; el método para producir este tipo de abono es económico y fácil de implementar. La composta contiene gran variedad y densidad de microorganismos como hongos, bacterias y lombrices que sintetizan enzimas, vitaminas, hormonas y que repercuten favorablemente en el equilibrio biótico del suelo

(http://red.ilce.edu.mx/sitios/proyectos/recup_nuestroamb_oto16/pdf/elaboracion_de_composta_sagarpa.pdf).

La composta es una fuente importante de nutrientes para la planta, es un aporte de materia orgánica que devuelve al suelo lo que la planta exige durante su desarrollo. Cuando esta parte orgánica del suelo no existe o es deteriorada, los suelos pierden su capacidad productiva y finalmente terminan por convertirse en suelos infértiles.

1.3.7.1. Funciones de la composta en el suelo

- Mejora las propiedades físicas del suelo.
- La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad, y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo. Se obtienen suelos más esponjosos y con mayor retención de agua.
- Mejora las propiedades químicas.
- Aumenta el contenido de macronutrientes N, P, K, y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y es fuente y almacén de nutrientes para los cultivos.
- Mejora la actividad biológica del suelo.
- Actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización.

(www.infoagro.com/abonos/compostaje.asp).

Por otra parte, Jeavons (1991), citado por Hernández (2003), menciona que las funciones de la composta en el suelo son:

Mejora la estructura del suelo, lo que significa que va a poder trabajarse más fácil y tendrá una mejor aireación, una adecuada retención del agua. Además, la composta, provee de nutrientes a las plantas y sus ácidos orgánicos hacen a los nutrientes del suelo más disponibles para las plantas.

Retención de humedad, un suelo con un buen contenido de materia orgánica absorbe el agua de lluvia como una esponja y la pone a disposición de las plantas a medida que va necesiéndola.

Aireación, una tierra sana y suelta ayuda a que el aire se difunda en el suelo, además de contribuir al intercambio de nutrientes y de humedad.

Almacenamiento de nitrógeno. El montón de composta es un almacén de nitrógeno. Durante el periodo que dura el proceso de descomposición de la composta ese nutriente soluble en agua permanece retenido, y así se evita su lixiviación o su oxidación en el aire.

Nivelador de pH (efecto buffer). En un suelo con contenido adecuado de composta ayuda a que las plantas resistan mejor el cambio de pH.

Neutralizador de las toxinas del suelo. Las plantas cultivadas en suelos con composta orgánica asimilan cantidades inferiores de pb, metales pesados y otros contaminantes urbanos.

Alimento para la vida microbiana. Una buena composta crea condiciones favorables para los organismos que viven en el suelo.

Reciclamiento. La tierra nos da alimento, vestido, alojamiento y nosotros cerramos el círculo ofreciendo fertilidad, salud y vida mediante la devolución de los materiales al lugar de donde provinieron.

1.3.8. Gallinaza

La gallinaza es un excelente fertilizante si se utiliza de manera correcta. Es un material con buen aporte de nitrógeno, además de fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y algunos micronutrientes. Su aplicación al suelo también aumenta la materia orgánica, fertilidad y calidad del suelo.

Como ya se ha indicado, la calidad de la gallinaza y su potencial en el aporte de nutrientes depende de varios factores. Lo ideal es que antes de utilizar la gallinaza como fuente de nutrientes, se procure analizarla en un laboratorio de

confianza. Al contar con un análisis químico robusto se puede conocer el aporte real esperado de un material en particular, además es una guía para definir la dosis de aplicación. La gallinaza en comparación con otros abonos orgánicos tiene un mayor aporte nutrimental, en el siguiente cuadro puede observarse un ejemplo en el (cuadro 3) (<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/gallinaza-como-fertilizante>).

Cuadro 3. Contenido nutrimental del estiércol de bovino comparado con la gallinaza (Castellanos, 1981).

Nutriente	Estiércol de Bovino (kg/ton)	Estiércol de Gallinaza (kg/ton)
Nitrógeno	14.2	34.7
Fósforo (P ₂ O ₅)	14.6	30.8
Potasio (K ₂ O)	34.1	20.9
Calcio	36.8	61.2
Magnesio	7.1	8.3
Sodio	5.1	5.6
Sales solubles	50	56
Materia orgánica	510	700

Cabe destacar que la gallinaza es también uno de los abonos orgánicos con mayor tasa de mineralización. Esto la hace una excelente fuente para el aporte de nitrógeno a los cultivos, pues tan solo en tres semanas el nitrógeno orgánico de la gallinaza se mineraliza en un 75 % aproximadamente. Por citar un ejemplo: si se aplican 10 ton de gallinaza con 80 % de materia seca (8 ton), 4 % de N (320 kg de N orgánico), y con un 75 % de mineralización, se tendría un aporte de 240 kg de N disponible para el cultivo (Figura 2) (<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/gallinaza-como-fertilizante>).

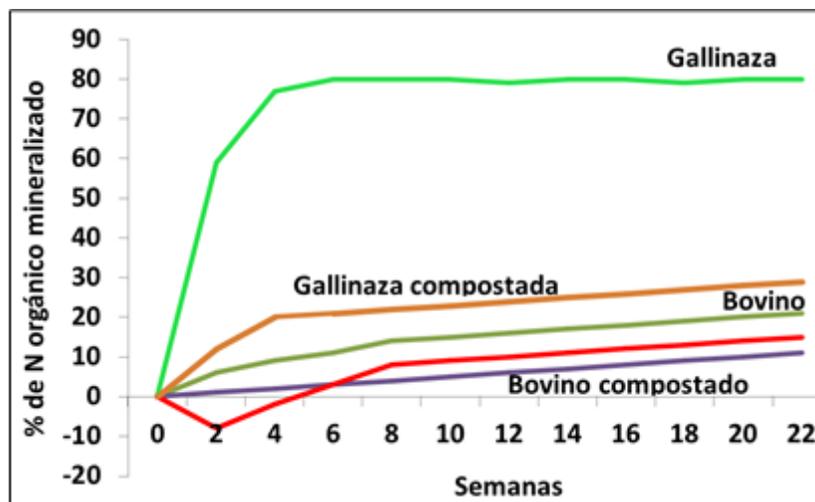


Figura 2. Mineralización de los abonos orgánicos (Castellanos y Pratt, 1981).

1.3.9. Organodel

La empresa Delta produce un fertilizante orgánico que lo llama “OrganoDel”, mejorador orgánico de suelos, resultado de la inoculación del estiércol con bacterias aeróbicas termofílicas, las cuales inician un proceso de descomposición generando temperaturas de hasta 75° C eliminando de esta manera las semillas de malas hierbas y patógenos, convirtiéndolo en humus y en nutrientes asimilables para los cultivos, es elaborado con estiércol de aves, bovinos, residuos orgánicos y vegetales. Contiene 85% M.O, 60% humus y 10.1 % ácidos húmicos. Organodel provee M.O. inoculada con bacterias, rica en energía (humus) que contiene nitrógeno, fósforo y potasio en forma disponible y que hace accesibles al calcio, magnesio y azufre, necesarios para el desarrollo y crecimiento de las plantas (Cuadro 4). Es un fertilizante biológico que restituye la M.O natural de suelos, que, debido a la explotación intensiva, han perdido con los años gran parte de la misma (<http://www.agrodelta.com.mx/productos/organodel.html>).

Cuadro 4. Características químicas del Organodel.

Elementos Nutritivos	Contenido (Kg t ⁻¹)
Nitrógeno	39
Fósforo	23
Potasio	34
Calcio	64
magnesio	8.1
Azufre	3.2
Cobre	0.05
Zinc	0.3
Manganeso	0.3
Fierro	2.2
Materia orgánica	85%
Humus	60%
Ácidos húmicos	10.1%

1.3.10. Manejo biodinámico

La llamada Agricultura Biodinámica Ecológica. La agricultura biodinámica utiliza de forma responsable los recursos naturales, sin emplear sustancias químicas como fertilizantes, pesticidas o transgénicos. Este método es considerado como el primer método de agricultura ecológica europea, basado en los principios del filósofo austríaco Rudolf Steiner, a quien acudieron en 1920 un grupo de agricultores de Koberwitz (Austria), alarmados por la pérdida de fertilidad de la tierra y el escaso valor nutritivo de sus cosechas. Nos referimos a la "antroposofía" (<https://www.biomanantial.com/agricultura-biodinamica-fundamentos-y-metodos-a-1456-es.html>).

La agricultura biodinámica se diferencia de otros tipos de agricultura ecológica en el uso de preparados vegetales y minerales como aditivos para el compost y aerosoles para el terreno, así como en el seguimiento de un calendario de siembra basado en el movimiento de los astros, la agricultura biodinámica engloba todas estas series de prácticas dentro de lo que conocemos como agricultura ecológica, pero también tiene similitudes como el uso de medios naturales y sostenibles para sus cultivos, las rotaciones de cultivos bien pensadas, compost elaborado con estiércol de la granja, y control de malas hierbas y enfermedades utilizando materiales basados en plantas y minerales.

La agricultura biodinámica es la creencia de la influencia del cosmos en la agricultura, ya que, para ella, las plantas, los animales, el hombre y el cosmos funcionan como un gran organismo agrícola en el que nada escapa al conocimiento. Dentro de sus prácticas agrícolas, y están convencidos de la existencia de ritmos, fuerzas y energías cósmicas que influyen en todos los seres vivos.

Los objetivos de la Agricultura biodinámica, trata de orientar la actividad hacia una economía saneada, mecanizando los procesos para ir disminuyendo la utilización de mano de obra humana, y cuando se usa, que sea eficaz, especializando las actividades, con el objetivo de la autosuficiencia. En materia de producción, se regula el aporte de nutrientes y sus ciclos dentro de la plantación, así como el uso mayoritario de materiales de abono o fertilizantes producidos en la misma explotación, el control de plagas y el de adventicias, en la rotación de cultivos, el uso de alimentos para el ganado que se produzca en la misma finca, etc. (<https://www.agroptima.com/blog/agricultura-biodinamica/>).

En lo referido al medio ambiente, la agricultura biodinámica va orientada a una estimulación de procesos equilibrados, integrando la producción en el medio ambiente, con un estricto control de la contaminación, la máxima conservación del suelo aumentando su fertilidad, etc.

Más allá de un conjunto de técnicas, la agricultura biodinámica se ocupa de los principios fundamentales de la naturaleza, el equilibrio y la curación. De esta forma, la luz del sol, la luna, planetas y estrellas regulan los ritmos de las plantas,

contribuyendo a la vida y al desarrollo de los cultivos, Steiner considera a la finca agrícola u organismo granja como un organismo cerrado pero influenciado por el cosmos y por el suelo, y cuyo desarrollo depende, en gran medida, de su relación con un conjunto de energías, fuerzas y tendencias naturales, como se esquematiza en la siguiente figura.

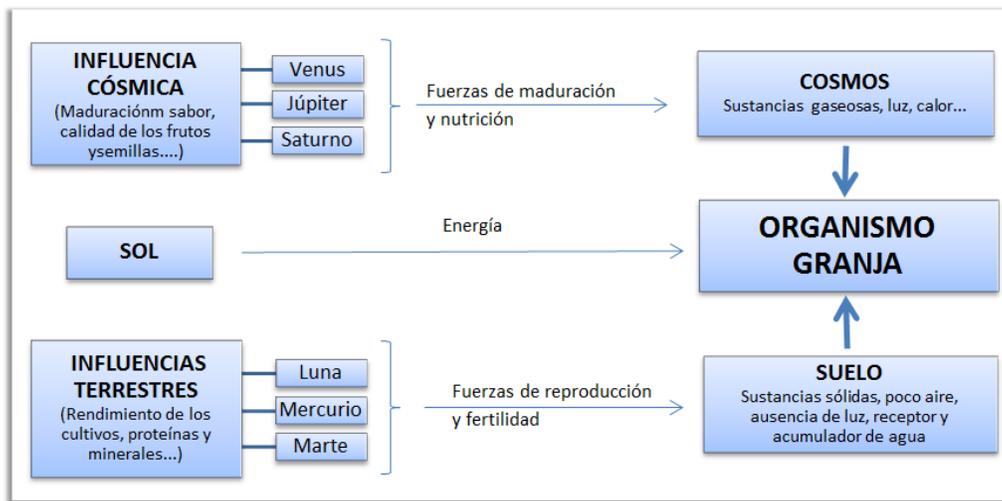


Figura 3. Influencias externas en el organismo granja (<https://www.agroptima.com/blog/agricultura-biodinamica/>).

La base de la agricultura biodinámica es la creación de un organismo agrícola (el “organismo granja”) que esté en armonía con su hábitat. Considera que las plantas que forman parte de él, al igual que el resto de seres vivos, se ven influenciadas por fuerzas externas: influencias astrológicas, terrestres, efectos homeopáticos de diferentes sustancias, etc. (<https://www.agrohuerto.com/la-agricultura-biodinamica/>).

Hay algunas prácticas, como la utilización de preparados biodinámicos, que son específicas de este tipo de agricultura, y otras técnicas que ya os sonarán porque son comunes con algunas de las demás corrientes agroecológicas. Las más importantes son:

- a) La rotación de cultivos y la asociación de plantas son técnicas básicas para el control de plagas y de malas hierbas.
- b) El suelo se labra para abrirlo y hacerlo más receptivo a las energías del Cosmos.
- c) La fertilización del suelo es un aspecto clave para el buen desarrollo de los cultivos, por lo que el uso de abonos, como el compost, es esencial.
- d) También con el objetivo de fertilizar y “vivificar” la tierra, se elaboran y aplican al sustrato o al compost preparado biodinámico: productos formados por estiércol concentrado, compost, sustancias homeopáticas y otras sustancias vegetales, animales y minerales supuestamente expuestas a ritmos naturales específicos. Estos preparados tienen un papel fundamental en las prácticas biodinámicas y su objetivo es promover los procesos vitales dentro de la finca o del huerto y entre éste y su entorno. Son utilizados por su acción dinamizante en el suelo y su riqueza en bacterias beneficiosas y oligoelementos, por lo que colaboran en la prevención de plagas y enfermedades y hacen más fuertes y resistentes a los cultivos (<https://www.agrohuerto.com/la-agricultura-biodinamica/>).

1.4. LITERATURA CITADA

- Agrobosa. 1999. Impulsor vegetal. FAGRO, Folleto Técnico s/n. Farmacia Agroquímica de México S.A de C.V. México pp. 4-20.
- Aguirre, S. P. A. E.; Bárcenas, O. M. B.; Nieves, L. J. y Hernández, G. 2009. Crecimiento de raíces de aguacate "Hass" bajo manejos: convencional y orgánico en Uruapan Michoacán, México. (http://www."/html/cache/html/sis/seminarios/aguacate/2.%20simposio%20manejo%20de%20cultivo.pdf).
- Anguiano, C. J., Alcántar, J.J., Toledo, B.R., Tapia, L. M., y Vidales, J. S. 2007. A Caracterización edafoclimática del área productora de aguacate de Michoacán, México. Proceedings VI World Avocado Congress. Actas VI Congreso Mundial del Aguacate. 2003 y pp. 328-334
- Alcantar, G.G. y V. M. Sandoval. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. Publicación especial No. 10. Edo. de Méx. México.
- Anguiano, V. M., Coria, J. A., Ruiz, G., Chávez, J.J., y Alcántar, R. 2003. Caracterización edáfica y climática del área productora de aguacate *Persea americana* cv. "Hass" en Michoacán, México. Proceedings V World Avocado Congress. Actas V Congreso Mundial del Aguacate. p 323-328.
- Arellano, G. y M. Gutiérrez. 2009. Efecto de la nutrición vegetal en rendimiento y vida poscosecha en hortalizas. Fisiología de Cultivos. Instituto Tecnológico de Sonora. Editor: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C ISBN: 978-607-95106-2-6. p. 40 – 67.
- Avilan R., L., F. Leal P. y D. Bautista A. 1989. Manual de Fruticultura. Editorial América, C.A. Caracas, Venezuela. pp. 666-776.
- Avilan, L., A. V. 1999. El cultivo del Aguacate. Fundación Servicio para el agricultor. FUSAGRI. Caracas. Venezuela. pp. 45-67.
- Ben- Ya'acov, A., A. Solis M., and E. Peril. 1995. Progress of the study of avocado Genetic resources. II. The avocado genetic resources in Costa Rica. III World Avocado congress. Tel Aviv, Israel. 109 p.
- Bear, E. F. 1999. Los suelos en relación con el crecimiento de los cultivos. Edit. Omega. Barcelona. España. 376 p.
- Bidwell, R. G. S. 1999. Fisiología Vegetal. AGT. Editor. México. pp 450- 592.

- Bisonó, S., y Hernández, J.R. 2008. Guía tecnológica sobre el cultivo del Aguacate. Santo Domingo D.N. p 7.
- Bisonó, P. A. S. M. I., y Hernández, B.A.J.R. 2008. Guía tecnológica sobre el Cultivo del aguacate. Clúster del Aguacate Dominicano, Santo Domingo, D.N. p 30-47.
- Baiza-Avilar, V. 2003. Guía técnica del cultivo de aguacate, Nueva San Salvador: Maya. p 5-6.
- Caballero, A. R. J. 2007. La producción de aguacate En Michoacán. Morelia, Mich. p 2-13.
- Calderón, A. E. 1993. Fruticultura general al esfuerzo del hombre. Editores LIMUSA NORIEGA. México. p 419-421.
- Claridades agropecuarias. 2004. El Aguacate Mexicano fuente y apertura del Mercado norte americano. No 200 SAGARPA. ACERCA. Uruapan. Mich. 38 p.
- Castellanos, J.Z., Pratt, P. F. 1981. Mineralization of Manure Nitrogen-Correlation with Laboratory Indexes. Soc. Am. J. 45: 354-357.
- FAO. 2005. Curso Taller. Estadísticas y encuestas. Uruapan. Mich. Pp. 46-51.
- Financiera Rural. 2009. Monografía aguacate. Dirección General adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial.
- Gallegos, E. R. 1983. Algunos aspectos del aguacate y su producción en Michoacán. Universidad Autónoma de Chapingo. pp. 105-140.
- Gómez, P. A. 2000. Agricultura Organica: Una alternative possible, "perfil Ambiental del Uruguay" Nornan.
- Gómez- Cruz, G. 1995. La micorriza vesiculo arbuscular en frutales. In: R. Farrera-Cerrato, R. y J. Pérez- Moreno (eds.). Agromicrobio Elemento útil en la agricultura sustentable. Colegio de Postgraduados. En ciencias Agrícolas, Montecillo. Estado de México. Pp. 184-199.
- Haug. R. T. 1997. Journal of Composting Recycling Biocycle. Feedstocks, Conditioning and Fire Prevention. U.S.A.
- Hernández, H. A. 2003. La Composta, Su Elaboración y Benificio. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" Buenavista, Saltillo Coahuila, México.

- INIFAP. 2003. Tecnología para la producción de aguacate en México. Edit CENTICOMEF. 2a Edición. pp. 70-120.
- Jeavons, J. 1991. Cultivos Biointensivos de Alimentos. Mas Alimentos en Menos Espacio. Ecology Action of de Mid- Península Editor en español. Impreso en U.S.A.
- Larios, G.A., Tapia, V.L.M., Vidales, F.I., Villaseñor, R.F.J. 2007. Frutas Tropicales y subtropicales 2da edit. México. p 75-77.
- Maldonado, T.R. 2002. Diagnóstico nutrimental para la producción de Aguacate Hass. Informe de investigación. UACH. Texcoco, Méx. p 167.
- Magalhaes, A. 1977. Análisis cuantitativo del crecimiento. En: Fisiología Vegetal, Coordinador M. Guimaraes Ferri, Sao Paulo. Editorial Universidad de Sao Paulo. Brasil. p 331. 350.
- Morales, G. J. J. 1994. Enfermedades. Guía para el cultivo del aguacate. CIPAC. SARH. Uruapan, Michoacán. p 20-40.
- Morales, G.J.L. 2009. Enfermedades del fruto de aguacate. Facultad de Agrobiología. UMSNH. Uruapan, Michoacán. p 3-19.
- Navarro, G. G. 2000. Química Agrícola. Ediciones Mundi-Prensa. España. 488 p.
- Ordúz, R. J.O., y Rangel M. J A. 2002. Frutales tropicales potenciales para el Piedemonte Llanero. Colombia. p 29-33.
- Rodríguez, S. F. 1982. El aguacate. Edit. AGT. México. 167 p.
- Rodríguez, H., C. A. Lagunés, T. R. Domínguez, R., y Bermúdez, V. 1982. Búsqueda de plantas nativas del estado de México con propiedades Tóxicas contra el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*. J.E. Smith., y mosquito casero *Culex quinquefasciatus* Say. Revista Chapingo. p 35-39.
- Rivas, F. A., y Trejo, M. M. A. 2011. Control de Antracnosis en aguacate (*Persea americana* Mill) variedad "Hass" por tratamientos de irradiación UV-C. Universidad, Autónoma de México.
- Ruiz, V.G. 1992. Enotecnia A agrícola (Consumo aparente de los productos Agropecuarios). Secretaria de fomento, Dirección General de Agricultura, SARH- DGEA. México. p 64-67.
- Ruiz, C. A., G. Medina, G., C. Ortiz, T., Martínez, P., I. J. González, A., H. E. Flores, L., y K. F. Byerly, M. 2005. Requerimientos agroecológicos de los Cultivos. INIFAP: Guadalajara, Jal. 324 p.

- Salazar, G. S., and Cortes, F. J. I. 1986. Root distribution of mature avocado trees Growing in soils of different texture. Calif. Avocado Soc. Yrbk. p 165 -174
- Salazar-García, S., y I. Lazcano-Ferrat. 1999. Diagnóstico nutrimental del aguacate Hass bajo condiciones de temporal. Revista Chapingo Serie Horticultura 5 (número especial). p 173-184.
- Salazar-García, S. 2002. Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) e Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Querétaro, México. 165 p.
- Salazar-García, S. 2002. Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones. INPOFOS, INFAP. Querétaro, México. p 70-100.
- Salazar, S. G. L. E., Cossío, V. I., y González, D. J. L. 2009. La fertilización en sitio específico mejoró la productividad del aguacate Hass en huertos sin riego. Agric. Téc. Méx. 35(4):439-438.
- SAGARPA-SIEA. 2009. Base de datos y encuestas agropecuarias. p 122-130.
- Sánchez, G. P. 2001a. Nutrición y fertilización del aguacate. I Congreso Latinoamericano de aguacate. Uruapan, Mich. 115 p.
- Sánchez, G. P., y P. Ramírez, M. 1999. Fertilización y nutrición del aguacatero. En: el aguacate y su manejo integrado. D. TELIZ (ed.). Ed. Mundi Prensa. México. p 103-113.
- Smith, C. E. 1996. Archeological evidence for selection of avocados. Economic Botany 20. p 169-175.
- Storey, W., B.O. Bergh, and G. A. Zentmyer. 1994. The origin, indigenous range And dissemination of the avocado. Calif. Avocado Soc. Yearbook 70: 132-133.
- Tapia, V.L.M., Larios, A., Salazar, S., y Anguiano, J. 2007. Efecto del clima y Manejo de agua en el rendimiento y componentes del fruto de Aguacate en Michoacán. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Actas VI Congreso Mundial del Aguacate. Uruapan, Michoacán.
- Tapia, V.L.M., Larios, A., Anguiano, J., y Vidales, L. 2007. Lixiviación de Nitratos en dos sistemas de manejo nutricional y de agua en aguacate.
- Tagliavivi, M; C. Zavalloni, D. Rombola, M. Quarteri, D. Malaguti, F. Mazzanti, P. Millard and B. Marangoni. 2000. Mineral nutrient partitioning to fruits of deciduous trees. Acta Horticulturae 512: 131-140.

Téliz, O. D., y Mora, A. A. 2007. El aguacate y su manejo integrado. 2ª. Ed. Mundi-Prensa. México.

Toerien, J. 2007. Manejo Integrado del dosel del árbol de aguacate. Segunda edición. Mundi- Prensa. México. PP. 123-131.

Velázquez, M. P. 2006. Evaluación nutrimental química en aguacate Hass (*Persea americana* Mill). ETAPA II. Tesis profesional. Instituto Tecnológico del Valle de Morelia. Morelia, Mich. 76 p.

Williams, L. O. 1977. The avocado, a synopsis of the genus *Persea*, subg. *Persea*. *Economic Botany* 31: 315-320.

Referencias electrónicas:

www.cedaf.org.do/CENTRODOC/.../GUIETECAGUACATE.PDF,2009

<http://www.jmarcano.com/nociones/minimo3.html>

www.nutricionhospitalaria.com/pdf/4052.pdf

www.inifap.gob.mx

www.finnancierarural.gob.mx/.../microsoft%20word%20%20MONOGRA

[FIA%20%AGUACATE-octubre.pdf](http://www.finnancierarural.gob.mx/.../microsoft%20word%20%20MONOGRA)

<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/gallinaza-como-fertilizante>.

<http://www.agrodelta.com.mx/productos/organodel.html>.

http://red.ilce.edu.mx/sitios/proyectos/recup_nuestroamb_oto16/pdf/elaboracion_de_composta_sagarpa.pdf.

www.union.org.mx/guia/actividadesyagravios/agriculturaorganica.htm

CAPITULO II. ANÁLISIS METAGENÓMICO DE UN ANDOSOL CON ENMIENDAS ORGÁNICAS DE MICHOACÁN.

2.1. RESUMEN

La metagenómica ha revolucionado el estudio ecológico de microorganismos en todo tipo de ambientes, pero el suelo es uno de los más estudiados y de los más heterogéneos, sin embargo, la extracción de DNA en andosoles implica un reto por su composición mineralógica y los complejos humus-aluminio. El objetivo de este trabajo fue analizar la diversidad bacteriana de un andosol de Michoacán con un enfoque metagenómico. El DNA se aisló por el método de fenol-cloroformo y un sistema comercial, este último mostró mayor eficiencia en la extracción, las bibliotecas se construyeron con el sistema 16S™ metagenomics y la secuenciación se realizó con un Ion PGM™ Sequencing 400 con usó un Ion 316™ Chip V2. Se obtuvieron 215279 lecturas útiles con longitud media de 266 pb y se identificó 208189 lecturas. Las curvas de rarefacción estimaron un deficit de al menos 80 OTUs a nivel de especie y se consideró la muestra poco diversa con base en los índices de Simpson y Shannon, a pesar de haber obtenido 212 familias y 205 especies, pero el 98% de la diversidad bacteriana se distribuyó entre Acidobacterias y Alfaproteobacterias; las familias Mycobacteriaceae, Rhodospirillaceae, Nostocaceae y Pseudonocardiaceae dominaron con el 98.51% de abundancia relativa y las especies *Skermanella aerolata* y *Skermanella stibiiresistens* fueron las más comunes el 75.35%. Se concluyó que la composición de la muestra fue heterogénea, pero la baja diversidad se relacionó con la poca equidad en la estructura. La presencia de contaminantes como antimonio podría explicar la baja abundancia relativa de 199 especies, ya que es tóxico para la mayoría de microorganismos, pero no para *Skermanella erolata* y *Skermanella stibiiresistens*. Aunado a esto, la dominancia de las clases Acidobacterias y Alfaproteobacterias pudo atribuirse al manejo agrícola y las enmiendas orgánicas aplicadas en el suelo para la producción de aguacate.

Palabras clave: Metagenómica, *Skermanella* spp., andosol, diversidad bacteriana.

2.2. ABSTRACT

The metagenomic has revolutionized the ecological study of the microorganism in all kind of environments, but the soil is one of the most studied and most heterogeneous, nevertheless, the DNA extraction in andosols involve a challenge because of their mineralogy and humic-aluminium composition. The aim of this work was to analyze the bacterial diversity of an andosol from Michoacan within a metagenomic approach. The DNA was isolated by the phenol-chloroform method and a commercial kit, this last one show higher efficiency in the extraction, The library was prepared with the 16S™ metagenomics kit and the sequencing was performed with an Ion PGM™ Sequencing 400 and an Ion 316™ Chip V2. 215279 usable reads was obtained with 266 bp mean length and 208189 reads was identified. The rarefaction curves estimated a deficit of at least 80 OTUs specie-level, thus the sample was considered low diverse based on Simpson and Shannon index despite to having obtained 212 families and 205 species, but 98% of the diversity was distributed until Acidobacterias and Alfabroteobacterias; the families Mycobacteriaceae, Rhodospirillaceae, Nostocaceae and Pseudonocardiaceae dominated with 98.51% of relative abundance and *Skermanella aerolata* and *Skermanella stibiirensistens* was the most common species with 75.35%. It was concluded that the composition of the simple was heterogeneous, but the low diversity was related with the low equity on the structure. The presence of contaminants as antimony could explain the low relative abundance of the 199 especies, because is toxic to the most microorganisms, but not for *Skermanella erolata* y *Skermanella stibiirensistens*. Moreover, the dominance of the class Acidobacterias y Alfabroteobacterias could be attributed to the agricultural management and the organic amendments applied on the soil to the avocado culture.

Index words: Metagenomic, *Skermanella* spp., andosol, bacterial diversity.

2.3. INTRODUCCIÓN

La secuenciación masiva de marcadores moleculares como el gen 16S rRNA es una metodología de la metagenómica que ha revolucionado el estudio ecológico de microorganismos en todo tipo de ambientes (Gilbert *et al.*, 2010; Gilbert *et al.*, 2014; Cadena-Zamudio *et al.*, 2016), desde el estudio del microbioma en el cuerpo humano (Huttenhower *et al.*, 2012; Methé *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2014) hasta el suelo, con proyectos como los proyectos Earth Microbiome (<http://www.earthmicrobiome.org/>) (Gilbert *et al.*, 2010; Gilbert *et al.*, 2014), TerraGenome (<http://www.terragenome.org/>) (Vogel *et al.*, 2009), The Brazilian Microbiome Project (<http://www.brmicrobiome.org/>) (Pylro *et al.*, 2014), EcoFINDERS (<http://ecofinders.dmu.dk/>), The China Soil Microbiome Initiative (<http://english.issas.cas.cn/>) y MicroBlitz (<http://www.microblitz.com.au/>), los cuales buscan mapear y crear una base de datos de las especies microbianas con base en el tipo de suelo, su localización y actividad de uso (Gilbert *et al.*, 2010; Gilbert *et al.*, 2014;).

La composición y estructura de la diversidad bacteriana es muy fácilmente variable, ya que las cepas pueden modificar su abundancia por ligeros cambios del medio como en el pH, la humedad, la disponibilidad de nutrientes y la cantidad de materia orgánica (MO) (Alexander, 1980; Gómez y Corlay, 2007) e incluso la luz solar durante el día (Baraniya *et al.*, 2017; Staley *et al.*, 2017). Sin embargo, las actividades antropogénicas modifican la diversidad bacteriana, especialmente las actividades agrícolas como el monocultivo, la fertilización y la aplicación de enmiendas orgánicas, entre otros (Orgiazzi *et al.*, 2016). En el presente estudio se analizó la diversidad bacteriana de un suelo andosol de producción orgánica de aguacate, al que se le han aplicado enmiendas orgánicas durante los últimos cinco años, con el objetivo de identificar los OTUs a nivel de familia y especie más representativos con base en su abundancia relativa bajo un enfoque metagenómico, cuyo proceso implica grandes retos ya que la extracción de DNA en suelos andosoles es compleja, debido a la composición química y mineralógica que

caracteriza estos suelos (Ikeda *et al.*, 2008; Bao *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2012; Tournier *et al.*, 2015)

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

La muestra se recolectó en un suelo andosol con manejo orgánico y convencional de aguacate, al cual se le han realizado enmiendas orgánicas durante los últimos cinco años mediante estiércoles, vermicompostas y compostas de estiércoles de diferente tipo de ganado (principalmente bovino y ovino) en el municipio de Ario de Rosales del Estado de Michoacán a una latitud de 19.200000 y longitud de -101.666667, a una altitud de 1910 msnm. El muestreo se realizó de los primeros 20 cm de profundidad, se eliminó la capa superior del mantillo orgánico y se homogenizó con una gradilla de 2 mm de diámetro. El material mantuvo a -4 °C hasta llegar al laboratorio, donde se almacenó a -20 °C hasta su procesamiento. Se realizó el aislamiento del DNA metagenómico por los métodos Fenol-Cloroformo (Wilson, 1990) y por el sistema comercial ZR Fecal DNA MiniPrep™ (Zymo Research®, CA, USA).

Para el método de fenol-cloroformo se utilizaron 150 mg de muestra y se mezclaron con 175 µL de TE 50:20, las células se lisaron con 10 µL de proteinasa K y 40 µL de dodecil sulfato de sodio de sodio 10 %, se incubó durante 2 h a 56 °C. Las cargas parcialmente negativas de los fosforilos fueron neutralizadas con 20 µL de NaCl y 500 µL de TE 10:1. Se extrajeron las proteínas mediante 500 µL de fenol frío y 500 µL de cloroformo-alcohol isoamílico (24:1). Se centrifugó a 12,000 rpm después de cada paso. Se agregó 500 µL de isopropanol frío y se almacenó >12 horas a -20 °C al sobrenadante obtenido después de la extracción de proteínas, después se temperó y centrifugó para precipitar la pastilla de DNA, la cual se lavó con 1 µL de etanol frío a 70 % y se secó 2 h a 65 °C. Se rehidrató con 50 µL de agua tipo I libre de nucleasas y se almacenó a -20 °C. Mientras que la extracción por el Kit ZR Fecal DNA MiniPrep™ (Zymo Research®, CA, USA) se realizó con base en el protocolo de manufactura, pero se utilizó 250 mg de suelo en lugar de

150 mg. Después de cada extracción se comprobó la integridad del DNA aislado mediante electroforesis en agarosa 1.0 % durante 45 min a 90 V. No se contabilizó el DNA metagenómico ya que se amplificaron fragmentos pequeños de ≈ 300 pb de las regiones hipervariables del gen 16S rRNA el cual puede encontrarse varias veces en el genoma bacteriano, incluyendo muestras con poco DNA (Vos *et al.*, 2012; Del Chierico *et al.*, 2015).

Para la construcción de bibliotecas se amplificaron siete de las nueve regiones hipervariables del gen 16S rRNA mediante el sistema 16STM metagenomics Kit (Thermofisher Sci. Inc., USA) el cual utiliza dos sets de reacciones, uno para amplificar las regiones V2-4-8 y otro para las V3-6-7-9 con el siguiente programa del termociclador: 1) 90 °C 35 s; 2) 22 ciclos de 58 °C 30 s y 72 °C 30 s; 4) 72 °C 7 min; 5) almacenamiento a 4 °C. Se realizaron cuatro purificaciones con base en el protocolo de manufactura del sistema comercial Agencourt® AMPure® XP (Beckman Coulter Inc. USA), la primera fue previa al conteo de las bibliotecas, el cual se realizó mediante un 2100 Bioanalyzer Instruments (Agilent® technologies, CA, USA) para ajustar el volumen de los productos amplificados a 50 ng μL^{-1} en 79 μL de agua tipo 1 libre de nucleasas; la segunda purificación se realizó después de generar los extremos romos mediante el sistema Ion Plus Fragment Library Kit (Thermofisher Scientific Inc., USA); la tercera se realizó después de ligar los códigos de barras y los adaptadores mediante PCR y el sistema el Ion Plus library fragment Kit (Thermofisher Scientific Inc., USA); finalmente la cuarta purificación se realizó antes de cuantificar las bibliotecas con el 2100 Bioanalyzer para calcular el factor de dilución ajustado a 26 pM.

El templado se realizó con una mezcla de 25 μL de la mezcla de bibliotecas en el sistema One Touch 2 (OT2) (Thermofisher Scientific Inc., USA), el enriquecido del templado se llevó a cabo con el sistema Ion OneTouchTM (Thermofisher Scientific Inc., USA) y la secuenciación en un Ion PGMTM Sequencing 400 (Thermofisher Scientific Inc., USA), para lo que se utilizó un Ion 316TM Chip V2 (Thermofisher Scientific Inc., USA) con capacidad para generar hasta 300 a 500 Mb con una longitud promedio de 200 pb en 3 h (Goodwin *et al.*, 2016), el cual fue

cargado conforme su protocolo de manufactura. Los análisis bioinformáticos se realizaron con las plataformas Ion Browser Server y Ion Reporter (ThermoFisher Scientific Inc., USA), los cuales estiman la calidad del llenado del chip, la calidad del templado y enriquecido de las bibliotecas, así mismo, filtraron las lecturas útiles que contaron con el mínimo de calidad ($Q > 20$) y un promedio mínimo de 50 pb de longitud con > 60 pb alineadas entre los primers 5'-3' Forward y 3'-5' Reverse, necesarios para continuar con los análisis de diversidad. El porcentaje mínimo para asignar una identificación a los OTUs a nivel de género y especie fueron del 97 % y 99 % respectivamente. Los análisis de diversidad alfa preestablecidos por la plataforma Ion Reporter fueron curvas de rarefacción, estimador de Chao1, índice de Shannon e índice de Simpson, también se determinó la abundancia relativa para identificar los OTUs dominantes en los niveles de clase, familia y especie con base en las lecturas obtenidas por cada OTU.

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Extracción e integridad del DNA metagenómico

La electroforesis del DNA extraído por el método de fenol-cloroformo reveló poca integridad en la muestra y la presencia de compuestos que causaron una interferencia de la luz UV en el gel, esto demostró que el método no fue el indicado para extraer DNA de esta muestra, por lo que se continuó con la extracción por el sistema comercial ZR Fecal DNA MiniPrep™ (Zymo Research®, CA, USA) el cual mostró un bandeo tenue pero íntegro (Figura 4) lo que permite suponer que se aisló una baja concentración de DNA. Lo anterior podría relacionarse con las dificultades que implican la extracción de DNA en muestras de suelos andosoles, los cuales por su origen volcánico contienen minerales como alofanos (Wang *et al.*, 2012; Tournier *et al.*, 2015) y complejos de humus-aluminio (Campos-Cascaredo *et al.* 2001). Los alofanos tienen una carga eléctrica variable y dependiente del pH y son responsables de la adsorción de más del 80 % de fósforo en el suelo (Bravo *et al.*, 2013), una propiedad que caracteriza a los andosoles (Campos-Cascaredo *et al.*

2001), esta característica podría interferir en la extracción del DNA ya que los alofanos adsorben el DNA (Ikeda *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2012), una posible solución es el uso de un buffer de fosfato de sodio, como se muestra en Tournier *et al.* (2015) el cual hace reacción con los alofanos en lugar de los fosforilos del DNA, lo que deja libre al DNA para su extracción.

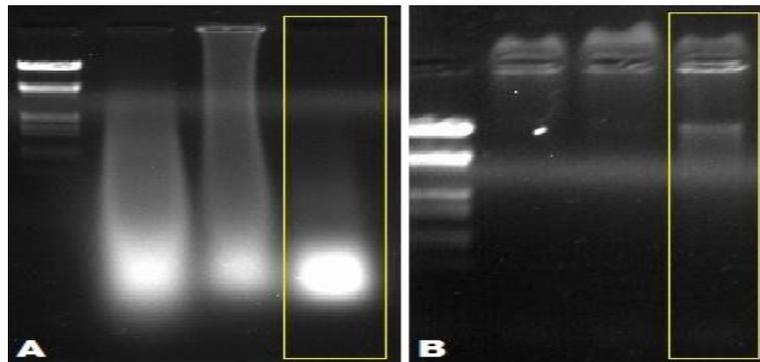


Figura 4. Pruebas de integridad de DNA metagenómico extraído mediante el método fenol-cloroformo (A) y por el sistema comercial ZR Fecal DNA MiniPrep™ (B). Los cuadros amarillos indican el carril que corresponde a la muestra del presente trabajo.

Por otra parte, los complejos humus-aluminio son comunes en andosoles con alto contenido de carbono orgánico, como en el suelo muestreado, rico en materia orgánica por las enmiendas realizadas en los últimos años. Los ácidos húmicos son compuestos fenólicos que interfieren con la PCR y es uno de los contaminantes más comunes durante el proceso de extracción de DNA (Alaeddini, 2012; del Valle *et al.*, 2004; Barbaric *et al.*, 2015). Aunado a esto, el método de fenol cloroformo no brindó buenos resultados ya que la muestra aun contenía compuestos que interferían en la electroforesis y la ineficiencia de la metodología para aislar un DNA integro se relaciona con la dificultad para extraer compuestos muy persistentes como los ácidos húmicos (del Valle *et al.*, 2004; Fraga *et al.*, 2004; Alaeddini; 2012; Baena *et al.*, 2013), mientras que el sistema comercial está enfocado a la extracción de DNA en materia fecal, por lo que consta de filtros que separan el DNA de otros compuestos húmicos y proteínas.

Secuenciación del gen 16S rRNA

Con base en el Ion Browser Server hubo un 89 % de éxito en el cargado del Ion 316™ Chip V2 en el Ion PGM (ThermoFisher Sci. Inc., USA) y para 25 códigos de barras se generaron un total de 4 392 921 de lecturas, sin embargo, para la muestra del presente trabajo se obtuvieron 57 302 911 bases leídas pero solo 55 614 768 cumplieron con la calidad ($Q \geq 20$) lo que corresponde 215 279 secuencias útiles con una longitud media de 266 pb y se pudo obtener identidad taxonómica de 208 189 lecturas.

La curva de rarefacción de los OTUs a nivel de especies obtenidos (Figura 5), no mostró una tendencia asintótica y con base en el análisis de Chao1 se estimó que se podían encontrar al menos 80 OTUs más con un mayor esfuerzo de muestreo, por lo tanto analizó la curva de rarefacción a nivel de familia, los cuales mostraron una tendencia a la asintota, así como una distancia menor con respecto al estimador Chao1, por lo que se compararon los estimadores de Simpson y Shannon (Cuadro 5) de los dos niveles taxonómicos, sin embargo, ambos estimadores mostraron una baja diversidad tanto a nivel de familia (1.015) como de especie (2.56), mientras que la equidad en la estructura fue de 0.382 (nivel de familia) y 0.477 a nivel de especie, lo que podría indicar una estructura poco equitativa y dominada por un bajo número de OTUs. Con base en estos indicadores se puede concluir que las secuencias obtenidas fueron insuficientes para capturar la diversidad de especies bacterianas representativa del suelo andosol. Conclusiones y podría relacionarse con una inadecuada metodología en la extracción de DNA y la dificultad de la muestra.

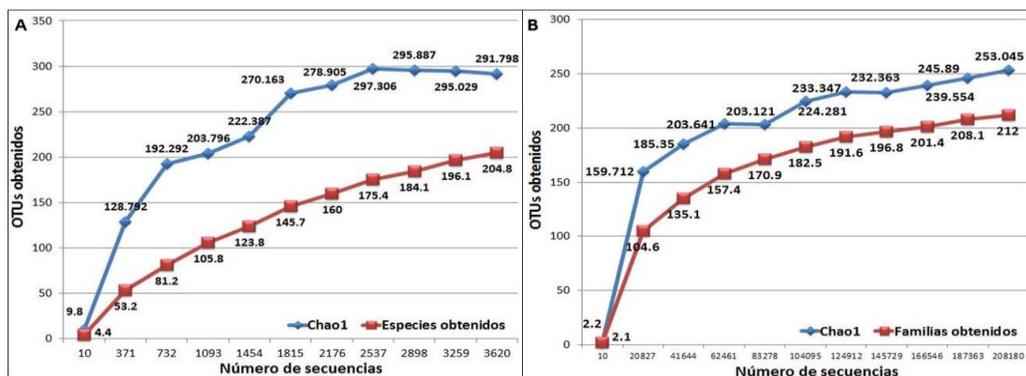


Figura 5. Curva de rarefacción y estimador de Chao1 de los OTUs a nivel de especie (A) y familia (B) obtenidos.

Cuadro 5. Índices de diversidad con base en los OTUs obtenidos a nivel de especie, género y familia.

Índices de diversidad con base en los OTUs a nivel de especies				
Seqs/Sample	OTUs	Chao1	Shannon	Simpson
10	4.4	9.8	1.495	0.504
371	53.2	128.792	2.311	0.483
732	81.2	192.292	2.336	0.464
1093	105.8	203.796	2.462	0.479
1454	123.8	222.387	2.465	0.474
1815	145.7	270.163	2.501	0.475
2176	160	278.905	2.549	0.481
2537	175.4	297.306	2.555	0.479
2898	184.1	295.887	2.545	0.477
3259	196.1	295.029	2.562	0.478
3620	204.8	291.798	2.564	0.477
Índices de diversidad con base en los OTUs a nivel de familia				
Seqs/Sample	OTUs	Chao1	Shannon	Simpson
10	2.1	2.2	0.727	0.316
20827	104.6	159.712	1.014	0.383
41644	135.1	185.35	1.009	0.381
62461	157.4	203.641	1.011	0.382
83278	170.9	203.121	1.016	0.383
104095	182.5	224.281	1.015	0.383
124912	191.6	233.347	1.014	0.382
145729	196.8	232.363	1.015	0.382
166546	201.4	239.554	1.015	0.383
187363	208.1	245.89	1.015	0.383
208180	212	253.045	1.015	0.382

Abundancia relativa

Se obtuvieron 42 OTUs a nivel de clase y con base en la abundancia relativa de sus lecturas se observó que las clases dominantes fueron Acidobacterias y alfa proteobacterias (Figura 6), los cuales conformaron el 98.9% de las lecturas. Es común encontrar estas clases dominantes en suelos agrícolas (Buckley y Schmidt, 2003; Kielak *et al.*, 2009; Kielak *et al.*, 2016) y en andosoles (Masuda *et al.*, 2016), aunque estos manejos suelen modificar y disminuir la diversidad bacteriana (Masuda *et al.*, 2016), aunado a esto, se han reportado suelos de producción de aguacate con dominancia de acidobacterias, las cuales no son cultivables (Bent *et al.*, 2006; Hawkes *et al.*, 2007), por lo que muchos OTUs podrían pasar desapercibidas en estudios con metodologías convencionales, pero son detectadas con análisis moleculares y metagenómicos (Kielak *et al.*, 2016).

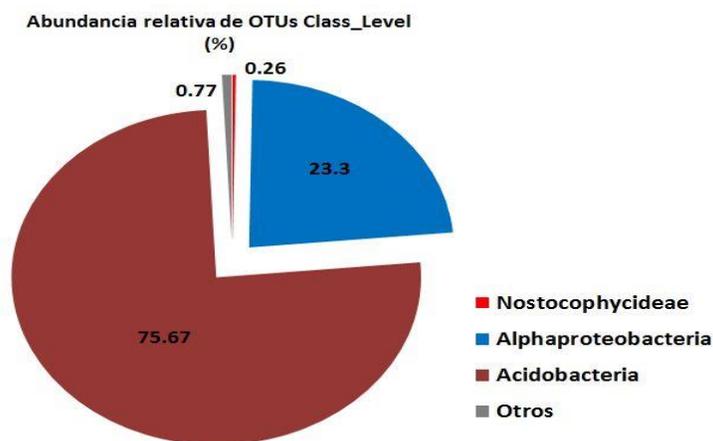


Figura 6. Abundancia relativa de los OTUs a nivel de Clase.

La diversidad bacteriana se distribuyó entre 212 OTUs a nivel de familia con un total de 288 189 lecturas y 205 OTUs a nivel de especie con 3 628 lecturas, sin embargo, sólo cuatro familias y seis especies fueron dominantes de acuerdo a sus abundancias relativas (Figura 7), no obstante a 283 OTUs no se les pudo asignar una identificación de menor nivel taxonómico por lo que el número de lecturas de OTUs a nivel de especie fue mucho menor que el de OTUs a nivel de familia. Las familias Mycobacteriaceae y Rhodospirillaceae fueron las que

obtuvieron mayor dominancia, al constituir el 98.16 % de la abundancia relativa en este nivel taxonómico, sin embargo las especies dominantes fueron *Skermanella aerolata* y *Skermanella stibiirensistens* con 72.16 % y 3.19 % respectivamente, estas especies pertenecen a la familia Rhodospirillaceae, que fue la segunda familia más abundante (23.01%); *Propionibacterium acnes* fue la tercer bacteria más abundante, perteneciente a la familia Propionibacteriaceae que no mostró dominancia en la estructura con apenas 0.05% correspondientes a 114 lecturas de las cuales 83 pertenecieron a la especie que si mostró dominancia, lo que indica poca equidad dentro de la misma estructura de la familia.

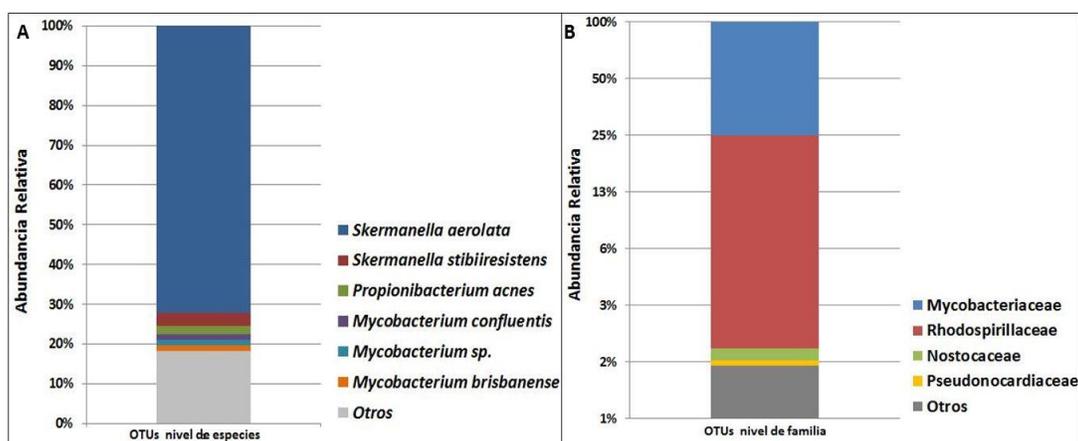


Figura 7. Abundancia relativa de los OTUs a nivel de familia (A) y especie (B).

El resto de especies pertenecieron a la familia Mycobacteriaceae, la familia más dominante con 75.14%, sin embargo, las tres especies dominantes sumaron sólo el 4.13% de la abundancia relativa a nivel de especie con una suma de 150 lecturas de un total de 156 442 que obtuvo la familia. Es importante notar que la riqueza de especies guarda relación con la riqueza de familias, ya que, con excepción de *Propionibacterium acnes*, todas las especies más comunes pertenecieron a las dos familias más dominantes. Cabe recalcar que la cantidad de OTUs que se obtuvieron tanto a nivel de especie como a nivel de familia demuestran que el suelo analizado es muy heterogéneo, no obstante su distribución está sesgada ya que las seis especies más comunes representaron el 81.7% mientras que el otro 18.21%

se repartió en los 199 OTUs restantes, quizás esto se relacione con las condiciones del suelo, debido a que la presencia de las especies de *Skermanella* podrían ser un indicio de contaminación en el suelo analizado, ya que el género ha sido reportado en diversos ambientes como agua, aire y suelo, pero sobre todo en suelos contaminados por hidrocarburos, así como en suelos con residuos de minería (Subhash y Lee, 2016; Subhash *et al.*, 2017; Miqueletto *et al.*, 2011), de igual modo puede asociarse a la descomposición de contaminantes orgánicos recalcitrantes y biopolímeros (Simonin y Rchaume, 2015) y ha sido de interés biotecnológico por su capacidad de asimilar antimonio del suelo (Luo *et al.*, 2012; Butu *et al.*, 2016) el cual es un compuesto tóxico para la mayoría de los microorganismos. Lo anterior sugiere que las dos especies dominantes de *Skermanella* se vean promovidas por la presencia de tóxicos que inhiben la abundancia de los 199 OTUs no dominantes. No obstante, es la primera vez que se reporta *Skermanella* en un suelo andosol con enmiendas orgánicas previas. La especie *Propionibacterium acnes* es un simbiote comensal de la piel humana, a la que se le atribuyen infecciones dérmicas y causante de algunos tipos de acné (Capoor *et al.*, 2017), sin embargo, no ha sido reportada en suelos de ningún tipo. Su presencia en el presente trabajo podría indicar una posible contaminación de las muestras. No obstante, se han encontrado otras especies de *Propionibacterium* en rizósferas de encino, donde se le atribuye la fijación de nitrógeno atmosférico (Fernández-González *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2017). Las bacterias del género *Mycobacterium* son de especial interés, ya que múltiples especies son causantes de enfermedades para animales y para el humano, sin embargo, *M. confluentis* es considerada no patógena (Pate *et al.*, 2015; Zaragoza-Bastida *et al.*, 2017) y ha sido reportada en diferentes ambientes como suelo y agua, pero también ha sido aislada de lesiones tuberculosas en bovinos (Zaragoza-Bastida *et al.*, 2017), No obstante, se desconoce la función que pueda tener en microbiomas edáficos.

2.6. CONCLUSIONES

La composición de la muestra fue heterogénea, pero la baja diversidad se relacionó con la poca equidad en la estructura. La presencia de contaminantes como antimonio podría explicar la baja abundancia relativa de 199 especies, ya que es tóxico para la mayoría de microorganismos, pero no para *Skermanella erolata* y *Skermanella stibiirensistens*. Aunado a esto, la dominancia de las clases Acidobacterias y Alfaproteobacterias pudo atribuirse al manejo agrícola y las enmiendas orgánicas aplicadas en el suelo para la producción de aguacate.

Perspectivas de estudio

La posibilidad de que las especies dominantes fueron promovidas por compuestos tóxicos que inhibían las otras poblaciones microbianas se basó en los resultados de estudios publicados en revistas internacionales y no en estudios realizados en el presente trabajo, por lo que es necesario realizar un análisis que compruebe la concentración de elementos tóxicos, así como los estudios bioquímicos o de enfoque metaproteómico y metatranscriptómico que permitan identificar los procesos biogeoquímicos en los que intervienen las especies más representativas del presente microbioma.

2.7. REVISIÓN DE LITERATURA

- Alaeddini R. (2012) Forensic implications of PCR inhibition - A review. *Forensic Science International: Genetics* 6: 297-305. doi: 10.1016/j.fsigen.2011.08.006
- Alexander M. (1978) Introduction to Soil Microbiology. *Soil Science*, vol. 125, no 5, p. 331.
- Baena del V. J. A., A. J. Ramos-Moreno, C. J. Gómez-Alegría and D. E. Gómez-Camargo (2013) Comparación de métodos de extracción de ADN en tejidos parafinados y utilidad para amplificación por PCR. *Revista Colombiana de Biotecnología* 15(2): 172-179.
- Bao Z., Y. Ikunaga, Y. Matsushita, S. Morimoto, Y. Takada-Hoshino, H. Okada, H. Oba, (2012) Combined analyses of bacterial, fungal and nematode communities in andosolic agricultural soils in Japan. *Microbes and environments* 27(1): 72-79. doi: 10.1264/jsme2.ME11281
- Baraniya D., P. Nannipieri, S. Kublik, G. Vestergaard, M. Schlöter and A. Schöler (2017) The impact of the diurnal cycle on the microbial transcriptome in the rhizosphere of barley. *Microbial Ecology*: 1-4. Doi: 10.1007/s00248-017-1101-0
- Barbaric L., I. Bacic and Z. Grubic (2015) Powdered activated carbon: an alternative approach to genomic DNA purification. *Journal of Forensic Sciences*. doi: 10.1111/1556-4029.12773
- Bent E., B. Yin, A. Figueroa, J. Ye, Q. Fu, Z. Liu, V. McDonald, D. Jeske, T. Jiang and J. Borneman (2006) Development of a 9600-clone procedure for oligonucleotide fingerprinting of rRNA genes: Utilization to identify soil bacterial rRNA genes that correlate in abundance with the development of avocado root rot. *Journal of Microbiological Methods* 67: 171-180. doi: 10.1016/j.mimet.2006.03.023
- Bravo I., J. C. Montoya and J. C. Menjívar (2013) Retención y disponibilidad de fósforo asociado a la materia orgánica en un Typic Melanudans del departamento del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica* 62 (3): 261-267.
- Buckley D. H. and T. M. Schmidt (2003) Diversity and dynamics of microbial communities in soils from agro-ecosystems. *Environmental Microbiology* 5(6): 441-452. doi: 10.1046/j.1462-2920.2003.00404.x
- Butu A., S. Rodino, A. Dobre and M. Butu (2016) Potential of microbial functional communities for high-tech critical metals recovery. *Studia Universitatis "Vasile Goldis", Seria Stiintele Vientii* 26 issue 2: 287-292.

- Cadena-Zamudio J. D., M. D. Martínez-Peña, L. F. Guzmán-Rodríguez and R. I. Arteaga-Garibay (2016) Aplicación de secuenciación masiva para el estudio y exploración de diversidad microbiana y su aprovechamiento biotecnológico. *Agroproductividad* 9 (2): 70-83.
- Campos-Cascaredo A., K. Oleschko, L. Cruz-Huerta, J. D. Etchevers-Barra and C. Hidalgo (2001) Estimación de alofano y su relación con otros parámetros químicos en andisoles de montaña del volcán Cofre de Perote. *Terra Latinoamericana* 19 (2): 105-116.
- Capoor M. N., F. Ruzicka, J. E. Schmitz, G. A. James, T. Machackova, R. Kancalok, (2017) *Propionibacterium acnes* biofilms is present in intervertebral discs of patients undergoing microdiscectomy. *PLoS ONE* 12(4): e0174518. doi: 10.1371/journal.pone.0174518
- del Chierico F., M. Ancora, M. Marcacci, C. Cammà, L. Putignani and s. Conti (2015) Choice of Next-Generation Sequencing pipelines. In: Mengoni A, Galardini M, Fondi M. (Ed). *Bacterial Pangenomics Methods and Protocols*. Springer Science+Business Media New York: 31-47. doi: 10.1007/978-1-4939-1720-4
- del Valle C., A. Rodríguez and M. Espinoza (2004) Comparación de tres métodos de extracción de ADN a partir de restos óseos. *Revista de Biología Tropical* 52(3): 717-725.
- Fernández-González A. J., P. Martínez-Hidalgo, J. F. Cobo-Díaz, P. J. Villadas, E. Martínez-Molina, N. Toro, S. G. Tringe and M. Fernández-López (2017) The rhizosphere microbiome of burned holm-oak: potential role of the genus *Arthrobacter* in the recovery of burned soils. *Scientific Reports* 7: 6008. doi: 10.1038/s41598-017-06112-3
- Fraga N. J., J. Rodríguez, O. Fuentes, M. Castex and A. Fernández-Caliènes (2004) Comparación entre 5 métodos para la extracción del ADN de triatomíneos: su utilización en la técnica de ADN polimórfico amplificado al azar. *Revista Cubana de Medicina Tropical* 53(3): 208-213.
- Gilbert J. A., F Meyer, D. Antonopoulos, P. Balaji, C. T. Brown, (2010) Meeting Report: The Terabase Metagenomics Workshop and the Vision of an Earth Microbiome Project. *Standards in Genomic Science* 3: 243-248. doi: 10.4056/sigs.1433550
- Gilbert J. A., J. Jansson and R. Knight (2014) The Earth Microbiome project: successes and aspirations. *BMC Biology* 12: 69. doi: 10.1186/s12915-014-0069-1

- Gómez C. G. and C. L. Corlay (2007) Microbiota edáfica y su importancia en la agricultura. In: Ferrera CR, Alarcón A (ed) Microbiología agrícola: Hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta-micoorganismo. Trillas. México.
- Goodwin S., J. D. McPherson and R. McCombie (2016) Coming of age: ten years of next-generation sequencing technologies. *Nature Reviews Genetics* 17: 333-351. doi: 10.1038/nrg.2016.49
- Hawkes C. V., K. M. DeAngelis and M. K. Firestone (2007) Root interactions with soil microbial communities and processes. In: *The Rhizosphere*. 1-29.
- Huttenhower C., D. Gevers, R. Knight, S. Abubucker, H. Jonathan, (2012) Structure, function and diversity of the healthy human microbiome. *Nature* 207. doi: 10.1038/nature11234
- Ikeda S., H. Tsurumaru, S. Wakai, C. Noritake, K. Fujisiro, M. Akasaka and K. Ando (2008) Evaluation of the effects of different additives in improving the DNA extraction yield and quality from andosol. *Microbes and Environments* 23(2): 159-166. doi: 10.1111/1556-4029.12773
- Kielak A. M., C. C. Barreto, G. A. Kowalchuk, J. A. van Veen and E. E. Kuramae (2016) The Ecology of Acidobacteria moving beyond Genes and Genomes. *Front Microbiol* 7: 744. doi: 10.3389/fmicb.2016.00744
- Kielak A., A. S. Pijl, J. A. van Veen and G. A. Kowalchuk (2009) Phylogenetic diversity of Acidobacteria in a former agricultural soil. *The ISME Journal* 3: 378-382. doi: 10.1038/ismej.2008.113
- Li J., H. Jia, X. Cai, H. Zhong, Q. Feng, S. Sunagawa, (2014) An integrated catalog of reference genes in the human gut microbiome. *Nature Biotechnology* 32: 834-841. doi: 10.1038/nbt.2942
- Luo G., Z. Shi, H. Wang and G. Wang (2012) *Skermanella stibiirens* sp. nov., a highly antimony-resistant bacterium isolated from coal-mining soil, and emended description of the genus *Skermanella*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 62: 1271-1276. doi: 10.1099/ijs.0.033746-0
- Masuda S., Z. Bao, T. Okubo, K. Sasaki, S. Ikeda, R. Shinoda, M. Anda, R. Kondo, Y. Mori and K. Minamisawa (2016) Sulfur fertilization changes the community structure of rice root-, and soil-associated bacteria. *Microbes and environments* 31(1): 70-75. doi: 10.1264/jsme2.ME15170

- Methé C.A., K. E. Nelson, M. Pop, H. H. Creasy, M. G. Giglio, (2012) A framework for human microbiome research. *Nature* 486: 215-221. doi: 10.1038/nature11209
- Miqueletto P. B., F. D Andreote, A. C. F. Dias, J. C. Ferreira, E. V. dos Santos Neto and V. M. de Oliveira (2011) Cultivation-independent methods applied to the microbial propection of oil and gas in soil from a sedimentary basin in Brazil. *AMB Express* 1: 35. <http://www.amb-express.com/content/1/1/35>
- Orgiazzi A., P. Panagos, Y. Yigini, M. B. Dumbar, C. Gardi, L. Montenarella and C. Ballabio (2016) A knowledge-based approach to estimating the magnitude and spatial patterns of potential threats to soil biodiversity. *Science of the total environment* 545-546: 11-20. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.092
- Pate M., U. Zajc, D. Kusar, D. Zele, G. Vengust, T. Pirs, M. Ocepek (2015) *Mycobacterium* spp. In wild game in Slovenia. *The Veterinary Journal*. doi: 10.1016/j.tvjl.2015.10.004
- Pylro V. S., L. F. W. Roesch, J. M. Ortega, A. M. do Amaral, M. R. Tótola, P. R. Hirsch, A. S. Rosado, (2014) Brazilian Microbiome Project: Revealiing the Unexplored Microbial Diversity-Challenges and Prospects. *Microbial Ecology* 67: 237-241. doi: 10.1007/s00248-013-0302-4
- Simonin M. and A. Richaume (2015) Impact of engineered nanoparticles on the activity, abundance, and diversity of soil microbial communities: a review. *Environmental Science and Pollution research*. doi: 10.1007/s11356-015-4171-x
- Staley C., A. P. Ferrieri, M. M. Tfaily, Y. Cui, R. K. Chu, P. Wang, J. B. Shaw, C. K. Ansong, (2017) Diurnal cycling of rhizosphere bacterial communities is associated with shifts in carbon metabolism. *Microbiome* 5: 65. doi: 10.1186/s40168-017-0287-1
- Subhash Y. and S. S. Lee (2016) *Skermanella rosea* sp. nov., isolated from hydrocarbon-contaminated desert sands. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 66: 3951-3956. doi: 10.1099/ijsem.0.001293
- Subhash Y., D. E. Yoon, S. S. Lee (2017) *Skermanella mucosa* sp. nov., isolated from crude oil contaminated soil. *Antonie van Leeuwenhoek*. doi: 10.1007/s10482-017-0878-7
- Tournier E., L. Amenc, A. L. Pablo, E. Legname, E. Blanchart, C. Plassard, A. Robin and L. Bernard (2015) Modification of a commercial DNA extraction Kit for safe and rapid recovery of DNA and RNA simultaneously from soil, without

- the use of harmful solvents. *MethodsX* 2: 182-191. doi: 10.1016/j.mex.2015.03.007
- Vogel T. M., P. Simonet, J. K. Jansson, P. R. Hirsch, J. M. Tiedje, (2009) TerraGenome: a consortium for the sequencing of a soil metagenome. *Nat. Rev. Microbiol.* 7: 252. doi: 10.1038/nrmicro2119
- Vos M., C. Quince, A. S. Pijl, M. de Hollander and G. A. Kowalchuk (2012) A comparison of *spoB* and 16S rRNA as markers in pyrosequencing studies of bacterial diversity. *PLoS ONE* 7(2):e30600. doi:10.1371/journal.pone.0030600
- Wang X., D. Salvachúa, V. Sánchez i Nogué, W. E. Michener, A. D. Bratis. J. R. Dorgan and G. T. Beckham (2017) Propionic acid production from corn stover hydrolysate by *Propionibacterium acidipropionici*. *Biotechnology for Biofuels* 10: 200. doi: 10.1186/s13068-017-0884-z
- Wang Y., M. Hayatsu and T. Fujii (2012) Extraction of bacterial RNA from soil: Challenges and solutions. *Microbes and Environments* 27(2): 111-121. doi: 10.1264/jsme2.ME11304
- Wilson K. (1990) Preparation of genomic DNA from bacteria. In: *Current protocols in molecular biology*. Ausubel, F. M.; Brent, R.; Kingston R. E.; Moore, D. D.; Seidman, J. G.; Smith, J. A. and Struhl, K. (Eds). Assoc. And Wiley Interscience. NY, USA. 241-245 pp.
- Zaragoza-Bastida A., N. Rivero-Pérez, B. Valladares-Carranza, K. Isaac-Olivé, P. Moreno-Pérez, H. Sandoval-Trujillo and N. Ramírez-Durán (2017) Molecular identification of *Mycobacterium* species of public health and veterinary importance from Cattle in the South State of México. *Hindawi Canadian Journal of infectious Diseases and Medical Microbiology*. Article ID: 6094587. doi: 10.1155/2017/6094587
- Zhu W., J. Huang, M. Li, X. Li and G. Wang (2014) Genomic analysis of *Skermanella stibiirens* type strain SB22. *Standards in Genomic Sciences* 9: 1211-1220. doi: 10.4056/sigs.5751047

CAPITULO III. ANÁLISIS DE UN ANDOSOL CON ENMIENDAS ORGÁNICAS DE MICHOACÁN.

3.1. RESUMEN

El uso de enmiendas orgánicas es una práctica que mejora la condición física y química del suelo, actuando como una fuente de carbono y otros nutrientes. El objetivo en el presente trabajo fue evaluar los efectos de enmiendas orgánicas y dosis de fertilización convencionales, sobre las características físicas y químicas de un suelo andosol en el estado de Michoacán, además del factor de Luna nueva y Luna llena. El experimento se estableció en una huerta de aguacate bajo manejo orgánico y convencional, con 26 años de edad, en marzo de 2016. Se utilizó un diseño experimental factorial AxB (el factor A, fue el efecto de la luna y el Factor B, los fertilizantes químicos y abonos orgánicos), con un arreglo de bloques completamente al azar. Se estudiaron 10 tratamientos con 3 repeticiones. Se usó gallinaza y organodel en dosis de 60 kg/árbol y las fórmulas químicas; 23.6-15.2-0-7.3 + micros + ácidos húmicos y 15.1-4.4-28. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico "Statistical Analysis System" (SAS), y la comparación de medias se hizo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). los resultados no mostraron diferencias significativas, para las variables evaluadas; pH, CE, M.O., CIC, Da y las variables químicas fueron: N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu, B, Mn y Na.

Palabras clave: *materia orgánica, compostas, mejoradores de suelo.*

3.2. ABSTRACT

The use of organic amendments is a practice that improves the physical and chemical condition of the soil, acting as a source of carbon and other nutrients. The objective in the present work was to evaluate the effects of organic amendments and conventional fertilization doses on the physical and chemical characteristics of an andosol soil in the state of Michoacán, as well as the factor of new moon and full moon. The experiment was established in an avocado orchard under organic and conventional management, with 26 years of age, in March 2016. An experimental factorial design A × B was used (factor A, was the effect of the moon and Factor B, chemical fertilizers and organic fertilizers), with a completely randomized block arrangement. 10 treatments with 3 repetitions were studied. Poultry litter and organodel were used in doses of 60 kg / tree and chemical formulas; 23.6-15.2-0-7.3 + micros + humic acids and 15.1-4.4-28. The statistical analyzes were performed with the statistical package "Statistical Analysis System" (SAS), and the comparison of means was made with the Tukey test ($P \leq 0.05$). the results showed no significant differences for the variables evaluated; pH, EC, M.O., CIC, Da and the chemical variables were: N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu, B, Mn and Na.

Index words: *organic matter, compost, soil improvers.*

3.3. INTRODUCCIÓN

Las condiciones actuales de manejo de huertos de aguacate, han generado criterios nuevos orientados a replantear las bases para un manejo ecológico, acorde con una tendencia mundial hacia la protección y conservación de los recursos naturales, por lo que algunas actividades como el enriquecimiento de los suelos agrícolas, utilización apropiada del agua de riego, y la reducción casi total del uso de plaguicidas y fertilizantes químicos retoman una gran importancia.

La tendencia es forzada por la necesidad de adoptar un modelo de desarrollo propio para las unidades frutícolas de cada región donde generar y comercializar fruta de calidad, libre de sustancias químicas se transforma en un dilema entre producción sustentable versus producción extensiva de alimentos. Las plantaciones de aguacate manejadas convencionalmente someten su producción a sustancias químicas, rompiendo el balance biodinámico que existe entre las poblaciones de plagas de insectos y depredadores naturales, favoreciendo a los primeros (Figueroa, 1991. Jiménez, 1993).

El uso de enmiendas orgánicas es una práctica que mejora la condición física y química del suelo, actuando como una fuente de carbono y otros nutrientes (Tejeda y González, 2003; Albiach *et al.*, 2000). A su vez, estimula el crecimiento de los microorganismos del suelo creando un medio adecuado para el desarrollo de las plantas. El objetivo en el presente trabajo fue evaluar los efectos de enmiendas orgánicas y dosis de fertilización convencionales, sobre las características físicas y químicas de un suelo andosol en el estado de Michoacán.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se llevó a cabo en un huerto que se localiza en Ario de Rosales, Michoacán, este municipio se ubica en el centro del Estado, en las coordenadas 19°12' de latitud norte y en los 101°40' de longitud oeste, a una altura de 1,910 metros sobre el nivel del mar (Figura 8). Limita al norte con Salvador Escalante, al este con Turicato y Tacámbaro, al sur con La Huacana y al oeste con Nuevo Urecho y Taretan. Su distancia a la capital del Estado es de 107 km.



Figura 8. Ubicación geográfica del municipio de Ario de Rosales, Michoacán.

Materiales y equipo

El material y equipo utilizados en el presente proyecto son los siguientes:

- 30 árboles de aguacate cv Hass, de 26 años de edad.
- Fertilizantes Químicos: CAN 27, DAP, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, FeSO_4 , BORAX, Zn, MnSO_4 , CuSO_4 y ácidos húmicos,
- Fertilizantes Orgánicos: Gallinaza y Orgánodel.
- Brújula, altímetro y listones.
- Pintura y brocha.
- Pala y barrenas
- Bolsas de papel, bolsas de plástico transparentes
- Cámara fotográfica.

El experimento se estableció en una huerta de aguacate bajo manejo orgánico y convencional, con 26 años de edad, en marzo de 2016. Se utilizó un

diseño experimental factorial AxB (el factor A, fue el efecto de la luna y el Factor B, los fertilizantes químicos y abonos orgánicos), con un arreglo de bloques completamente al azar. Se estudiaron 10 tratamientos con 3 repeticiones. Se usó gallinaza y organodel en dosis de 60 kg/árbol y las fórmulas químicas; 23.6-15.2-0-7.3 + micros + ácidos húmicos y 15.1-4.4-28 (Cuadro 6, Figura 9).

La fertilización se aplicó en la zona de goteo, tomando en cuenta el manejo biodinámico se aplicaron los tratamientos con luna llena y con luna nueva, la dosis de fertilizante de cada tratamiento se fraccionó en 4 partes: la primera se aplicó en marzo del 2016, la segunda en julio, la tercera en noviembre del 2016 y en junio del 2017 fue la última aplicación. Cada árbol se dividió en los cuadrantes norte (N), sur (S), este (E), y oeste (O), en cada cuadrante se seleccionó una rama para realizar los muestreos de tejido vegetal.

Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico “Statistical Analysis System” (SAS) para Windows V8; la comparación de medias se hizo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Cuadro 6. Relación de tratamientos evaluados con efecto de la luna en aguacate cv Hass.

Trat.	Fórmula química (NPK)
1.	Luna llena + 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH
2.	Luna llena + 15.1-4.4-28
3.	Luna llena + Organodel 60 kg
4.	Luna llena + Gallinaza 60 kg
5.	Luna llena sin aplicación
6.	Luna nueva + 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH
7.	Luna nueva + 15.1-4.4-28
8.	Luna nueva + Organodel 60 kg
9.	Luna nueva + Gallinaza 60 kg
10.	Luna nueva sin aplicación

B L O Q U E	I	3	5	10	7	8	1	2	9	6	4
	II	10	1	3	8	5	4	7	9	2	6
	III	8	6	4	7	9	1	10	3	5	2

Figura 9. Distribución de tratamiento en campo.

Variables evaluadas

Las variables físicas del suelo fueron pH, CE, M.O., CIC, Da; las variables químicas fueron: N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu, B, Mn y Na.

Muestreo y preparación de suelo

Las determinaciones de suelo se realizaron bajo los procedimientos recomendados en el Diario Oficial de la Federación (octubre, 2000).

Para hacer el muestreo de suelo, procedimiento para la obtención de una o más muestras que sean representativas de un terreno, se realizó con base a los parámetros que dicha norma marca, por lo que en frutales se recomienda es hacer un muestreo a intervalos de 30 cm, de preferencia en la zona de goteo donde hay más densidad de raíces, es donde mayor ocurre la máxima actividad radical, los muestreos se realizaron en mayo del 2017, para posteriormente hacer los procedimientos de las propiedades físicas, químicas y metagenómicas del suelo, las muestras se tomaron en los 30 árboles por sitio.

Una vez extraídas las muestras del huerto, se aplicó el método de preparación del suelo con la finalidad de almacenarlo para su análisis; en el laboratorio del Colegio de Postgraduados se procedió al registro de los tratamientos para facilitar la identificación de los datos de cada uno de ellos, posteriormente fueron sometidas al secado, molienda, tamizado, homogeneizado y almacenado en bolsas de poli papel para su conservación; con el propósito de evitar contaminación de las muestras de suelo y asegurar una mayor precisión y exactitud en el resultado

del análisis, se realizó esta operación en un lugar apropiado, techado y limpio, antes de empezar a procesar la muestras en laboratorio de génesis de suelo.

Medición de pH

El pH, es la medición más sencilla y común al analizar las muestras de suelo, pero muy importante en el análisis químico, debido a que este factor de alguna manera tiene el mando en las reacciones químicas y biológicas del suelo. Las 30 muestras fueron preparadas y medidas por el potenciómetro en una suspensión sobrenadante de una mezcla de suelo-agua de relación 1:2

Conductividad eléctrica

Las sales solubles se cuantificaron midiendo la Conductividad Eléctrica (CE) en la solución del sustrato, permite conducir el flujo de la electricidad y esto da un valor de acuerdo con el nivel de fertilidad, para medir esta variable se utilizó un puente de conductividad para esta determinación en el extracto de la saturación del suelo, por medición electrolítica y una celda de conductividad como sensor.

Densidad aparente

La densidad aparente de un suelo se suele utilizar como medida que se relaciona con la masa, volumen y se suele utilizar como medida de la estructura del suelo, considerando el espacio poroso, una densidad baja generalmente, equivalente a más porosidad y mayores agregados del suelo. Un suelo de bosque saludable tendrá una densidad baja, lo que corresponde a mayor estabilidad, menos compactación y, probablemente, mayor contenido de humedad que un suelo con una densidad mayor. Por lo cual se utilizó el método del terrón parafinado para la determinación de la densidad aparente, de las 30 muestras de suelo que fueron calculadas a partir del conocimiento de dos parámetros: la masa del suelo y el volumen total, es decir el volumen de los sólidos y el volumen ocupado por el espacio poroso. En el caso de la masa, ésta se determinó pesando la muestra (terrón) y en el caso del volumen, éste fue determinado de manera indirecta recubriendo el terrón con una capa de parafina y pesándolo sumergido en un líquido (agua).

Capacidad de intercambio catiónico

Es una propiedad química a partir de la cual es posible inferir acerca del tipo de arcilla presente, de la magnitud de la reserva nutricional y del grado de intemperismo de los suelos, en otras palabras, es la suma de cationes intercambiables adsorbidos en el suelo; las muestras extraídas se sometieron a saturación para que se diera el intercambio con un catión índice, el ion amonio, lavado del exceso de saturante con alcohol, hace un desplazamiento del catión índice con potasio y determinación del amonio se hace esto mediante la destilación. Por lo cual gracias al amonio que se utilizó como catión índice y hace posible que sea más fácil esta determinación, la concentración normal que se usó aseguro una completa saturación de las muestras y se dio por consiguiente la obtención del intercambio.

Bases intercambiables Ca, Mg, K y Na

En este método se trabajó a la par con la capacidad de intercambio catiónico para obtener las bases intercambiables, se determinó la concentración de Ca, K, Mg y Na por espectrofotometría de absorción y emisión atómica con llama de aire-acetileno y agregándola para minimizar las interferencias (Kalra 1998).

Materia orgánica

Esta determinación para las 30 muestras se evaluó a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black. Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Después de un cierto tiempo de espera la mezcla se diluye, se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencias de Fe^{3+} y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso. Con este procedimiento se detecta entre un 70 y 84% del carbón orgánico total por lo que es necesario introducir un factor de corrección, el cual puede variar entre suelo y suelo.

Nitrógeno total de suelo

Método para la determinación de nitrógeno total del suelo, se llevó a cabo con el procedimiento micro-Kjeldahl. Se referencia como índice de las reservas orgánicas, en la estratificación de sistemas productivos y en los balances en el suelo, este procedimiento ha mostrado una alta correlación con la respuesta de la planta en estudios de correlación de métodos químicos. Esta determinación es la propuesta por Bremner y Keene (1996); también en la norma lo plasma y consiste en la extracción del amonio intercambiable por equilibrio de las muestras del suelo con KCl 2N, este procedimiento involucra dos pasos: (a) digestión de la muestra para convertir el nitrógeno, y (b) la determinación del digestado y posteriormente por la destilación por arrastre de vapor en presencia de MgO, seguida de la adición de ácido sulfámico para finalmente hacer la lectura por la titulación que permite ver la determinación de nitratos y nitritos.

Fosforo

Se llevó a cabo con el método de Olsen para la determinación del fósforo disponible en el suelo, es decir, aquel susceptible de ser absorbido por la planta. Se utiliza como método predilecto en suelos calcáreos, particularmente aquellos con menos más del 2% de carbonato de calcio, pero se ha demostrado en algunas investigaciones ser razonablemente eficaz para suelos ácidos. Este método se basa en el uso de una solución NaHCO_3 , 0.5 M, para disminuir las concentraciones de solución Ca_2^+ soluble por precipitación del CaCO_3 , por lo tanto, la solubilidad del P, las cargas superficiales negativas mayores y/o la disminución del número de sitios de absorción en las superficies en donde el pH mientras más elevado se mejora la desorción de P disponible en la solución.

Azufre

Es un elemento esencial para las plantas, sin el cual no pueden sintetizarse ciertos aminoácidos. Su necesidad es mayor en suelos lavados, la Interpretación de la cantidad de azufre disponible en el suelo para la planta es complicada debido a que existen otras fuentes, además del suelo, que pueden proporcionar azufre a la

planta. Esta determinación fue extraída por la técnica de saturación de pasta y fue leída por el método espectrofotometría de emisión de plasma de inducción acoplada (AES-ICP, modelo Liberty II Secuencial)

Boro

Para la determinación de Boro se trabajó por el método de extracción con agua caliente de Berger y Truog (1939). El método está basado en la adaptación de Mahier *et al.*, (1984). Esta adaptación del método de Berger y Truog hace que no haya pérdida de agua de la muestra y que la fuente de calor sea más uniforme para su extracción y fuera leída por el método espectrofotometría de emisión de plasma de inducción acoplada (AES-ICP, modelo Liberty II Secuencial).

Contenido de Zn, Mn, Cu y Fe

Para la solución extractora simultánea para disolver o extraer la forma química de los metales presentes en el suelo, para esta determinación de micronutrientes y metales contaminantes en el suelo, y en este caso particular en los elementos como cobre (Cu), manganeso (Mn), hierro (Fe) y zinc (Zn), se utilizó la sustancia DTPA y EDTA, que son soluciones muy complejas y tienen como finalidad de recuperar elementos metálicos que se encuentran en la forma intercambiable, está ligado a la materia orgánica, para el desarrollo de la lectura de las 30 muestras a través de la metodología de ICP en suelos (Benton Jones, 1991).

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la luna (Factor A) en las propiedades del suelo

En las variables de las propiedades físicas del suelo, estadísticamente no hubo diferencia significativa entre luna llena y luna nueva (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto de la luna (Factor A) en el contenido de las propiedades físicas del suelo.

Factor A	pH	CE (ds/m)	Da (g/cm ³)	MO (%)	CIC (meq/100 g)
1. Luna llena	6.6 A	0.19 A	0.57 A	7.97 A^Z	24.54 A
2. Luna nueva	6.7 A^Z	0.20 A^Z	0.60 A^Z	7.90 A	25.33 A^Z
DSH ₀₅	0.2671	0.0438	0.211	2.673	5.9698

^ZTratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales.

En las variables de los macro y micronutrientes del suelo, estadísticamente tampoco hubo diferencia significativa ($Pr > F$) entre luna llena y luna nueva (Cuadro 8). En el caso de los micronutrientes en el suelo, se registró mayor promedio con luna nueva (Cuadro 8).

Cuadro 8. Efecto de la luna (Factor A) en el contenido de macronutrientes y micronutrientes en suelo.

Macronutrientes						
Factor A	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (me/100 g)	Mg (me/100 g)	S (ppm)
1. Luna llena	0.05 A^Z	339.3 A	1.69 A	10.31 A	7.05 A	12.79 A
2. Luna nueva	0.05 A	420.5 A^Z	1.33 A ^Z	11.20 A^Z	8.26 A^Z	15.77 A^Z
DSH ₀₅	0.014	281.52	0.47	4.61	2.31	6.92
Micronutrientes						
	B (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Na (meq/100g)
1. Luna llena	0.20 A	7.21 A	12.83 A	11.60 A	21.97 A	0.16 A
2. Luna nueva	0.35 A^Z	7.40 A^Z	14.46 A^Z	12.92 A^Z	22.70 A^Z	0.16 A^Z
DSH ₀₅	0.238	4.7913	5.7383	4.1556	3.7653	0.0596

^ZTratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales.

Efecto nutrimental (Factor B) en las propiedades del suelo

Las propiedades físicas del suelo, no presentaron diferencias significativas ($Pr > F$) entre los tratamientos con efecto nutrimental; sin embargo, los mejores promedios en las propiedades físicas fueron con la fórmula 15.1-4.4-28 (T2) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efecto nutrimental (Factor B) en el contenido de las propiedades físicas del suelo.

Factor B (NPK)	pH	CE (ds/m)	Da (g/cm ³)	MO (%)	CIC (meq/100 g)
1. 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH	6.6 A	0.16 A	0.59 A	7.48 A	24.72 A
2. 15.1-4.4-28	6.6 A	2.30 A^Z	0.59 A	8.31 A^Z	28.19 A^Z
3. Organodel, 60 kg árbol	6.7 A	0.18 A	0.70 A^Z	8.06 A	24.34 A
4. Gallinaza, 60 kg árbol	6.7 A^Z	0.19 A	0.66 A	7.80 A	22.42 A
5. Sin aplicación	6.7 A	0.21 A	0.39 A	8.00 A	25.03 A
DSH ₀₅	0.608	0.0996	0.480	6.0829	13.585

^ZTratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales.

En las variables de los macronutrientes del suelo, estadísticamente tampoco hubo diferencias significativas ($Pr > F$) entre los tratamientos con efecto nutrimental; sin embargo, con la fórmula 15.1-4.4-28 (T2) P y K y sin aplicación (T5), N y Ca, fueron los tratamientos que tuvieron mayor efecto con dos variables cada uno y donde se registró mayor efecto en los macronutrientes (Cuadro 10). En el caso de los micronutrientes, se registró mayor promedio con el Organodel 60 kg (T3) en las variables de los micros Zn, Cu y Na (Cuadro 10), seguido del tratamiento sin aplicación (T5) con Mn y Fe, y finalmente la fórmula 15.1-4.4-28 (T2), lo cual podemos observar que en los micronutrientes es muy variado el efecto nutrimental, de la misma manera que con los macronutrientes por lo que el comportamiento con el tiempo repercute en el crecimiento y desarrollo del cultivo de aguacate.

Cuadro 10. Efecto nutrimental (Factor B) en el contenido de macronutrientes y micronutrientes en suelo.

Factor B (NPK)	Macronutrientes					
	N (%)	P (ppm)	K (me/100 g)	Ca (me/100 g)	Mg (me/100 g)	S (ppm)
1. 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH	0.0317 A	159.7 A	1.330 A	9.963 A	8.058 A	9.722 A
2. 15.1-4.4-28	0.0550 A	682.4 A^Z	1.723 A^Z	8.412 A	7.042 A	14.469 A
3. Organodel, 60 kg árbol	0.0417 A	368.6 A	1.240 A	11.008 A	8.405 A^Z	11.278 A

4. Gallinaza, 60 kg árbol	0.0533 A	196.7 A	1.108 A	9.578 A	7.663 A	19.661 A^Z
5. Sin aplicación	0.0717 A^Z	492.1 A	1.233 A	14.837 A^Z	7.140 A	16.293 A
DSH ₀₅	0.0324	640.66	1.073	10.505	5.275	15.764
		Micronutrientos				
	B (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Na (meq/100g)
1. 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH	0.1793 A	3.424 A	8.776 A	19.256 A	7.582 A	0.1533 A
2. 15.1-4.4-28	0.4745 A^Z	9.786 A	13.926 A	23.722 A	11.254 A	0.1450 A
3. Organodel 60 kg árbol	0.2812 A	10.789 A^Z	16.573 A	24.434 A^Z	14.215 A	0.2283 A^Z
4. Gallinaza 60 kg árbol	0.1967 A	5.300 A	11.513 A	21.144 A	12.497 A	0.1350 A
5. Sin aplicación	0.2668 A	7.248 A	17.469 A^Z	22.849 A	15.773 A^Z	0.1667 A
DSH ₀₅	0.5417	10.904	13.059	8.5686	9.4568	0.1355

^ZTratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales.

Efecto de la luna en los tratamientos en las propiedades físicas del suelo (Interacción Factor AxB)

En las propiedades físicas del suelo no se presentó diferencia estadística ($P > F$) (Cuadro 11), sin embargo, se observan ligeramente mayores promedios con el tratamiento luna nueva sin aplicación (T10) en las variables pH, CE y contenido de materia orgánica, mientras que, con el tratamiento luna llena + Organodel 60 kg árbol (T3) se registró una densidad aparente (D_a) de 0.833 g/cm^3 , y con el tratamiento luna nueva + 15.1-4.4-28 (T7) la capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue de 30.076 meq/100 g (Cuadro 11).

Cuadro 11. Efecto de la luna en los tratamientos en el contenido de las propiedades físicas del suelo.

Tratamiento.	pH	CE (ds/m)	D_a (g/cm^3)	MO (%)	CIC (meq/100 g)
1. Luna llena + 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH	6.767 A	0.190 A	0.537 A	8.300 A	28.157 A
2. Luna llena + 15.1-4.4-28	6.633 A	0.217 A	0.577 A	9.000 A	26.303 A
3. Luna llena + Organodel 60 kg árbol	6.667 A	0.180 A	0.833 A^Z	8.033 A	23.210 A

4. Luna llena + Gallinaza 60 kg árbol	6.733 A	0.190 A	0.567 A	8.203 A	20.603 A
5. Luna llena Sin aplicación	6.633 A	0.173 A	0.353 A	6.313 A	24.446 A
6. Luna nueva + 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH	6.433 A	0.137 A	0.653 A	6.667 A	21.290 A
7. Luna nueva + 15.1-4.4-28	6.633 A	0.243 A	0.613 A	7.633 A	30.076 A^Z
8. Luna nueva + Organodel 60 kg árbol	6.733 A	0.193 A	0.573 A	8.100 A	25.476 A
9. Luna nueva + Gallinaza 60 kg árbol	6.833 A	0.193 A	0.753 A	7.400 A	24.240 A
10. Luna nueva, sin aplicación	6.867 A^Z	0.250 A^Z	0.443 A	9.700 A^Z	25.613 A
DSH ₀₅	1.0192	0.1700	8.0506	10.1992	22.7786

^ZTratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales.

De igual manera, para los macronutrientes en el suelo no hubo significancia estadística ($Pr > F$) (Cuadro 12), sin embargo el tratamiento luna nueva sin aplicación (T10) registró los mejores promedios para N, CA y Mg con un promedio de 0.103 %, 18.997 y 8.52 me/100 g, respectivamente; en P el tratamiento luna nueva + 15.1-4.4-28 registró 760.626 ppm; en K con el tratamiento luna llena + 15.1-4.4-28 fue de 1.873 me/100 g; y para azufre en el tratamiento luna llena + Gallinaza 60 kg árbol fue un promedio de 25.364 ppm (Cuadro 12).

Cuadro 12. Efecto de la luna y nutrientes en los tratamientos en el contenido de macro nutrientes en el suelo.

Tratamiento	N (%)	P (ppm)	K (me/100 g)	Ca (me/100 g)	Mg (me/100 g)	S (ppm)
1. Luna llena + 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH	0.043 A	259.033 A	1.567 A	12.136 A	8.230 A	7.528 A
2. Luna llena + 15.1-4.4-28	0.070 A	604.227 A	1.873 A^Z	7.973 A	5.823 A	13.744 A
3. Luna llena + Organodel 60 kg árbol	0.047 A	186.106 A	1.343 A	11.720 A	8.370 A	9.014 A
4. Luna llena + Gallinaza 60 kg árbol	0.053 A	190.900 A	0.816 A	9.083 A	7.093 A	25.364 A^Z
5. Luna llena Sin aplicación	0.040 A	456.260 A	0.993 A	10.676 A	5.760 A	8.322 A
6. Luna nueva + 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH	0.020 A	60.276 A	1.093 A	7.790 A	7.887 A	11.915 A
7. Luna nueva + 15.1-4.4-28	0.040 A	760.626 A^Z	1.573 A	8.850 A	8.260 A	15.193 A
8. Luna nueva + Organodel 60 kg árbol	0.036 A	551.033 A	1.136 A	10.296 A	8.440 A	13.541 A

9. Luna nueva + Gallinaza 60 kg árbol	0.053 A	202.493 A	1.400 A	10.073 A	8.233 A	13.958 A
10. Luna nueva Sin aplicación	0.103 A^Z	527.996 A	1.473 A	18.997 A^Z	8.520 A^Z	24.264 A
DSH ₀₅	0.0537	1074.1961	1.7993	17.6130	8.8440	26.4312

^ZTratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales.

Los resultados de los micronutrientes evaluados, no presentaron diferencias significativas (Cuadro 14).

Cuadro 14. Efecto de la luna en los tratamientos en el contenido de micro nutrientes del suelo.

Tratamiento	B (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Na (me/100 g)
1. Luna llena + 23.6-15.2- 0-7.3 + Micros + AH	11.284 A	0.118 A	5.016 A	11.029 A	20.059 A	0.193 A
2. Luna llena + 15.1-4.4- 28	10.152 A	0.353 A	10.956 A	8.476 A	20.621 A	0.170 A
3. Luna llena + Organodel 60 kg árbol	16.635 A	0.176 A	5.705 A	13.597 A	25.888 A	0.210 A
4. Luna llena + Gallinaza 60 kg árbol	13.070 A	0.175 A	5.824 A	14.592 A	21.516 A	0.126 A
5. Luna llena sin aplicación	13.050 A	0.198 A	8.577 A	10.346 A	21.205 A	0.123 A
6. Luna nueva + 23.6- 15.2-0-7.3 + Micros + AH	6.267 A	0.240 A	1.831 A	4.136 A	18.452 A	0.113 A
7. Luna nueva + 15.1-4.4- 28	17.699 A	0.596 A^Z	8.615A	14.031 A	26.823 A^Z	0.120 A
8. Luna nueva + Organodel 60 kg árbol	16.511 A	0.385 A	15.872 A^Z	14.833 A	22.980 A	0.246 A^Z
9. Luna nueva + Gallinaza 60 kg árbol	9.955 A	0.217 A	4.775 A	10.402 A	20.772 A	0.143 A
10. Luna nueva sin aplicación	21.888 A^Z	0.335 A	5.918 A	21.200 A^Z	24.493 A	0.210 A
DSH ₀₅	26.4312	0.9082	18.2820	15.8561	14.3670	0.2272

^ZTratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales.

El mantenimiento perdurable de la capacidad productiva del suelo requiere la integración de prácticas de nutrición vegetal y de mejoramiento del suelo, que permitan un manejo adecuado de los nutrientes para evitar su carencia o pérdidas por lixiviación, y de la materia orgánica para potenciar la biodiversidad edáfica y optimizar los parámetros edáficos ligados a su conservación (Álvarez *et al.*, 2010).

La incorporación de materiales orgánicos, tales como los estiércoles, el rastrojo de maíz o los residuos de la cobertura de leguminosas, son prácticas de manejo agrícola realizadas para disminuir o hacer más eficiente el uso de fertilizantes inorgánicos. Las enmiendas orgánicas aportan al suelo materia orgánica y nutrimentos, con lo que se favorece la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas (Pool-Novelo *et al.*, 2000); sin embargo, tienen una baja concentración de algunos macronutrimentos, principalmente de nitrógeno y fósforo, comparado con los fertilizantes sintéticos. Por ello, la cantidad, calidad y variedad de los residuos orgánicos retornados al suelo es un factor clave que regula la disponibilidad de nutrimentos para las plantas y la estabilidad del reciclaje nutrimental en los sistemas agrícolas (Swift y Anderson, 1993). La descomposición de residuos con baja concentración de N y alta relación C/N es lenta y ocasiona una inmovilización del N inorgánico del suelo (Nicolardot *et al.*, 2001).

La biotransformación de los residuos orgánicos es un proceso imprescindible para la síntesis de sustancias húmicas y la mineralización de nutrimentos que se reincorporan al suelo y quedan disponibles a las plantas para su reutilización. La biomasa microbiana del suelo juega un papel fundamental en este proceso, ya que constituye el medio de transformación de la materia orgánica, y a su vez, representa un importante reservorio lábil de nutrimentos; por lo que las fluctuaciones de su tamaño o actividad influyen en la producción de los cultivos (Díaz *et al.*, 1993). La biomasa microbiana se encuentra regulada por las características del suelo, la composición de los materiales orgánicos y la naturaleza de la comunidad microbiana (Álvarez y Anzueto, 2004). El metabolismo del suelo ocasionado por la biomasa microbiana refleja las condiciones del ambiente edáfico (Knoepp *et al.*, 2000; Moscatelli *et al.*, 2005).

Álvarez *et al.* (2010), encontraron que la incorporación de estiércol de ovino, rastrojo de maíz y cobertura de leguminosas tuvo un efecto mayor en el carbono del suelo, respecto a la fertilización convencional. Rotondo *et al.* (2009), estudiaron el efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas sobre las propiedades del suelo. Incorporaron vermicompost de estiércol de conejo y caballo, vermicompost de

residuos del hogar y de camas de pollos. La conductividad eléctrica y el contenido de carbono orgánico fue mayor en los tratamientos donde se incorporó el vermicompost.

El aguacate esta acostumbrado a crecer en suelos con alto contenido de materia orgánica (Galán y Farré 2005). Varios estudios informaron los efectos de las técnicas de manejo de la tierra y la adición de enmiendas orgánicas en la calidad del suelo de los cultivos y el consiguiente impacto en la salud y el rendimiento de los mismos (Roy *et al.*, 2010; Yan y Gong 2010) La cantidad y calidad del aporte de materia orgánica afecta tanto las propiedades fisicoquímicas del suelo como los factores bióticos relacionados con la microbiota del suelo, como la biomasa microbiana, la diversidad microbiana y la estructura de la comunidad (Wallis *et al.*, 2010). Sin embargo, la mayoría de los informes sobre el efecto de las enmiendas orgánicas del suelo se basan en experimentos a corto plazo en parcelas de campo experimentales y omiten muchos de los lentos cambios que ocurren en el suelo. Los experimentos a largo plazo son vitales para la investigación agrícola y ambiental (Powlson *et al.*, 2011).

3.6. CONCLUSIONES

Los Resultados obtenidos, contrastan con otros trabajos donde se ha estudiado los efectos de la incorporación de materia orgánica en el suelo. Sin embargo, no es absoluto que no se mejoren las características con la aplicación continua de abonos orgánicos. También quedo demostrado que el factor de la Luna no influyo en los resultados obtenidos.

3.7. LITERATURA CITADA

- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F., Ingelmo, F. 2000. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. *Biores. Technol.* 75: 43-48.
- Álvarez, S. J. D.1, Díaz, P. E., León, M. N. S. y Guillén, V. J. 2010. Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Latinoamericana* 28(3): 239-245.
- Álvarez-Solís, J. D. y Anzueto-Martínez M. J. 2004. Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. *Agrociencia* 38: 13-22.
- Díaz R. M., Acea M. J., and Carballas T. 1993. Microbial biomass and its contribution to nutrients concentrations in forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 25: 25-31.
- Galán, V., Farré, J. M. 2005. Tropical and subtropical fruits in Spain. *Acta Horticult (ISHS)* 694:259–264.
- Knoepp, J. D., Coleman D. C., Crossley Jr. D. A., Clark J. S. 2000. Biological indices of soil quality: an ecosystem case study of their use. *For. Ecol. Manage.* 138: 357-368.
- Moscatelli, M. C., Lagomarsino A., Marinari S., de Angelis P., Grego S. 2005. Soil microbial indices as bioindicators of environmental changes in a poplar plantation. *Ecol. Indicators* 5: 171-179.
- Nicolardot, B., Recous, S., Mary, B. 2001. Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: A simple dynamic model based on the C:N ratio of the residues. *Plant Soil* 228: 83-103.
- Pool-Novelo, L., Trinidad, S. A., Etchevers, B. J., Pérez, M. J. y Martínez, G. A. 2000. Mejoradores de la fertilidad del suelo en la agricultura de ladera de Los Altos de Chiapas, México. *Agrociencia* 34: 251-259.
- Powlson, D. S., Brookes, P. C., Whitmore, A. P., Goulding, K. W. T., Hopkins, D. W. 2011. Soil organic matters. *Eur J Soil Sci* 62 (1):1–4. doi:10.1111/j.1365-2389.2010.01338.x
- Roy, S., Arunachalam, K., Dutta, B. K., Arunachalam, A. 2010. Effect of organic amendments of soil on growth and productivity of three common crops viz. *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris* and *Abelmoschus esculentus*. *Appl Soil Ecol* 45(2):78–84. doi:10.1016/j.apsoil.2010.02.004
- Swift, M. J. and J. M. Anderson. 1993. Biodiversity and ecosystem function in agricultural systems. pp. 15-41. In: Schulze E. D, Mooney H. A. (eds.). *Biodiversity and ecosystem function. Ecological studies: Analysis and synthesis*, vol 99. Springer, Berlin Heidelberg New York, NY, USA
- Tejada, M. and Gonzalez, J. L. 2003. Effects of the application of a compost originating from crushed cotton gin residues on wheat yield under dryland conditions, *Eur. J. Agron.* 19: 357–368.
- Wallis, P. D., Haynes, R. J., Hunter, C. H., Morris, C. D. 2010. Effect of land use and management on soil bacterial biodiversity as measured by PCR-DGGE. *Appl Soil Ecol* 46(1):147–150. doi:10.1016/j.apsoil.2010.06.006

Yan, X., Gong, W. 2010. The role of chemical and organic fertilizers on yield, yield variability and carbon sequestration results of a 19-year experiment. *Plant Soil* 331 (1):471–480. doi:10.1007/s11104-009-0268-7

CAPITULO IV. ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL DE AGUACATE, BAJO MANEJO CON ENMIENDAS ORGÁNICAS DE MICHOACÁN

4.1. RESUMEN

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es la cuarta fruta tropical más importante en el mundo. El consumo nacional de aguacate es sensible a cambios en el precio, por lo que se ha visto afectado por variaciones importantes. Se evaluaron los contenidos nutrimentales en hojas de aguacate. El experimento se estableció en una huerta de aguacate bajo manejo orgánico y convencional, con 26 años de edad, en marzo de 2016. Se utilizó un diseño experimental factorial AxB (el factor A, fue el efecto de la luna y el Factor B, los fertilizantes químicos y abonos orgánicos), con un arreglo de bloques completamente al azar. Se estudiaron 10 tratamientos con 3 repeticiones. Se usó gallinaza y organodel en dosis de 60 kg/árbol y las fórmulas químicas; 23.6-15.2-0-7.3 + micros + ácidos húmicos y 15.1-4.4-28. Se evaluaron N, P, K, Ca, Mg, S, He, Zn, Cu, B, Mn, en tejido vegetal y área foliar y clorofila. no se obtuvieron resultados significativos, para el factor luna y para los tratamientos aplicados.

Palabras clave: *Persea americana* Mill., materia orgánica, micronutrientes, macronutrientes.

4.2. ABSTRACT

The avocado (*Persea americana* Mill.) is the fourth most important tropical fruit in the world. The national consumption of avocado is sensitive to changes in the price, so it has been affected by important variations. Nutrient contents were evaluated in avocado leaves. The experiment was established in an avocado orchard under organic and conventional management, with 26 years of age, in March 2016. An experimental factorial design A × B was used (factor A, was the effect of the moon and Factor B, chemical fertilizers and organic fertilizers), with a completely randomized block arrangement. 10 treatments with 3 repetitions were studied. Poultry litter and organodel were used in doses of 60 kg / tree and chemical formulas; 23.6-15.2-0-7.3 + micros + humic acids and 15.1-4.4-28. N, P, K, Ca, Mg, S, He, Zn, Cu, B, Mn were evaluated in plant tissue and foliar area and chlorophyll. no significant results were obtained, for the moon factor and for the treatments applied.

Index words: *Persea americana* Mill., Organic matter, micronutrients, macronutrients.

4.3. INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es la cuarta fruta tropical más importante en el mundo, se estima una producción global de 2.6 millones de toneladas, siendo México uno de los principales países productores con 1.2 millones t, seguido por Indonesia con 263,000 t y Estados Unidos con 214,000 t (FAO, 2009).

La producción nacional de aguacate ha mostrado una tendencia creciente en cuanto a superficie cultivada y volumen de producción. En 2010, se reportó una superficie de 122,348 hectáreas plantadas con un predominio superior al 90% de la variedad Hass, la cual destaca por su demanda a nivel mundial (Naamani, 2007). El estado de Michoacán ocupa el primer lugar con 1 millón de toneladas de producción equivalente al 90%, seguido por Nayarit con 26,000 t (2.5%), Morelos con 25,000 t (2.2%) y el Estado de México con 21,000 t (2%) (Rubí *et al.*, 2013). En el Estado de México, los municipios de Coatepec Harinas (33.9%), Almoloya de Alquisiras (27.7%), Villa Guerrero (10.2%), Tenancingo (9.6%) y Donato Guerra (5.5%), colaboraron con 86.9% a nivel estatal (Rubí *et al.*, 2013) y, se ubican en la denominada “faja aguacatera” de la entidad (Sánchez y Rubí, 1994; SEDAGRO, 2011).

El consumo nacional de aguacate es sensible a cambios en el precio, por lo que se ha visto afectado por variaciones importantes. De la producción nacional, 69% se destina al consumo en fresco, 19% para la industria y 12% a exportación. Se reporta un consumo *per cápita* anual de 10 kg, que lo ubica como el país donde se presenta el mayor consumo de esta fruta (Rubí *et al.*, 2013).

Aunado a la importancia económica que esta fruta representa actualmente, cabe destacar el elevado valor nutritivo basado en su composición, donde 100 g de pulpa contienen: calorías (150 a 300 cal), hidratos de carbono (2.9 a 7.6 g), proteínas (1.2 a 2.1 g), grasa (6.1 a 21.2 g), agua (68 a 86 g) y fibra (0.7 a 2.1 g). Es importante mencionar que la pulpa y el aceite son reducidos en ácidos grasos saturados y ricos en monoinsaturados, aproximadamente 96% de ellos es ácido oleico. Posee vitaminas A, D, E, K, B1, B2, B6, niacina, ácido pantoténico, biotina,

ácido fólico y vitamina C. Minerales como calcio, hierro, fósforo, sodio, potasio, magnesio, manganeso, cobre, azufre y cloro (Maldonado-Torres *et al.*, 2007), lo que permite afirmar que se ubica entre las frutas más completas, convirtiéndose en una alternativa de importancia para contrarrestar problemas de nutrición que actualmente se tienen, sobre todo, en zonas rurales.

El objetivo del presente trabajo, fue evaluar los contenidos nutrimentales en hojas de aguacate, bajo diferentes tratamientos con abonos orgánicos y dosis de fertilización convencional, influenciados por dos etapas de Luna; luna llena y luna nueva, en un suelo andosol, en el estado de Michoacán.

4.4. MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se llevó a cabo en un huerto que se localiza en Ario de Rosales, Michoacán, este municipio se ubica en el centro del Estado, en las coordenadas 19°12' de latitud norte y en los 101°40' de longitud oeste, a una altura de 1,910 metros sobre el nivel del mar (Figura 8). Limita al norte con Salvador Escalante, al este con Turicato y Tacámbaro, al sur con La Huacana y al oeste con Nuevo Urecho y Taretan. Su distancia a la capital del Estado es de 107 km.

El experimento se estableció en una huerta de aguacate bajo manejo orgánico y convencional, con 26 años de edad, en marzo de 2016. Se utilizó un diseño experimental factorial AxB (el factor A, fue el efecto de la luna y el Factor B, los fertilizantes químicos y abonos orgánicos), con un arreglo de bloques completamente al azar. Se estudiaron 10 tratamientos con 3 repeticiones. Se usó gallinaza y organodel en dosis de 60 kg/árbol y las fórmulas químicas; 23.6-15.2-0-7.3 + micros + ácidos húmicos y 15.1-4.4-28 (Cuadro 6, Figura 9).

La fertilización se aplicó en la zona de goteo, tomando en cuenta el manejo biodinámico se aplicaron los tratamientos con luna llena y con luna nueva, la dosis de fertilizante de cada tratamiento se fraccionó en 4 partes: la primera se aplicó en marzo del 2016, la segunda en julio, la tercera en noviembre del 2016 y en junio del 2017 fue la última aplicación. Cada árbol se dividió en los cuadrantes norte (N), sur

(S), este (E), y oeste (O), en cada cuadrante se seleccionó una rama para realizar los muestreos de tejido vegetal.

Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico “Statistical Analysis System” (SAS) para Windows V8; la comparación de medias se hizo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Variables evaluadas

Para evaluar las variables de tejido vegetal, los datos se tomaron de manera mensual, de abril del 2016 a mayo del 2017; N, P, K, Ca, Mg, S, He, Zn, Cu, B, Mn, área foliar y clorofila.

Muestreo de tejido vegetal

Para el muestreo de tejido vegetal, se procedió con la colecta del material foliar en mayo del 2017 trabajando los árboles en los cuatro puntos cardinales N, S, E y O, tomando tres hojas de cada punto cardinal tomando también encuentra la recomendación que hace Barrientos (2001). Las muestras fueron provenientes de la parte media de los brotes terminales de las ramas del año, completas (lámina más pecíolo), sanas, 7-9 meses de edad aproximadamente de la parte media de ramas, sin brotes de crecimiento, florales, ni frutos, tomadas de una altura de 2-2.5 m del nivel del suelo y una vez tomadas se resguardaron en bolsas de papel cartón y se marcaron por tratamiento para que se facilite su ubicación a la que corresponde y posteriormente para que fueran trasladadas y analizadas en el laboratorio de nutrición vegetal.

Una vez tomadas las muestras, se lavaron las hojas con agua destilada cuatro veces para dejarlas libre de cualquier residuo que pudieran contener o presentar que alterara el proceso, posteriormente se secaron en una estufa con circulación forzada de aire 70 °C durante 72 h, y fueron posteriormente molidas en el molino de acero inoxidable hasta pasar una malla de No. 40 (Lazcano y Salazar, 1999). Este material se utilizó para la determinación de nutrimentos por los métodos que se describen a continuación.

Nitrógeno vegetal

Para evaluar esta determinación de N total en las hojas se realizó también, por la metodología Kjeldhal, actualmente, sigue siendo la técnica más usada. Este método se caracteriza por el uso de ebullición, ácido sulfúrico concentrado que efectúa la destrucción oxidativa de la materia orgánica de la muestra y la reducción del nitrógeno orgánico a amoníaco el amonio es retenido como bisulfato de amonio y puede ser determinado *in situ* o por destilación alcalina y titulación que se hace con ácido sulfúrico estandarizado, utilizando verde de bromocresol-rojo de metilo como indicador (Alcántar y Sandoval, 1999).

Contenido de P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Mn, Cu y Fe

Se trabajó una digestión húmeda trácida (Alcántar y Sandoval, 1999), donde se hizo la destrucción de la materia orgánica del tejido seco 0.25 g necesaria para analizar los elementos totales, a través de la mezcla del ácido nítrico (HNO_3) y ácido perclórico (HClO_4) con un 2:1 agregando 5 ml por muestra, se digirió a 220 y se analizó con el método de (AES-ICP, modelo Liberty II Secuencial).

Contenido de clorofila y tamaño de hoja

La determinación de clorofila se mide con el medidor SPAD 502 Minolta, se tomó una hoja de cada cuadrante del árbol, por tratamiento y repetición, cada hoja se sometió a la precesión del SPAD para obtener la lectura del contenido de clorofila en unidades SPAD. Una vez tomada la lectura del contenido de clorofila, se procedió a obtener el tamaño de la hoja, por lo que utilizó el determinador de área foliar LI-3100C, el cuál determina el área foliar en cm^2 .

4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la luna (Factor A) en las propiedades del tejido vegetal

En las variables de los macronutrientes solo hubo diferencia significativa en el N con luna llena, el resto de los macronutrientes, al igual que los micronutrientes del tejido vegetal, estadísticamente no hubo diferencia significativa ($\text{Pr} > \text{F}$) entre luna llena y luna nueva, pero si registró un mayor efecto y tuvo

promedios más altos con P, K, Ca, Mg y S, lo podemos observar a continuación (Cuadro 13). En el caso de los micronutrientos en el suelo, se registró mayor promedio con luna nueva (Cuadro 13), lo cual significa que, si hay influencia del tipo de luna en las variables del tejido vegetal en aguacate, así como se vio anteriormente en el nitrógeno contando con la cuestión física, química, biológica y microbiológica del suelo, que todo al final de todo se ve reflejado en el tejido vegetal, lo cual seguramente repercute en el crecimiento y desarrollo del cultivo de aguacate.

Cuadro 13. Efecto de la luna (Factor A) en el contenido de macro nutrientes y micronutrientos en tejido vegetal.

Macronutrientos						
Factor A	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (me/100 g)	Mg (me/100 g)	S (ppm)
1. Luna llena	2.43 A^Z	435.33 A	1898.2 A	5458 A	2343.9 A	907.6 A
2. Luna nueva	2.20 B	661.07 A^Z	2469.8 A^Z	7523 A^Z	3119.9 A^Z	1300.7 A^Z
DSH ₀₅	0.2161	195.49	817.56	2851.7	989.82	348.48
Micronutrientos						
Factor A	B (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Na (meq/100g)
1. Luna llena	17.41 A	6.63 A	48.60 A	171.45 A	165.68 A	17.412 A
2. Luna nueva	23.81 A^Z	10.18 A^Z	70.92 A^Z	246.73 A^Z	229.53 A^Z	23.81 A^Z
DSH ₀₅	6.4933	4.3523	24.941	114.72	64.148	6.493

^ZTratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales.

En el contenido de clorofila y tamaño de hoja, estadísticamente no hubo diferencia significativa ($Pr > F$) entre luna llena y luna nueva, pero igual que el resto de las variables tanto macros como micos no hay diferencia significativa, pero sí la mayoría tiene mayor promedio en el contenido de tejido vegetal con luna nueva, como se puede observar en el siguiente (Cuadro 14).

Cuadro 14. Efecto de la luna (Factor A) en el contenido de clorofila y tamaño de hoja.

Factor A	Clorofila (Unidades SPAD)	Área foliar (cm ²)
1. Luna llena	56.9773 A	86.518 A
2. Luna nueva	57.6467 A^Z	88.654 A^Z
DSH ₀₅	1.925	16.233

^ZTratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales.

Efecto nutrimental (Factor B) en las propiedades del tejido vegetal

En las variables de los macronutrientos en el tejido vegetal, estadísticamente no hubo diferencia significativa ($Pr > F$) entre los tratamientos; sin embargo, los mejores promedios fueron con el tratamiento con Gallinaza 60 kg/ árbol (T4), donde se obtuvieron los mayores promedios en las variables Ca con 10407 ppm, CIC con ppm y S con 1335.6 ppm, mientras que los otros promedios fueron con la fórmula 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH (T1), N con un promedio de 2.50 %, y mientras tanto en el caso de la P fue con la fórmula 15.1-4.4-28 (T2) con un promedio 659.5 ppm (Cuadro 15).

Cuadro 15. Efecto nutrimental (Factor B) en el contenido de macro nutrientes en tejido vegetal.

Factor B (NPK)	Macronutrientos					
	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	S (ppm)
1. 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH	2.5000 A^Z	449.1 A	1956.6 A	4755 A	2117.8 A	920.6 A
2. 15.1-4.4-28	2.3233 A	659.5 A^Z	2270.1 A	5774 A	2798.9 A	1156.4 A
3. Organodel 60 kg árbol	2.2983 A	581.6 A	2430.3 A^Z	5069 A	2392.0 A	1098.6 A
4. Gallinaza 60 kg árbol	2.1733 A	584.7 A	2037.8 A	10407 A^Z	3600.4 A^Z	1335.6 A^Z
5. Sin aplicación DSH ₀₅	2.3017 A 0.4918	466.1 A 444.86	2225.0 A 1860.5	6448 A 6489.6	2750.2 A 2252.5 A	1009.7 A 793.04
		Micronutrientos				
	B (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	
1. 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH	15.604 A	4.213 A	40.67 A	157.79 A	165.00 A	
2. 15.1-4.4-28	20.631 A	10.602 A^Z	54.78 A	153.34 A	233.17 A^Z	
3. Organodel 60 kg árbol	19.342 A	9.196 A	57.69 A	229.26 A	218.10 A	
4. Gallinaza 60 kg árbol	29.195 A^Z	8.075 A	85.42 A^Z	300.05 A^Z	215.60 A	
5. Sin aplicación DSH ₀₅	18.296 A 14.777	9.964 A 9.9044	60.24 A 56.759	205.00 A 261.07	156.16 A 145.98	

^ZTratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales.

En el caso de los micronutrientes en tejido vegetal, se registró mayor promedio con la Gallinaza 60 kg árbol (T4) en las variables B, Mn y Cu (Cuadro 15), seguido del tratamiento con la fórmula 15.1-4.4-28 (T2), con Zn y Fe, lo cual podemos observar que en los macros y micronutrientes es muy variado el efecto nutrimental, lo cual con el tiempo repercute en el crecimiento y desarrollo del cultivo de aguacate.

En el contenido de clorofila y tamaño de hoja, estadísticamente no hubo diferencia significativa ($Pr > F$) con el efecto nutrimental, pero sí en el contenido de clorofila hubo más efecto con el tratamiento sin aplicación (T5), con un promedio 59.148 unidades SPAD, mientras que en el tamaño de hoja el tratamiento con Organodel 60 kg árbol, fue el mayor promedio con 97.24 cm² de área foliar (Cuadro 16).

Cuadro 16. Efecto nutrimental (Factor B) en el contenido de clorofila y tamaño de hoja

Factor B	Clorofila (Unidades SPAD)	Área foliar (cm ²)
1. 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH	59.043 A	75.22 A
2. 15.1-4.4-28	56.468 A	88.65 A
3. Organodel 60 kg árbol	56.502 A	97.24 A²
4. Gallinaza 60 kg árbol	55.398 A	87.95 A
5. Sin aplicación	59.148 A²	88.88 A
DSH ₀₅	4.3807	36.941

²Tratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales.

Efecto de la luna en los tratamientos en tejido vegetal (Interacción Factor AxB)

En los macronutrientes en tejido vegetal no se presentó significancia estadística ($Pr > F$) (Cuadro 17); sin embargo, para N el mejor tratamiento fue luna nueva + 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH (T6), seguido del tratamiento luna nueva + 15.1-4.4-28 (T7), mientras que el tratamiento con menor respuesta fue luna llena + Gallinaza 60 kg/árbol (T4) (Cuadro 17). Los mejores resultados se obtuvieron con los tratamientos diseñados, con luna nueva considerando para esta variable.

En P el mejor tratamiento fue luna nueva + Gallinaza 60 kg/árbol (T9), seguido con luna nueva + 15.1-4.4-28 (T7); mientras que el tratamiento con menor respuesta

fue luna llena sin aplicación (T5) (Cuadro 17). Los mejores resultados se obtuvieron con los tratamientos diseñados, con luna nueva considerando para esta variable.

Para K, el mejor tratamiento fue luna nueva + Gallinaza 60 kg árbol (T9), seguido del tratamiento luna llena sin aplicación (T10); mientras que el tratamiento con menor respuesta fue luna llena + Gallinaza 60 kg/árbol (T4) (Cuadro 17).

En la variable Ca, el mejor tratamiento fue con luna nueva + Gallinaza 60 kg árbol (T9), seguido del tratamiento luna nueva sin aplicación (T10), mientras que el tratamiento con menor respuesta fue luna nueva + 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH (T6) (Cuadro 17). Los mejores resultados se obtuvieron con los tratamientos diseñados, con luna nueva considerando para esta variable.

Para Mg, el mejor tratamiento fue luna nueva + Gallinaza 60 kg árbol (T9), seguido del tratamiento luna nueva sin aplicación (T10); mientras que el tratamiento con menor respuesta fue luna nueva + 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH (T6) (Cuadro 17). Los mejores resultados se obtuvieron con los tratamientos diseñados, con luna nueva considerando para esta variable.

En la variable S, el mejor tratamiento se registró con luna llena + Organodel 60 kg árbol (T3), seguido del tratamiento luna llena + 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH (T1); mientras que el tratamiento con menor respuesta fue luna nueva + 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH (T6) (Cuadro 17). Los mejores resultados se obtuvieron con los tratamientos diseñados, con luna llena considerando para esta variable.

Cuadro 17. Efecto de la luna en los tratamientos en el contenido de macro nutrientes en tejido vegetal.

Tratamiento	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	S (ppm)
1. Luna llena + 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH	2.250 A	447.477 A	2263.464 A	5377.26 A	2261.42 A	650.435 A
2. Luna llena + 15.1-4.4-28	2.190 A	528.373 A	1965.043 A	5430.00 A	2637.78 A	620.615 A
3. Luna llena + Organodel 60 kg árbol	2.240 A	565.362 A	2366.173 A	4960.32 A	2435.81 A	771.052 A^Z
4. Luna llena + Gallinaza 60 kg árbol	2.086 A	336.924 A	1166.066 A	7336.20 A	2394.53 A	622.420 A

5. Luna llena Sin aplicación	2.250 A	298.504 A	1730.177 A	4186.43 A	1989.78 A	462.333 A
6. Luna nueva + 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH	2.750 A^Z	450.819 A	1649.640 A	4133.15 A	1974.22 A	197.113 A
7. Luna nueva + 15.1-4.4-28	2.456 A	790.686 A	2575.123 A	6118.52 A	2959.93 A	214.284 A
8. Luna nueva + Organodel 60 kg árbol	2.356 A	597.781 A	2494.513 A	5177.86 A	2348.23 A	352.653 A
9. Luna nueva + Gallinaza 60 kg árbol	2.260 A	832.394 A^Z	2909.600 A^Z	13477.48 A^Z	4806.26 A^Z	415.980 A
10. Luna nueva sin aplicación	2.353 A	633.667 A	2719.883 A	8708.69 A	3510.67 A	491.561 A
DSH ₀₅	0.825	745.903	3119.505	10881.052	3776.817	1329.693

^ZTratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales.

De igual manera que con los macros, tampoco hubo diferencia significativa en los micronutrientes ($Pr > F$) (Cuadro 18), sin embargo, para B el mejor tratamiento fue luna nueva + Gallinaza 60 kg árbol (T9), seguido del tratamiento luna nueva sin aplicación (T10); mientras que el tratamiento con menor respuesta fue luna nueva + 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH (T6) (Cuadro 18).

En la variable Zn, el mejor tratamiento fue luna nueva + Gallinaza 60 kg árbol (T9), seguido del tratamiento luna nueva + 15.1-4.4-28 (T7); mientras que el tratamiento con menor respuesta fue luna llena sin aplicación (T5) (Cuadro 18). Los mejores resultados se obtuvieron con los tratamientos diseñados, con luna nueva considerando para esta variable.

En Mn, el mejor tratamiento fue luna nueva sin aplicación (T10), seguido del tratamiento luna nueva + 15.1-4.4-28 (T7); mientras que el tratamiento con menor respuesta fue luna nueva + 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH (T6) (Cuadro 18).

En la variable Fe, el mejor tratamiento fue luna nueva sin aplicación (T10), se obtuvo el mayor promedio, seguido del tratamiento luna nueva + Organodel 60 kg árbol (T8); mientras que el tratamiento con menor respuesta fue luna nueva + 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH (T6) (Cuadro 18).

La variable Cu estadísticamente no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos evaluados (Cuadro 18). Sin embargo, el mejor tratamiento fue la

luna nueva + Gallinaza 60 kg árbol (T9), se obtuvo el mayor promedio, seguido del tratamiento de luna nueva + Organodel 60 kg árbol (T8); mientras que el tratamiento con menor respuesta luna llena sin aplicación (T5), (Cuadro 18). Los mejores resultados se obtuvieron con los tratamientos diseñados, con luna nueva considerando para esta variable.

Cuadro 18. Efecto de la luna en los tratamientos en el contenido de micro nutrimentos de tejido vegetal.

Tratamiento	B (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)
1. Luna llena+ 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH	44.862 A	16.580 A	5.868 A	11.029 A	165.103 A
2. Luna llena + 15.1-4.4-28	53.393 A	17.071 A	7.131 A	8.476 A	222.212 A
3. Luna llena + Organodel 60 kg	51.625 A	18.990 A	9.869 A	13.597 A	205.055 A
4. Luna llena + Gallinaza 60 kg	56.571 A	21.269 A	5.113 A	14.592 A	136.765 A
5. Luna llena Sin aplicación	36.568 A	13.147 A	5.180 A	10.346 A	99.271 A
6. Luna nueva + 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH	36.469 A	14.628 A	2.557 A	4.136 A	164.889 A
7. Luna nueva + 15.1-4.4-28	56.161 A	24.190 A	14.072 A	14.031 A	244.123 A
8. Luna nueva + Organodel 60 kg	63.749 A	19.694 A	8.522 A	14.833 A	231.146 A
9. Luna nueva + Gallinaza 60 kg	114.277 A^Z	37.121 A^Z	11.037 A	10.402 A	294.434 A^Z
10. Luna nueva Sin aplicación	83.920 A	23.443 A	14.748 A^Z	21.200 A^Z	213.056 A
DSH ₀₅	95.167	24.776	16.607	437.732	244.764

^ZTratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales.

La variable Clorofila estadísticamente no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos evaluados (Cuadro 19). Sin embargo, el mejor tratamiento fue la luna nueva + sin aplicación (T10), se obtuvo el mayor promedio, seguido del tratamiento de luna llena+ 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH (T1), mientras que el tratamiento con menor respuesta luna llena + 15.1-4.4-28 (T2), (Cuadro 19). Los mejores resultados se obtuvieron con los tratamientos diseñados, con luna nueva considerando para esta variable.

La variable Área foliar estadísticamente no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos evaluados (Cuadro 19). Sin embargo, el mejor tratamiento fue la luna llena + Organodel 60 kg árbol (T3), se obtuvo el mayor promedio, seguido del tratamiento de una luna llena + Gallinaza 60 kg árbol (T4), mientras que el tratamiento con menor respuesta Luna llena+ 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH (T1) (Cuadro 19). Los mejores resultados se obtuvieron con los tratamientos diseñados, con luna nueva considerando para esta variable.

Cuadro 19. Efecto de la luna en los tratamientos en el contenido de clorofila y tamaño de hoja.

Tratamiento	Fórmula	Clorofila (Unidades SPAD)	Área foliar (cm ²)
1	Luna llena+ 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH	59.646 A	61.336 A
2	Luna llena + 15.1-4.4-28	54.840 A	88.396 A
3	Luna llena + Organodel 60 kg árbol	56.146 A	101.986 A^Z
4	Luna llena + Gallinaza 60 kg árbol	55.656 A	94.100 A
5	Luna llena + Sin aplicación	58.596 A	86.770 A
6	Luna nueva+ 23.6-15.2-0-7.3 + Micros + AH	58.440 A	89.093 A
7	Luna nueva + 15.1-4.4-28	58.096 A	88.900 A
8	Luna nueva + Organodel 60 kg árbol	56.856 A	92.500 A
9	Luna nueva + Gallinaza 60 kg árbol	55.140 A	81.790 A
10	Luna nueva + Sin aplicación	59.700 A^Z	90.986 A
DSH ₀₅		7.3452	61.9393

^ZTratamientos con la misma letra estadísticamente son iguales.

La variación de nutrientes en hojas es muy común en árboles frutales (Chetri *et al.*, 1999; Benitez-Pardo *et al.*, 2003). Es importante el monitoreo de la concentración nutrimental foliar en los frutales, ya que, entre 40 y 80% de los nutrientes que contiene el árbol se encuentra en las hojas y hasta el 77% de los mismos son responsables del crecimiento vegetativo inmediato, esto se debe al nivel de actividad que se da en las hojas, por lo que es importante conocer la concentración de nutrientes en este órgano a través de las etapas fenológicas, con la finalidad de elaborar programas de nutrición con mayor precisión, mediante el conocimiento de los momentos críticos de demanda nutrimental (Aburto *et al.*, 2017).

La información referente a la velocidad con que se mueven los nutrientes una vez que son absorbidos por el sistema radical en el caso de especies perennes y en específico para frutales, es limitada. En algunos frutales se han evaluado dosis

elevadas de los nutrientes con el fin de lograr un incremento en la concentración nutrimental foliar; sin embargo, no se han observado resultados significativos. En naranja valencia se aplicó, durante tres años, una dosis anual equivalente a 3.0 kg de K₂O por árbol, utilizando diferentes fuentes fertilizantes y no se registró diferencia significativa en concentración foliar de potasio (Opazo y Razeto, 2001). La variación nutrimental es evidente en los frutales; sin embargo, es importante identificar qué nutrientes son los que registran mayor variación. Las investigaciones en análisis foliar han concluido que para la obtención de datos que permitan la elaboración del plan de nutrición es importante tomar en cuenta la edad de la hoja, la posición de la hoja (Koo y Young, 1972), el punto cardinal y posición en la copa de los árboles (Chadha *et al.*, 1980). Se conocen valores de concentración nutrimental en diversos cultivos a las que se considera óptimos; sin embargo, es muy importante la obtención de valores acordes a las etapas fenológicas (Menzel *et al.*, 2005). El contenido mineral en los árboles varía con el material genético (Young y Koo, 1969; Aburto *et al.*, 2017).

Debido a que en ocasiones no existe buena relación entre las dosis de los nutrientes aplicados a la planta y su contenido foliar, diversas investigaciones se han enfocado en buscar tejidos vegetales alternativos al foliar para el diagnóstico nutrimental. Razeto y Salgado (2004) encontraron que el pedúnculo del fruto de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass fue el mejor indicador de respuesta a la fertilización con nitrógeno. En el caso del boro, Razeto y Castro (2006) encontraron que el tejido de la inflorescencia fue el más adecuado para diagnosticar este nutrimento. Posteriormente, Razeto y Castro (2007) concluyeron que el mejor diagnóstico se obtuvo en los tejidos del pedúnculo y la pulpa del fruto.

En los suelos de la región productora de aguacate Hass en Nayarit las deficiencias de zinc (Zn) y boro (B) son comunes (Salazar y Lazcano, 1999) y falta información con relación a la respuesta a la fertilización para ambos nutrimentos. Salazar *et al.* (2016) evaluaron el efecto de la fertilización al suelo con zinc o boro en el contenido de estos nutrimentos en los tejidos de diferentes órganos del aguacate Hass, y encontraron que el seguimiento de la concentración foliar de zinc

o boro en respuesta a la fertilización no siempre proporciona un diagnóstico adecuado. Los tejidos de las estructuras con mejor respuesta a la fertilización con Zn fueron el raquis de inflorescencias en antesis y la pulpa del fruto en madurez fisiológica. En el caso del B, la fertilización se reflejó mejor en las inflorescencias completas en antesis y el pedúnculo + pedicelo del fruto en madurez fisiológica.

4.6. CONCLUSIONES

En el tejido vegetal, los resultados no mostraron diferencias significativas, sin embargo, en el factor A, efecto de la luna, sobresale el tratamiento luna nueva con mayores promedios para P, K, Ca, Mg, S y los micronutrientes, así como en clorofila y tamaño de hoja.

El factor B, efecto nutrimental en el tejido vegetal, sobresale el tratamiento gallinaza 60 Kg por árbol, en las variables Ca, Mg, S, B, Mn y Cu; mientras que el tratamiento Organodel 60 kg/árbol fue el registró mayor tamaño de hoja, y el tratamiento sin aplicación presentó mayor contenido de clorofila.

En la interacción Factor Ax B, el tratamiento que presentó mayor efecto en el tejido vegetal fue luna nueva + Gallinaza 60 kg/árbol en P, K, Ca, Mg, B, Zn, y Cu, y observando que también si sumamos las anteriores es el tratamiento que mejores promedios tiene; se observa que el tratamiento con luna nueva sin aplicación los mayores promedios fueron en Mn, Fe y Clorofila, mientras que el tratamiento luna llena + Organodel 60 kg/árbol presento mayores promedios en S y área foliar.

4.7. LITERATURA CITADA

- Aburto, G. C. A., Alejo, S. G., Leobarda, Ramírez, G. G., Sánchez, H. R. 2017. Concentración foliar de macronutrientes en diferentes etapas fenológicas del litchi cv. Brewster. *interciencia* vol 42, numero 7. pp 441-447.
- Benítez, P. D., Hernández, M. M., Osuna, E. T., Valenzuela, L. M., Galván, P. B. 2003. Muestreo y análisis foliar relacionados con fenología en mango en el sur de Sinaloa, México. *Terra Latinoam.* 21: 273-283
- Chadha, K. L., Samra, J. S., Thakur, R. S. 1980 Standardization of leaf-sampling technique for mineral composition of leaves of mango cultivar 'Chausa'. *Sci. Hort.* 13: 323-329.
- Chetri, K., Sanyal, D., Kar, P. L. 1999. Changes in nutrient element composition of guava leaves in relation o season, cultivars, direction of shoot, and zone of leaf sampling. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 30: 121-128
- FAO. 2009. Organización para la Alimentación y la Agricultura. <http://faostat.fao.org>.
- Koo, R. C. J., Young, T. W. 1972. Effects of age and position on mineral com-position of mango leaves. *Amer Soc Hort Sci J.* 97: 792-94.
- Maldonado, T. R., Álvarez S. M. E., Almaguer V. G., Barrientos P. A. F. and García M. R. 2007. Estándares nutrimentales para aguacatero "Hass". *Revista Chapingo Serie Horticultura* 13(1): 103-108.
- Menzel, C. M., Waite, G. K. 2005. *Litchi and Longan Botany, Production and Uses*. CABI. Wallingford, RU. 297 pp
- Naamani, G. 2007. *Developments in the Avocado World*. California Avocado Society Yearbook 90: 71-96.
- Opazo, J. D., Razeto, M. B. 2001. Effects of different potassium fertilizer on foliar content of nutrients, yield and fruit quality in orange trees cv Valencia. *Agric. Técn.* 6(4) <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072001000400009>
- Razeto, B. and Castro, M. J. 2006. Diagnosis of boron status in avocado trees (*Persea americana* Mill.), using alternative tissues. *Acta Horticulturae* 721:291-294.
- Razeto, B. and Castro, M. J. 2007. Fruit Analysis as a new approach to evaluate boron status in avocado. *Journal of Plant Nutrition* 30:881-885.
- Razeto, B. and Salgado, J. 2004. The inflorescence and fruit peduncle as indicators of nitrogen status of the avocado tree. *Hort. Science* 39:1173-1174.
- Rubí, A. M., Franco, M. A. L., Rebollar, R. S., Bobadilla, S. E. E., Martínez, D. I. and Siles, H. Y. 2013. Situación actual del cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) En el estado de México, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16 (2013): 93 – 101

- Salazar, G. S. y Lazcano, F. I. 1999. Diagnóstico nutrimental del aguacate 'Hass' bajo condiciones de temporal. Revista Chapingo Serie Horticultura 5:173-184.
- Salazar, G. S., Ibarra, E. M. E., Medina, T. R. 2016. Tejidos alternativos al foliar para evaluar la respuesta a la fertilización con zn o b en aguacate hass. Rev. Fitotec. Mex. 39(3):247-252.
- Sánchez, S. and Rubí A. M. 1994. Situación actual del cultivo del aguacate en México. California Avocado Society Yearbook 78: 61-74.
- SEDAGRO. 2011. Secretaría de Desarrollo Agropecuario GEM, Gobierno del Estado de México. <http://www.edomex.gob.mx/sedagro/documentos/informativos/documentos-regionales>.
- Young, T. W., Koo, R. C. J. 1969. Mineral composition of Florida mango leaves. Proc.Flo. St. Hort. Soc. 75:364-371.