

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

Licenciatura en Ciencias Ambientales



**“Respuesta del crecimiento de la red trófica del suelo en viñedo
orgánico ante la aplicación de distintos tratamientos en Valle de
Guadalupe, B.C. México”**

Que para obtener el grado de
Licenciada en Ciencias Ambientales

Presenta
Itzel López Montoya

Ensenada, Baja California, México – Noviembre 2018.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

Licenciatura en Ciencias Ambientales



TESIS

**“Respuesta del crecimiento de la red trófica del suelo en viñedo
orgánico ante la aplicación de distintos tratamientos en Valle de
Guadalupe, B.C. México”**

Presenta

Itzel López Montoya

Directora de tesis

Dra. Martha Ileana Espejel Carbajal

Noviembre 2018 – Ensenada, Baja California.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
Licenciatura en Ciencias Ambientales

TESIS

**“Respuesta del crecimiento de la red trófica del suelo en viñedo orgánico ante la
aplicación de distintos tratamientos en Valle de Guadalupe, B.C. México”**

Que para obtener el grado de
Licenciada en Ciencias Ambientales

Presenta

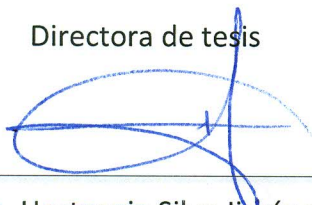
Itzel López Montoya

Aprobado por:



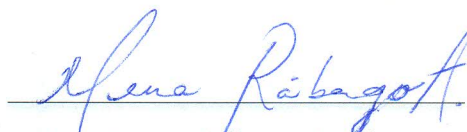
Dra. Martha Ileana Espejel Carbajal

Directora de tesis



Dra. Hortencia Silva Jiménez

Sinodal



Ing. Jimena Rábago Aguilar

Sinodal



Dr. Walter Daesslé Heuser

Secretario

Noviembre 2018 – Ensenada, Baja California.

RESUMEN

La erosión del suelo se reconoce como el mayor problema que amenaza la sustentabilidad de la agricultura a largo plazo. La erosión, la han ocasionado las malas prácticas agrícolas que se han fomentado desde los años sesenta, y el daño es especialmente grave en las zonas áridas y semiáridas donde el suelo es muy escaso. La consecuencia es una pérdida de biodiversidad de los microorganismos del suelo, y por ende, una serie de efectos negativos en las funciones de los ecosistemas, como son la retención y ciclo de nutrientes, así como la descomposición de la materia orgánica. La calidad y salud de los suelos condicionan en gran medida la producción agrícola, y la calidad medioambiental. Mejorar la biodiversidad de los suelos es vital para garantizar la salud de los mismos, e indirectamente apoyar la seguridad alimentaria y nutricional del futuro. Por esta razón, es prioritario estudiar la microbiología de los suelos de las regiones áridas y semiáridas, sobre todo aquellos microorganismos con valor económico. El objetivo de esta investigación es comparar y analizar la respuesta de la estructura y crecimiento de microorganismos del suelo, ante distintas aplicaciones de tratamientos cuya función es aumentar la productividad en los cultivos de vid en el Valle de Guadalupe, Ensenada, Baja California. En esta tesis se reporta la etapa correspondiente a Dormancia-2018. Para ello, se dividió una parcela de Chardonnay en cuatro tratamientos: "Control", "Biología" (té de composta), "Fertilizante" (Fertilizante orgánico a base de harina de pescado), "Biología + Fertilizante" (Combinación de té de composta con el fertilizante orgánico). Se analizaron 1) parámetros físicos y químicos, en un laboratorio particular, 2) biológicos del suelo en observaciones directas de microscopio de bacterias, hongos, nematodos, protozoa, actinobacterias y oomicetes, y 3) biológicos del suelo en medios de cultivo para bacterias aerobias heterótrofas y hongos. Se demostró que la temperatura y la precipitación fueron los factores que limitaron el crecimiento. Se concluye que para definir el mejor tipo de tratamiento, se necesita realizar un experimento, similar al aquí descrito, al menos por tres años. Este estudio es un primer esfuerzo por entender los suelos agrícolas en Valle de Guadalupe, desde una perspectiva que integra la microbiología de suelo, y se entiende a esta, como un factor clave para determinar la salud y calidad de los mismos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos infinitos a mis padres y a mi familia. Su apoyo incondicional y amor son lo que me mantienen a flote.

Mil gracias a las personas que confiaron en el proyecto, a la Dra. Ileana Espejel por dirigir, aconsejarme y tenerme paciencia, a la Ing. Jimena Rábago por su interés, pasión y amistad, a la Dra. Hortencia Silva por la honestidad, tiempo y dedicación. Por último, pero no menos importante, al Dr. Walter Daesslé por la flexibilidad, dedicación y consejos.

Agradecimiento especial a Finca la Carrodilla por permitirme realizar el experimento en su viñedo. De igual forma quiero agradecer a Mar y Tierra Fertilizantes S.A. de C.V. por patrocinar este proyecto, y proporcionar su fertilizante para el experimento. Quisiera agradecer especialmente al señor José Luis Castañeda por la confianza. Gracias a Eulogio López de CICESE, por apoyarme con los datos meteorológicos de la estación de El Mogor, en Valle de Guadalupe.

También quisiera agradecer a los profesores que me apoyaron en mi formación profesional, Dra. Roxana Rico, Dra. Concepción Arredondo, Dr. Alejandro Gastelum, Dr. Julio Villaescusa, Dra. María del Carmen, Dr. George Seingier, Dr. Loic Baptiste, Dr. Raúl Canino, y un agradecimiento especial a mi tutor Dr. Pablo Álvarez, al director Dr. Juan Vaca y Subdirector Dr. Víctor Zavala de la Facultad de Ciencias Marinas. Al personal del almacén y de biblioteca.

Por último, quisiera agradecer a la familia Calderón por el cariño que me dieron estos años. A mis amigos, que se volvieron mi familia, Valeria, Víctor, Diego, Michelle, Sofía, Óscar, Martha, Andrea, Eduardo, y Gustavo. A mis amigos que hice durante mi intercambio.

¡Muchas gracias a todos!

Contenido

INTRODUCCIÓN	7
DEFINICIONES, JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	14
JUSTIFICACIÓN.....	36
HIPÓTESIS	37
OBJETIVOS	37
ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA.....	38
RESULTADOS	45
DISCUSIÓN	58
CONCLUSIÓN	64
BIBLIOGRAFÍA.....	66

Tablas y figuras

FIGURA 1. RED TRÓFICA DEL SUELO (FAO, 2015).....	24
FIGURA 2. VALLE DE GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.....	39
TABLA I. TIPO DE TRATAMIENTO APLICADO POR CUADRANTE.....	40
FIGURA 3. FINCA LA CARRODILLA, VALLA DE GUADALUPE, B.C. MÉXICO. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA APLICACIÓN DE DISTINTOS TRATAMIENTOS EN CHARDONNAY.....	41
TABLA II. FECHAS DE ANÁLISIS DE CRECIMIENTO MICROBIANO EN LAS PARCELAS DE EXPERIMENTACIÓN, A TRAVÉS DE OBSERVACIÓN DIRECTA DE MICROSCOPIO.....	42
TABLA III. . RESUMEN DE LA TOMA DE MUESTRAS POR CUADRANTE.	43
TABLA IV. METODOLOGÍA PARA CADA PARÁMETRO Y VARIABLE REALIZADO. LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS SE MANDARON A ANALIZAR EN UN LABORATORIO ESPECIALIZADO QUIMICAL, S.A. DE C.V.....	44
TABLA V. RESULTADOS DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS POR CADA CUADRANTE ANTES DEL INICIO DEL EXPERIMENTO CON FERTILIZANTE Y TÉ DE COMPOSTA EN FEBRERO DEL 2018. SE PRESENTAN LOS RANGOS DESEABLES PARA CADA PARCELA.	47
TABLA VI. RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS MEDIOS DE CULTIVO PARA LA ETAPA DE DORMANCIA 2018.....	49
FIGURA 4. UFC POR TRATAMIENTO EN LA ETAPA DE DORMANCIA 2018..	49
FIGURA 5. CRECIMIENTO DE BACTERIAS EN LA ETAPA DE DORMANCIA 2018 Y SEGUIMIENTOS CORRESPONDIENTES. S.	50
FIGURA 7. CRECIMIENTO DE ACTINOBACTERIA EN LA ETAPA DE DORMANCIA 2018 Y SEGUIMIENTOS REALIZADOS..	53
FIGURA 8. CRECIMIENTO DE PROTOZOARIOS EN LA ETAPA DE DORMANCIA 2018 Y SEGUIMIENTOS REALIZADOS.	55
FIGURA 9. CRECIMIENTO DE NEMATODOS EN LA ETAPA DE DORMANCIA 2018 Y SEGUIMIENTOS REALIZADOS. S.....	56
FIGURA 10. CRECIMIENTO DE OOMICETOS EN LA ETAPA DE DORMANCIA 2018 Y SEGUIMIENTOS REALIZADOS.....	57
FIGURA 11. TEMPERATURAS PROMEDIO REGISTRADAS EN VALLE DE GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO. FUENTE: DR. BULLOCK/E. LOPEZ / PROYECTO DE FLUJOS DE CARBONO – ESTACIÓN MOGOR, CICESE.	57

Introducción

Desde 1960, con los avances tecnológicos en la agricultura de monocultivos e intenso uso de agro pesticidas y fertilizantes, se han generado cambios en la cubierta natural de la superficie terrestre, teniendo como resultado terrenos degradados y erosionados, cuerpos de agua contaminados por fertilizantes químicos inorgánicos y pesticidas, fauna y flora nativa afectada, y pérdida de la agrobiodiversidad; todo como consecuencia de un mal manejo agrícola (Miller, 2007). Las funciones del suelo, a pesar de la importancia fundamental que suponen para el ecosistema y la economía, se dan por supuestas y se consideran abundantes. La degradación del suelo a menudo pasa desapercibida, ya que es un proceso lento que rara vez tiene efectos alarmantes inmediatos (COM, 2012).

La erosión del suelo es uno de los efectos del manejo agroindustrial, que causa daños importantes como es la pérdida de la fertilidad del suelo, mediante el agotamiento de los nutrientes disponibles para las plantas, y la contaminación de agua superficiales cercanas por el exceso de aplicación de nutrientes en cultivos. Aunque una parte de la erosión es natural, otra es causada por actividades humanas (Miller, 2007). Una encuesta del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el *World Resources Institute*, calculó que el mantillo se erosiona más rápido de lo que se forma en aproximadamente 38% de los terrenos cultivables en el mundo (Miller, 2007); 10 cm de suelo fértil se forman en 2000 años (FAO, 2015). De acuerdo con la FAO, el 33% de los suelos del mundo se encuentran con alto grado de degradación, a través de erosión, salinización, acidificación, contaminación y pérdida de nutrientes. La erosión tiene un costo de \$70 dólares por persona al año (FAO, 2015). La degradación del suelo causada por actividades humanas contribuye al cambio climático, y ha sido responsable del 20% del carbono emitido a la atmósfera entre 1850 y 1998 (Lal, 2004).

Es de suma importancia la calidad y salud de los suelos por las funciones vitales que realiza; como son el almacenamiento y ciclo de nutrientes, soporte para el crecimiento de plantas, es un almacén de carbono, filtra el agua y facilita su almacenamiento, suprime plagas y enfermedades, filtra y elimina sustancias tóxicas, es el soporte de la producción de alimentos, ganado, fibras y combustibles (Moebius-Clune, 2017), y por último, es el sustento para una amplia diversidad de macro y microorganismos (Ashman y Puri, 2002). El 25% de la biodiversidad a nivel global podemos encontrarla en los suelos (FAO, 2015).

Suelos saludables y de calidad condicionan, en gran medida, la producción y sustentabilidad agrícolas, la calidad medioambiental, y como consecuencia de ambas, afectan a la salud vegetal, animal y humana. Mejorar la biodiversidad de los suelos es vital para garantizar la salud de los mismos y la seguridad alimentaria y nutricional del futuro (FAO, 2015). Existen acciones que se pueden realizar para prevenir la degradación de los suelos, y conservar aquellos que aún se mantienen saludables; un ejemplo de prevención de degradación del suelo, es adoptar un manejo agrícola responsable y sustentable.

Es por estas razones que es importante conocer el estado actual de los suelos de una región, para prevenir degradación y conservar suelos saludables, sobre todo aquellos suelos con valor agrícola, pues de ellos dependen nuestros alimentos. Se estima que cada año 5 billones de toneladas de suelo es erosionado por laboreo, las tasas de erosión pueden reducirse mediante la implementación de técnicas de gestión, y manejos agrícolas sustentables (FAO, 2015). Este estudio es un primer esfuerzo por entender los suelos agrícolas en Valle de Guadalupe, desde una perspectiva que integra la microbiología del suelo, como un factor clave para determinar la salud y calidad de los mismos, porque en general se les ha estudiado poco, especialmente en materia de micro biodiversidad y es importante conocer su composición. A su vez, esta investigación fungió de base para conocer los efectos de la aplicación de un fertilizante orgánico mexicano en desarrollo sobre los microorganismos del suelo.

El Valle de Guadalupe es una zona de alto valor económico, en este valle se genera la mayor producción de vinos en México; esta actividad trae a su vez un gran número de turistas nacionales y extranjeros cada año (González-Andrade, 2015). Debido a que este valle cuenta con alta presión por seguir expandiéndose, es vital que su crecimiento sea limitado y de manera sustentable, respetando la biodiversidad, a manera que se prevengan problemas agroambientales. Es por ello que lo hace un tema de interés para las Ciencias Ambientales, puesto le competen los problemas de los agroecosistemas y la resolución de los mismos.

Antecedentes Históricos

La ciencia del suelo comenzó a principios del siglo XIX en Estados Unidos con la caracterización de suelos. Entre 1837 y 1881, Darwin descubre la importancia de las lombrices en el suelo y su importancia en la meteorización del material mineral, la formación del humus y la diferenciación de horizontes. Pero no es hasta 1935 que la erosión de los suelos fue oficialmente reconocida como un problema grave en EE.UU. (De la Rosa, 2008).

El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés), publica su primera cartilla de información sobre la Red Trófica Edáfica. En este libro se define a la estructura de la Red Trófica Edáfica como la composición y números relativos de organismos de los distintos grupos del sistema del suelo (USDA, 1999).

La erosión del suelo es reconocida como el mayor problema que amenaza la sustentabilidad de la agricultura a largo plazo, y la magnitud del problema puede ser hoy en día cuantificada (FAO, 2015). Pérdidas en la biodiversidad del suelo han demostrado efectos en las funciones de los ecosistemas, incluyendo la diversidad de vegetación, descomposición, retención de nutrientes y ciclo de nutrientes (FAO, 2015). Es por esta razón, que la FAO decide declarar el 2015 como el año internacional de los suelos, en donde las investigaciones realizadas fueron enfocadas al análisis del estado actual de los suelos mundiales y fomentar su conservación (FAO, 2015).

Trabajos Previos

Distintos autores (Ingham *et al.*, 1985; Caballero-Mellado, 2006; Glick, 2012) reportan la importancia que tienen las bacterias, hongos y nematodos para el crecimiento de las plantas, demostrando en sus resultados que las plantas con microorganismos en el suelo crecen más rápido, que aquellas que crecen en suelos estériles.

En un artículo científico (Whitford, 1989), se compila la información sobre los factores abióticos que afectan la estructura de la red trófica del suelo, y los autores concluyen que la temperatura y el contenido de agua en el suelo son los factores mas influyentes en el crecimiento y estructura de los microorganismos del suelo. Eventos climáticos extremos, incluyendo inundaciones o sequías prolongadas, provocan efectos en las propiedades abióticas y bióticas del suelo, e influyen en las funciones del ecosistema incluyendo la productividad primaria (Nguyen *et al.*, 2018). En ecosistemas áridos y semi-áridos, la superficie del suelo se ve expuesta (sin cobertura vegetal) a desecación y al calentamiento por efecto de la exposición al sol. Dependiendo del grado de aridez del sistema, el grado de descomposición de la materia orgánica en el suelo se ve limitado por algunas especies de hongos y bacterias, que solo están activos en algunas horas del día (Whitford, 1989). A su vez, se ha encontrado que la resistencia de los microorganismos del suelo al estrés ambiental es conducido por distintos factores abióticos como la materia orgánica del suelo, disponibilidad de nutrientes, pH y agregación o compactación (Griffiths y Philippot, 2013; Bloor *et al.*, 2018), dichas propiedades son forjadas por los exudados de las plantas (Bardgett *et al.*, 2014; Cantarel *et al.*, 2015; de Vries *et al.*, 2016; Bloor *et al.*, 2018). La respuesta de la comunidad microbiana (abundancia, composición y diversidad) a eventos disturbios, puede ser resistente o resiliente, y es la función microbiana, y no la composición, lo que responde al disturbio (Nguyen *et al.*, 2018).

En cuanto a micro biodiversidad, hay estudios en donde se ha analizado la respuesta de la comunidad microbiana del suelo, ante distintas aplicaciones de

composta y herbicidas en una parcela experimental (Gunapala y Scow, 1997). Un ejemplo analiza el efecto de los insumos en la abundancia, actividad y estructura de la comunidad microbiana, a través del monitoreo de la disipación del herbicida, biomasa microbiana, respiración microbiana, la actividad deshidrogenasa y el perfil de los fosfolípidos en el suelo, en un monitoreo que duró 100 días (García-Delgado *et al.*, 2018). En otro estudio, se analizó la dinámica de la biomasa microbiana en el suelo, y su actividad en suelos agrícolas con manejo convencional y en sistemas orgánicos. En este estudio se utilizó el método extraíble por fumigación (“FEC” por sus siglas en inglés) y de nitrógeno (“FEN” por sus siglas en inglés) (Gunapala y Scow, 1997).

La Red Trófica Edáfica puede ser medida de distintas formas: 1) la estructura de la red; 2) a través de números de biomasa de los organismos de suelos; 3) las actividades que realizan dichos organismos; 4) y por último, con las características únicas de cada organismo (USDA, 1999). Jordan D. (1995) y colaboradores realizaron en una sola ocasión, una evaluación de los posibles métodos microbiológicos que fueran mejor en describir la calidad del suelo y la historia del manejo agrícola llevado a cabo en él; para ello compararon el carbono (C) microbiano en el suelo, análisis de fosfolípidos, conteos de biomasa directos de bacterias y hongos, medios de cultivo, y enzimas del suelo (fosfatasas) para medir la actividad microbiana directa e indirecta en el suelo. Reportan que la medición de biomasa directa de bacterias no arroja los mismos resultados que los otros métodos mencionados con anterioridad; y para el caso de hongos, la medición de biomasa directa refleja de forma más clara y certera el manejo agrícola que se realizó, siendo un método confiable. Concluyen que los mejores métodos para determinar la calidad de un suelo son analizando las enzimas del suelo y el carbono microbiano (Jordan *et al.*, 1995). Mucho de nuestro conocimiento sobre los microorganismos del suelo fue obtenido a partir de medios de cultivo, pero este método no representa las actividades de los microorganismos en su ambiente natural, y solo el 1% del total de microorganismos presentes en el suelo puede ser cultivable (Goldarfb *et al.*, 2011).

Un estudio (Seiter *et al.*, 1998) evaluó la dinámica de bacterias y hongos en el suelo en sistemas agrícolas utilizando técnicas de microscopia directa; los autores reportan que la actividad de bacterias y hongos del suelo era mayor en zonas cercanas a las raíces, y que disminuía dicha actividad conforme se alejaban de los árboles.

La publicación más parecida a los objetivos de este proyecto, fue realizada por el Instituto Nacional de Agricultura e Investigación Alimenticia y Tecnológica en Madrid, España (Sánchez-Moreno *et al.*, 2018). En esta investigación, se analizó el papel del manejo agrícola orgánico de viñedos y olivos, en la red trófica del suelo, en zonas mediterráneas con ecosistemas semi-áridos españoles muy similares a los de Valle de Guadalupe. Los resultados muestran que la estructura de la red trófica del suelo era mejor en el manejo agrícola convencional que en el orgánico, encontrando en este último, mayor presencia de microorganismos patógenos. Por dicha razón los autores concluyen, que en viñedos que se manejan de manera orgánica en zonas semi-áridas, es necesaria la aplicación de insumos para promover la conservación del suelo, mejorar la estructura de la red trófica del suelo hacia microorganismos benéficos para las plantas; respetando las prácticas de labranza mínima, y cultivos de cobertura (Sánchez-Moreno *et al.*, 2018).

En el estudio más completo que explica la estructura y dinámica de la Red Trófica del suelo en viñedos (Corneo, 2013), analiza la región norte de Italia de Trentino, seleccionando nueve viñedos localizados en distintas altitudes como área de estudio; los sitios fueron seleccionados de acuerdo a la edafología y clima. El objetivo del estudio era entender los efectos de la altitud como gradientes climatológicos y fisicoquímicos, influyendo en la estructura de los microorganismos del suelo. Realizó medios de cultivo para sus muestras ambientales, utilizó PDA para hongos y caldo de soja para bacterias aerobias heterótrofas, ambos medios incubados a temperatura ambiente. La autora concluye en su investigación que las comunidades de hongos y bacterias en viñedos son estables durante las estaciones del año (Corneo, 2013).

Definiciones, Justificación, Hipótesis y Objetivos

Suelos

El suelo es una unidad-tierra que está compuesta por elementos minerales, agua, aire y material orgánico. Esta unidad agrupa clima, geología, relieve, suelo, hidrología, vegetación, fauna y sus posibles usos; todas estas interacciones generan los suelos (De la Rosa; 2008).

El suelo está compuesto por partículas clásticas, material orgánico en varias etapas de decaimiento, organismos vivos, agua o hielo, y gases que se encuentran en los poros de distintos tamaños (Schaetzl *et al.*, 2005). El volumen de un suelo promedio está constituido por 25% aire, 25% agua, 45% material mineral y 5% materia orgánica (FAO, 2015). La combinación de minerales y materia orgánica es lo que le da al suelo sus propiedades únicas (Ashman y Puri; 2002). Los suelos son el producto de materiales no consolidados de rocas madres, bajo la influencia del clima y la biota (Schaetzl *et al.*, 2005). Durante la formación de suelos, el material rocoso se ve afectado por distintos procesos y genera partículas de distintos tamaños, las cuales conforman los suelos.

El perfil del suelo es la vista de lado (corte vertical) del suelo desde la superficie hasta abajo. El perfil es una entidad de dos dimensiones. Los suelos se exhiben de manera horizontal, cada capa paralela a la superficie del suelo y que forma el perfil del suelo, se denomina horizonte. Los horizontes del suelo están formados por materiales no consolidados que han sido expuestos por largos períodos de tiempo, conforme el material es añadido o removido del material parental. También se forman cuando un material es translocado (movimiento hacia arriba, abajo o a lado) a través del perfil (Schaetzl *et al.*, 2005).

El horizonte O está dominado por la materia orgánica y no por el material mineral. Incluye todos los materiales orgánicos en descomposición. La humificación ocurre en este horizonte. El horizonte A, es el horizonte mineral. Las partículas en este horizonte están cubiertas por capas oscuras de humus y materia orgánica en altos niveles de decaimiento. En este horizonte se encuentran fragmentos aislados de materia orgánica, fragmentos de plantas o animales muertos, paquetes fecales, semillas o granos de polen (Schaetzl *et al.*, 2005).

La formación de suelos definidos depende de las condiciones ambientales; los residuos de plantas y animales están sujetos a la descomposición microbiana en un proceso denominado mineralización. Durante esta mineralización, la materia orgánica es degradada una y otra vez por microorganismos, formando humus en un proceso llamado humificación. La materia del suelo es transportada por el perfil del suelo a través de lixiviación y disminución. Estos procesos forman los distintos perfiles del suelo denominados horizontes, y ayudan a la formación de un suelo saludable y de calidad (Ashman y Puri; 2002).

Propiedades físicas de los suelos

Las propiedades físicas del suelo determinan la capacidad del suelo para el sostenimiento de la planta, ya sea por la facilidad para la penetración de raíces, la capacidad de infiltración, drenaje, aireación y retención de nutrientes.

Profundidad útil

Es la profundidad a la cual las raíces de la planta pueden llegar para obtener nutrientes y agua; es dependiente del clima, grado de erosión de la roca madre, y especie de la planta.

Textura

Las partículas minerales de los suelos pueden ser agrupadas en 5 clases. Primero están las partículas grandes, rocas o grava y arena gruesa, estas son mayores a 2 mm. Las partículas que son más pequeñas que 2 mm se denominan “Finas” y se dividen en 3 clases: Arena, Limo y arcilla. La proporción de estas partículas “finas” se conoce como la textura del suelo (Ashman y Puri; 2002) y es importante porque afecta la manera en la que el agua se mueve a través del suelo o es retenido en el (Schaetzl *et al.*, 2005). La estructura se refiere al ordenamiento primario de las partículas del suelo, arena, limos y arcillas, en agregados naturales llamados pedón, a los agregados formados por labranza o actividades humanas se les denominan terrones. Los horizontes tienen sus propias estructuras únicas, y dependen de la materia orgánica y actividad biótica, textura, entre otros. (Schaetzl *et al.*, 2005). La textura afecta de manera importante los procesos que ocurren en el suelo, puesto que las propiedades del suelo influirán en la retención de agua, acumulación de materia orgánica, permeabilidad, aireación y liberación de nutrientes (Moebius-Clune *et al.*, 2017).

Porosidad (densidad aparente)

Gran parte del volumen de un suelo son vacíos, llenados por aire, agua o ambos. La cantidad de vacíos en un espacio determinado de suelo se denomina porosidad. Los poros se dividen en macroporos (mayores a 75 μm) y en microporos (menores a 30 μm) (Schaetzl *et al.*, 2005). La cantidad de poros influye en la actividad microbiana, aireación, acumulación de materia orgánica, y en el desarrollo de raíces (Moebius-Clune *et al.*, 2017).

Estabilidad de agregados

La estabilidad de agregados es la capacidad del suelo para mantener su estructura a pesar de que haya fuerzas externas (o presión) sobre el mismo, como es el caso de las gotas de lluvia o los riegos. Suelos con baja estabilidad de agregados tienden a formar superficies rígidas y suelos compactados, que reduce el intercambio de aire, germinación de semillas, aumenta el estrés de la planta por la baja capacidad de infiltración de agua, y son más susceptibles a patógenos (Moebius-Clune *et al.*, 2017).

Compactación

Un suelo compactado impide la infiltración de agua, e impide el crecimiento de raíces. Esto ocurre por labranzas intensivas, tránsito de automóviles pesados y continuos sobre el suelo, y una baja o nula actividad biológica.

Infiltración

El primer paso en el movimiento del agua es la infiltración, el proceso por el cual el agua se mueve hacia el interior del suelo desde la superficie. Percolación es el proceso por el cual el agua se mueve a través del suelo, lateral y verticalmente (Schaetzl *et al.*, 2005). El movimiento del agua a través del suelo es importante. La percolación del agua disuelve minerales y transporta iones, coloides y compuestos organometálicos hacia abajo del perfil del suelo (Schaetzl *et al.*, 2005).

Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica cuantifica el paso del agua a través de un suelo.

Retención de agua

Las plantas requieren que el suelo les provea nutrientes, agua y un lugar donde establecerse. Cuando el suelo está saturado en agua, la cantidad de oxígeno en las raíces disminuye. Condiciones anaeróbicas pueden ocurrir, y generar toxinas dañinas para la planta (Ashman y Puri; 2002). El agua es el agente principal en el que sólidos y iones son transportados a través del suelo. El agua es retenida en el suelo de dos formas: adsorbido (el agua es retenido en las superficies por uniones químicas o físicas) o absorbido (es tomada dentro del suelo mineral, rocas o sustancias orgánicas) (Schaetzl *et al.*, 2005). Los suelos con baja capacidad de almacenamiento de agua son más susceptibles a estreses hídricos. Esto puede mejorarse con adiciones de materia orgánica (Moebius-Clune *et al.*, 2017).

Propiedades Químicas de los suelos

La roca madre sufre alteraciones (meteorizaciones) que tiene como producto al suelo. Estas alteraciones tienen distintas causas, pero el agente principal de meteorización es el agua. El agua permite que los minerales que constituyen a la roca produzcan cambios en la composición química del suelo, a través de procesos como la lixiviación.

Color

El color es lo primero que vemos en un suelo, y se determina con la escala de Munsell.

Reacción (pH)

El pH es una medida de comparación sobre cuantos iones de hidrógeno cargados positivamente se encuentran en el suelo con respecto a cationes (calcio, magnesio, potasio, sodio y aluminio). A mayor iones de hidrógeno, menor será el pH y por lo tanto el suelo tiende a ser ácido, de forma contraria, a mayor número de cationes en el suelo, el valor del pH será mayor, y el suelo tiende a ser alcalino. La escala es de 0 a 14, el 7 corresponde a un valor neutro, pero la mayoría de los suelos se encuentran entre 4 y 9. La disponibilidad de nutrientes para las plantas depende del pH, los nutrientes más esenciales se encuentran disponibles entre 6-7 (Nauta, 2012).

Carbonatos

Los minerales son compuestos inorgánicos que tienen una composición química característica, y una formación de átomos repetida tridimensionalmente en una estructura de cristal. Los minerales pueden ser clasificados acorde a su composición química y su estructura de cristal o si son primarios (heredados del material parental sin alteración química) o secundarios (formados por meteorización química o minerales pre-existentes). Los minerales primarios

dominan en fracciones del suelo gruesos, y los secundarios en las fracciones de arcilla y limo. Es importante conocer la estructura mineral para entender la transformación mineral y el proceso de transporte de la génesis de un suelo (Schaetzl *et al.*, 2005). Los carbonatos en un suelo permiten conocer el material parental del que está formado el suelo e identificar rocas sedimentarias. Esto debido a la presencia de fracciones minerales en el suelo. Concentraciones altas de carbonatos ocurren por la evaporación del agua en el suelo, ocurre mayormente en áreas desérticas. Estos se identifican fácilmente en el suelo puesto que son efervescentes cuando reaccionan con ácidos.

Salinidad

Se refiere a la concentración de sales en un suelo. Las concentraciones altas de salinidad impiden el crecimiento de las plantas. Disminuye el potencial osmótico de las plantas al obtener agua.

Alcalinidad

Son suelos con un $\text{pH} > 9$, que impide el crecimiento de plantas, y la infiltración de agua. Normalmente los suelos alcalinos se encuentran en zonas desérticas.

Capacidad de cambio catiónico

El anión principal en el suelo es O_2^- y los cationes más comunes son Si^{4+} , Al^{3+} y Fe^{3+} . Las uniones entre estos cationes y O_2^- son predominantemente iónicos (Schaetzl *et al.*, 2005). Los coloides del suelo incluyen minerales arcillosos, óxidos hidratados de Hierro y Aluminio, materiales amorfos y humus. Estos coloides tienen una carga electrostática negativa y un área superficial. Los silicatos de arcilla se pueden dividir en: 1:1 y 2:1 minerales de arcilla. La diferencia está en que las arcillas 1:1 tienen una capa de silicato con una capa de hidróxido de aluminio, mientras que los minerales 2:1 tienen 2 capas de silicato con una capa de hidróxido de aluminio. Esto causa propiedades químicas distintas, y cargas distintas (Ashman y Puri; 2002). El catión es un ión cargado positivamente,

debido a la pérdida de electrones. Los cationes más comunes del suelo son magnesio, calcio, sodio, potasio, amonio e hidrógeno (NOM-021-RECNAT-2000). Los cationes son atraídos por los coloides de carga negativa, formando una capa de partículas cargadas positivamente. La capacidad de un suelo para almacenar nutrientes está relacionado con la cantidad y tipo de material coloidal presente (Ashman y Puri; 2002). Una característica del suelo es su capacidad de intercambio catiónico, lo cual es una medida de la capacidad de la arcilla y los coloides orgánicos para extraer iones positivos de la solución (Alexander, 1980).

Macronutrientes

La planta necesita nutrientes para poder desarrollarse, estos se dividen en macronutrientes y micronutrientes, el nombre indica la cantidad que necesita la planta para su crecimiento. Los macronutrientes del suelo son el Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S). Nitrógeno es el único nutriente que puede generarse biológicamente en los cultivos, y es el nutriente más dinámico en el suelo (Moebius-Clune *et al.*, 2017).

Micronutrientes

También llamados nutrientes secundarios (calcio, magnesio y sulfuro) y micronutrientes (hierro, manganeso, zinc, cobre, boro, molibdeno, etc.) son nutrientes esenciales para las plantas, y que necesitan en pequeñas cantidades en comparación con los macronutrientes (N, P y K). Si estos elementos son deficientes en el suelo, la productividad del cultivo disminuye junto con la calidad del cultivo. Si las concentraciones son muy elevadas, ocurre toxicidad. La disponibilidad de los micronutrientes está influenciada por el pH (Moebius-Clune *et al.*, 2017).

Materia orgánica

La materia orgánica consiste en organismos vivos y muertos, materiales en descomposición en distintas fases. La materia orgánica es de suma importancia para el funcionamiento del suelo. Permite el almacenamiento de nutrientes iónicos, y nutrientes con su estructura molecular. Es la fuente de energía para los organismos que se encuentran en el primer y segundo nivel trófico del suelo (descomponedores, mutualistas, patógenos y parásitos) (Moebius-Clune *et al.*, 2017).

El humus es materia orgánica que ha sido fraccionada por distintos microorganismos del suelo y que ya no puede ser fraccionada aún mas. En el suelo, los ácidos húmicos son importantes quelantes, significa que combinan minerales a compuestos minerales a compuestos orgánicos, haciéndolos asimilables o disponibles para las plantas (Nauta, 2012).

Propiedades Biológicas de los suelos

Constituye en gran medida la naturaleza dinámica del suelo. Un suelo saludable contiene vida; en una cucharada de suelo se pueden encontrar alrededor de un billón de bacterias, yardas de hifas de hongos, miles de protozoarios, y docenas de nematodos (Lowenfels y Lewis; 2010), la biodiversidad del suelo corresponde al 25% total del mundo (FAO, 2015). Se pueden encontrar alrededor de 20,000 a 30,000 especies distintas de organismos en una cucharada de suelo sano (Nauta, 2012).

La biota del suelo forma parte importante del ciclo de nutrientes, que se rige por la interacción de la biomasa microbiana, la cantidad de materia orgánica mineralizable y la cantidad de materia orgánica (Ashman y Puri; 2002). Tanto en los ecosistemas naturales como en los agrícolas, los organismos del suelo se encargan de desempeñar funciones vitales que interactúan directamente con los sistemas biológicos, atmosféricos e hidrológicos.

En distintos artículos se menciona la importancia de los microorganismos del suelo, Gunapala y Scow (1997) resumen lo siguiente: 1) los microorganismos fungen como reservorios importantes para el nitrógeno y fósforo (Jenkinson y Ladd, 1981; Marumoto *et al.*, 1982), 2) la actividad de los microorganismos está directamente relacionada con la cantidad y calidad de nutrientes en el suelo (Martyniuk and Wagner, 1978; Adams and Laughlin, 1981, Powlson *et al.*, 1987; Fraser *et al.*, 1988), y 3) el acceso microbiano a la materia orgánica es una limitación clave que afecta la descomposición de la materia orgánica en el suelo, afectando el ciclo y el almacenamiento de carbono (C) y Nitrógeno (N) (Bach *et al.*, 2018).

Los organismos del suelo pueden ser clasificados de distintas maneras. Una de ellas es su papel ecológico, en como obtienen energía o su relación con el oxígeno o su tamaño. La microbiota (<0.2mm) incluyen bacterias, fungi (hongos), protozoarios, nemátodos y algas; la mesobiota (0.2-10mm) incluye nemátodos,

rotíferos y larvas de insectos; y por último, la macrobiota son los organismos >10 mm, como las lombrices (Ashman y Puri; 2002).

Los microorganismos en el suelo también pueden clasificarse de acuerdo a su fuente de alimento, en algo conocido como la Red Trófica del Suelo, que consiste en una red de actividad ecológica compleja (FAO, 2015).



Figura 1. Red Trófica del suelo (FAO, 2015).

Esta red presenta distintos niveles, las plantas o la materia orgánica representan el primer nivel; en el segundo nivel se encuentran los consumidores primarios, que corresponden a organismos descomponedores, detritívoros y herbívoros, como lo son las bacterias y hongos; posteriormente se encuentran los consumidores secundarios, que concierne a organismos fungívoros y bacteriófagos; por último están los organismos carnívoros, y depredadores

superiores (Powers y Mcsorley; 2001). La red trófica del suelo es importante puesto que controla el flujo de carbono y nutrientes en el suelo, para que las plantas puedan obtener nutrientes en formas asimilables y crecer.

El importante rol que tienen los microorganismos dentro del suelo puede verse afectado por factores abióticos, bióticos, y antropocéntricos. El factor abiótico principal que afecta la actividad microbiana en el suelo es la disponibilidad de agua, temperatura, y la cantidad de recursos presentes. El nutriente limitante en los suelos son los nutrientes inorgánicos como el fósforo y el nitrógeno (Madigan, 2009). Un factor biótico importante es el tipo de vegetación que esté presente en el suelo. Las raíces son una importante zona de actividad microbiana, puesto que la humedad es menos variable, la concentración de nutrientes es elevado, y la comunidad microbiana es más diversa y abundante (Madigan; 2009), debido a la existencia de ciertas relaciones simbióticas entre plantas y microorganismos. El factor antropocéntrico que afecta esta actividad microbiana en el suelo, es el arado o el disturbio constante e intensivo (Gunapala y K.M. Scow; 1997), la aplicación de agroquímicos, y la colocación de superficies artificiales en el suelo (FAO, 2015).

Los microorganismos son sensibles a cambios en las prácticas agrícolas (Gunapala y K.M. Scow; 1997), que por ello los hace buenos indicadores para conocer el impacto que tiene un producto en el medio ambiente. Además, debido a su importancia, es un requisito en las certificaciones de productos agrícolas orgánicos, respetar la comunidad microbiana en el suelo, y fomentar su crecimiento y actividad en los suelos agrícolas, evitando el uso de agroquímicos.

Bacterias

Las bacterias son microorganismos procariontes, se pueden clasificar de acuerdo a su morfología en cocos, bacilos, espirilos, espiroquetas, gemantes y con apéndices, y por último, filamentosos. Presentan tamaños que van desde $0,2\mu\text{m}$ a más de $700\mu\text{m}$ de diámetro (Madigan, 2009). Su reproducción es por división celular (Lowenfels y Lewis; 2010). Son los microorganismos que aparecen primero en la descomposición de la materia orgánica del suelo. Junto con los hongos, las bacterias descomponen y degradan la materia orgánica en partículas más pequeñas, ambos producen enzimas degradadoras de celulosa, permitiendo la disponibilidad de compuestos más simples (amino ácidos o azúcares) para otros microorganismos (Moebius-Clune *et al.*, 2017). Se alimentan a través de sus paredes celulares, que están compuestas por proteínas que asisten el transporte molecular activo. Los exudados producidos por las raíces son alimento de una gran diversidad de bacterias, que da por resultado que las poblaciones de bacterias se concentren en la rizosfera (Lowenfels y Lewis; 2010).

Las bacterias dentro de la Red Trófica del Suelo, juegan un papel importante en el reciclaje de tres elementos básicos para la vida: Carbono, Azufre, y Nitrógeno. Por ejemplo, CO_2 es el producto del metabolismo de la gran mayoría de bacterias aerobias; el carbono perteneciente a plantas y a animales es reciclado en CO_2 gaseoso durante el decaimiento y descomposición de los mismos, y la fotosíntesis de plantas superiores convierte el CO_2 en compuestos orgánicos, que eventualmente serán consumidos y reciclados nuevamente en formas asimilables para las bacterias (Lowenfels y Lewis; 2010). De forma similar ocurre el reciclaje del azufre; las bacterias quimiolitótrofas son las encargadas de producir sulfatos solubles en agua que puedan ser asimilables para las plantas (Lowen y Lewis; 2010). El ciclo del nitrógeno, propulsado en parte por bacterias, es uno de los sistemas más importantes para el mantenimiento de la vida terrestre, permitiendo la producción de compuestos orgánicos vitales, amino ácidos y ácidos nucleicos. Las bacterias permiten la fijación de nitrógeno atmosférico (N_2) en el suelo,

produciendo amonio (NH_4^+), nitratos (NO_3^-) o nitritos (NO_2^-) (Lowenfels y Lewis; 2010).

Las bacterias llevan a cabo estos procesos en el suelo, formando relaciones simbióticas con ciertas plantas o relaciones simbióticas existentes. Otra parte del ciclo del nitrógeno, inicia desde el suelo, en el que está involucrada la descomposición de proteínas a amonio (NH_4^+). Este amonio es parte del producto de desecho de protozoarios y nematodos que liberan después de haber consumido bacterias y hongos. Posteriormente, bacterias nitrificadoras convierten el amonio en nitritos (NO_2^-), y otro grupo secundario de bacterias convierte el nitrito en nitratos (NO_3^-) (Lowenfels y Lewis; 2010). Por último, dado que las bacterias están unidas al suelo, juegan un papel importante en el almacenamiento de nutrientes en el suelo, que pudieran desaparecer por lixiviación. Son el eslabón base para la Red Trófica del Suelo, pues son el alimento para otros organismos como protozoarios, que liberan amonio como desecho de su metabolismo tras alimentarse de bacterias (Lowenfels y Lewis; 2010).

Hongos

Los hongos son quimiorganótrofos, tienen necesidades nutricionales sencillas y son aerobios. Se alimentan mediante la secreción de enzimas extracelulares que digieren compuestos orgánicos complejos, como polisacáridos o proteínas, en sus monómeros constituyentes, como azúcares, péptidos, aminoácidos y demás. La mayoría de los hongos son multicelulares y forman un entramado de filamentos denominados hifas. Las hifas habitualmente crecen juntas sobre una superficie y forman ovillos compactos, denominados micelio. Los hongos forman hifas aéreas sobre el tapete micelial, y sobre estas se forman esporas denominadas conidios. Los conidios sirven para dispersar al hongo hacia nuevos hábitats (Madigan, 2009).

Existe una gran diversidad de hongos que habitan en el suelo. Algunos resultan patógenos para las plantas, y están presentes en condiciones de alta humedad; otras especies de hongos son benéficos para las plantas, formando una relación simbiótica con las raíces. Se identifican como descomponedores de materia orgánica, siendo un eslabón importante en la cadena trófica del suelo, y el ciclo de carbono. Por último, liberan nutrientes iónicos que pueden ser absorbidos por la planta (Moebius-Clune *et al.*, 2017).

Los hongos constituyen la proporción mas elevada de la biomasa microbiana del suelo. La mayor parte de los diferentes tipos de hongos se encuentra en el suelo, principalmente como organismos autóctonos y a veces de formas alóctonas. Es muy difícil el cultivo e identificación de algunos hongos del suelo. La mayoría de los hongos del suelo son oportunistas (zimógenos). Entre los numerosos hongos que se encuentran en letargo en el suelo como estructuras especializadas hay esporangiosporas, conidios, oosporas, ascosporas, basidiosporas, clamidosporas y esclerocios. Los micelios fúngicos también pueden estar metabólicamente inactivos en el suelo (Atlas y Bartha ; 2002).

Los hongos se alimentan de compuestos complejos, de los que pueden alimentarse gracias a una enzima que producen denominada fenol oxidasa, esta enzima es tan fuerte que puede disolver lignina (Lowenfels y Lewis; 2010). Como el resto de los organismos del suelo, cuando muere un hongo los nutrientes contenidos en su cuerpo se vuelven asimilables para otros miembros de la Red Trófica del Suelo; a su vez, las hifas de los hongos se convierten en túneles microscópicos, de alrededor 10 micrómetros, permitiendo el flujo de aire y agua, y siendo el refugio para algunas bacterias contra sus depredadores (Lowenfels y Lewis; 2010).

Los hongos forman parte de los consumidores primarios y agentes principales de la descomposición de materia orgánica; sus enzimas les permiten no solo penetrar en la lignina y la celulosa de las plantas (vivas o muertas), pero también en los caparazones de insectos formados de quitina, y en los huesos de animales (Lowenfels y Lewis; 2010).

Algunos hongos intercambian nutrientes por los exudados de plantas, y estos nutrientes son liberados como producto de desecho por parte del metabolismo de los hongos, o cuando estos mueren. Las plantas pueden tomar nitrógeno en forma de amonio (NH_4^+) o como nitratos (NO_3^-). El nitrógeno liberado por los hongos es en forma de amonio (Lowenfels y Lewis; 2010).

Los hongos en el suelo pueden formar relaciones simbióticas con otros organismos. Tal es el caso de las micorrizas, asociación simbiótica que existe entre las raíces de las plantas y ciertos hongos. El hongo obtiene los exudados de las raíces de la planta, y este le brinda agua y nutrientes de regreso a la planta, convirtiéndose en una relación vital para ambos; al menos 90% de las plantas necesitan de esta relación, de lo contrario no obtendrían nutrientes y agua en los niveles necesarios (Lowenfels y Lewis; 2010).

Nematodos

Son microorganismos multicelulares que habitan en el suelo, son los mayores consumidores de la Red Trófica del Suelo; los nematodos son considerablemente más largos que los protozoarios, con un largo promedio de 2 milímetros y 50 micrómetros de diámetro (Lowenfels & Lewis; 2010). Existen diversos gremios de nematodos; se clasifican de acuerdo a su alimento, que pueden ser bacterias, hongos, protozoarios, e incluso de otros nematodos, y también se agrupan según su respuesta a las perturbaciones del ambiente y a su recuperación. Se distinguen sus preferencias alimenticias de acuerdo al aparato bucal que presentan (H. Ferris *et al.*, 2004). Actúan como depredadores dentro de la Red Trófica del Suelo, y son el alimento para algunos protozoarios, hongos, e incluso nematodos carnívoros; todos los nematodos tienen un tracto alimenticio que inicia desde la boca hasta el ano, el cual está localizado al final de su cola. La piel de los nematodos está constituida de cutícula, que protege al animal de ataques físicos o químicos, y le provee una estructura de soporte ligera (Lowenfels y Lewis; 2010).

Esta diversidad de nematodos se considera un buen indicador para representar la diversidad biológica y funcional del suelo (Moebius-Clune *et al.*, 2017). Basado en su abundancia y en sus ciclos de crecimiento, los nematodos del suelo pueden llegar a aportar el 25% del nitrógeno mineralizado en el suelo (Ferris *et al.*, 2012). Los nematodos bacteriófagos y los que se alimentan de hongos, son los que aportan en mayor medida, Nitrógeno mineralizado en el suelo (Ferris *et al.*, 2004). Son las huellas metabólicas de los nematodos, y la diversidad de especies que comprende cada gremio, lo que provee una evaluación cuantitativa de la magnitud de sus funciones en el ecosistema (Ferris *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2017).

Protozoos

Los protistas o protozoos, son eucariotas unicelulares, sin pared celular, móviles, no pigmentados; existen excepciones, por ejemplo, muchos son fotótrofos y por tanto pigmentados, y algunos sí tienen pared celular. Exhiben un amplio rango de morfologías y viven en muchos tipos de hábitats diferentes (Madigan; 2009). Son a su vez mixotrofos (capaces de obtener su energía metabólica tanto de la fotosíntesis como de seres vivos, pueden apropiarse de compuestos simples de manera osmótica o englobando partículas) (Geisen *et al.*, 2017). Los protistas del suelo, han recibido relativamente menos atención que los otros microorganismos del suelo, debido a los retos metodológicos para su estudio, en especial el aislamiento de estos organismos (Geisen *et al.*, 2017). En el suelo, los protistas se alimentan de materia orgánica, bacterias, algas y cianobacterias. Son organismos móviles, y en el suelo se identifican ciliados, flagelados y amebas (Moebius-Clune *et al.*, 2017). Estos realizan una aportación importante a la producción primaria (Jassey *et al.*, 2015; Schmidt *et al.*, 2016; Geisen *et al.*, 2017) y toman un rol importante en las distintas vías de descomposición de la materia orgánica, como consumidores de los distintos microorganismos; algunos son de igual forma, parásitos de plantas y animales (Geisen *et al.*, 2017). Como depredadores, los protistas transfieren nutrientes a niveles tróficos más altos en la red trófica del suelo (de Ruiter *et al.*, 1995; Crotty *et al.*, 2012; Geisen, 2016; Geisen *et al.*, 2017).

Los protozoarios forman parte de los consumidores secundarios, alimentándose de bacterias y hongos, e incluso algunos protozoarios pueden atacar nematodos; un protozario promedio puede alimentarse de 10,000 bacterias por día, controlando la población de bacterias en el suelo y de nematodos (Lowenfels y Lewis; 2010). Otro rol importante de estos microorganismos en la Red Trófica del suelo son sus productos de desecho de sus metabolismos, participando en la mineralización de nutrientes en el suelo (Lowenfels y Lewis; 2010).

Actinobacterias

Son una de las mayores comunidades de microorganismos en el suelo, son procariontes Gram Positivos, y su presencia es influenciada por condiciones ambientales como humedad, temperatura, pH y vegetación (Basilio *et al.*, 2003). Su importancia en el suelo, radica en que juegan un rol importante en el ciclo de materia orgánica, inhiben el crecimiento de bastantes patógenos para las plantas en la rizósfera, y son capaces de descomponer compuestos complejos de desechos vegetales (Bhatti *et al.*, 2017). Las actinobacterias son alóctonos del suelo. Son relativamente resistentes a la sequía en los suelos de los desiertos. Viven en pH alcalino o neutro y son sensibles a valores de pH ácido (Atlas y Bartha; 2002). Son microorganismos de importancia económica (Basilio *et al.*, 2003), sus metabolitos secundarios tienen valor médico como antibióticos, anti fúngicos, anti protozoa, antivirales, anti colesterol, anti cáncer, anti invasor e inmunosupresor (Bhatti *et al.*, 2017).

Oomicetes

Son un grupo de microorganismos eucariotes, pseudohongos, que incluyen algunos de los patógenos más devastadores. Entre las características que distinguen a los oomicetes de los hongos, los septos cenocíticos, los núcleos de las células vegetativas son diploides. La pared celular se compone de β -1,3 y β -1,6 glucanos y no de quitina. Una de las características más distintivas es la producción de zoosporas en esporangios (Fry y Grünwald; 2010).

Calidad de suelos agrícolas

La calidad del suelo, es la capacidad continua de un suelo para funcionar dentro de los límites naturales y antrópicos del ecosistema, sustentar su productividad vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad del agua y el aire, y soportar la habitabilidad y salud del hombre (De la Rosa, 2008). A su vez, contempla rasgos fijos e inherentes de los suelos (propiedades físicas), y atributos cambiantes y dinámicos (propiedades químicas y biológicas).

Un suelo saludable contiene una gran diversidad de organismos y microorganismos. Posee una pequeña cantidad de microorganismos patógenos, una población grande de organismos benéficos, baja presión de malezas, es libre de químicos y toxinas, resiste a la degradación, y posee una capacidad de recuperación ante eventos desfavorables (Moebius-Clune *et al.*, 2017).

En la mayoría de los sistemas de países en desarrollo, el nitrógeno y otros nutrientes para las plantas, son implementados como un fertilizante mineral antes de la temporada de crecimiento. Dado que las necesidades nutrimentales del cultivo necesitan ser cubiertas durante toda la temporada, la cantidad de fertilizante mineral aplicado excede, en la mayoría de las ocasiones, los requerimientos nutricionales de la planta. Este exceso de nitrógeno tiene diversos efectos negativos en las plantas y en los organismos del suelo, o es desaprovechado a través de lixiviación y de nitrificación (Ferris *et al.*, 2004).

Los sistemas agrícolas y las prácticas agroecológicas que prestan gran atención a nutrir la biodiversidad del suelo (agricultura orgánica, labranza cero, rotación de cultivos y agricultura de conservación), pueden aumentar la productividad agrícola sin degradar los recursos hídricos y del suelo (FAO, 2015).

La viticultura es un sistema de producción agrícola antiguo, que son manejados frecuentemente con labranzas intensivas, y tratamientos de agroquímicos severos.

Manejo agrícola

Corresponden a los métodos de labranza, riego, siembra, podas, control de plagas, y enmiendas o abonos orgánicos. La producción agrícola depende de la disponibilidad y el manejo de los recursos. La sustentabilidad está relacionada con el espacio y tiempo con la que se manejan los recursos, en relación a su disponibilidad. El tiempo en el que los recursos son disponibles nuevamente, y un manejo que respete las tasas de recarga de los mismos, sosteniendo una producción rentable. La biodiversidad en los sistemas agrícolas es aquella que el productor desea, animales y cultivos; pero existe también la biodiversidad inherente al sistema, y la mayoría de esta biodiversidad reside en el suelo (Brussaard *et al.*, 2007).

Manejo agrícola convencional

La agricultura convencional es practicada por 2700 millones de personas en los países en desarrollo. Emplea grandes cantidades de energía combustible fósil no renovable, agua, fertilizantes comerciales y pesticidas, y que además resulta ser una agricultura intensiva y de monocultivos (Miller, 2007). Como abonos orgánicos utiliza agroquímicos. Los plaguicidas son productos agroquímicos diseñados para combatir las diversas plagas que atacan los cultivos agrícolas y las hortalizas. Se clasifican en tres grandes grupos principales: insecticidas, fungicidas y herbicidas. También se pueden dividir en dos grandes grupos: los plaguicidas de contacto o no sistemáticos, y los plaguicidas sistemáticos (Cremlyn, 1985).

Manejo agrícola orgánico

La agricultura orgánica, de acuerdo con la FAO, es un sistema holístico de gestión de la producción, que fomenta y mejora la salud del agro-ecosistema y, en particular, la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo, preferido al uso de insumos sintéticos. Se conceptualiza también como la aproximación a la agricultura enfocada en la protección ambiental, bienestar animal, alimento de calidad, salud, uso sostenible de recursos y justicia social, con el objetivo de cubrir las externalidades (Díaz-Maroto, 2014). Se maneja como aquella que no utiliza labranzas de alto impacto, no utiliza agroquímicos y emplea métodos alternativos para aportar nutrientes al suelo, promueve la diversidad y actividad biológica del suelo, y minimiza el uso de recursos no renovables.

Justificación

La degradación del suelo reduce su salud y calidad, teniendo como resultado suelos compactados, duros y con bajas concentraciones de materia orgánica, un aumento de enfermedades, malezas, y una baja actividad y diversidad de organismos benéficos (Moebius-Clune *et al.*, 2017). La agricultura convencional es una de la causas de esta erosión. No es sustentable, tiene efectos dañinos significativos sobre el aire, agua, suelo y biodiversidad (Miller, 2007). Depende de combustibles fósiles no renovables, incluye muy poco reciclaje de los desechos de cosechas y animales, acelera la erosión del suelo, no preserva la agrobiodiversidad y puede alterar las interacciones naturales de las especies que ayudan a controlar el tamaño de las poblaciones en plagas (Powers y Mcsorley; 2001).

Protección y conservación de la biodiversidad del suelo es crucial para tener agroecosistemas balanceados (Corneo, 2013), y por ende tiene implicaciones económicas y ecológicas importantes (Gardi *et al.*, 2009). Los viñedos son agroecosistemas económicamente relevantes, y la Red Trófica del suelo ha sido poco estudiada en ellos (Steenwerth *et al.*, 2008; Castro *et al.*, 2010; Corneo, 2013). El mantenimiento de la calidad del suelo es la base para la productividad agrícola, por lo que las investigaciones del entendimiento de los componentes de un suelo de calidad son de alta importancia.

Evaluar la calidad del suelo en Valle de Guadalupe siendo una zona de alto valor económico en el estado, con indicadores químicos, físicos y biológicos, nos permite dar inicio a planes de manejo que conserven la calidad de nuestros suelos, y conserven la diversidad biológica y microbiológica; a su vez, la comparación de la aplicación de distintos abonos y sus efectos en la Red Trófica del Suelo es importante, puesto que permiten el desarrollo de productos mexicanos responsables que promuevan el cuidado del suelo y la salud medioambiental.

Hipótesis

La abundancia de microorganismos será mayor en la parcela de experimentación en donde se aplique Té de composta y Fertilizante orgánico.

Objetivos

Objetivo General

Comparar y analizar la respuesta de la estructura y crecimiento de microorganismos del suelo, ante distintas aplicaciones de tratamientos que tienen como función aumentar la productividad en cultivo de vid. Reportando en esta tesis la etapa que corresponden a Dormancia-2018.

Objetivos específicos

- A. Interpretar los resultados de los parámetros de los análisis físicos y químicos del suelo en la parcela experimental.
- B. Comparar el crecimiento de microorganismos en el suelo ante las distintas aplicaciones de abonos.

Área de estudio y Metodología

Antecedentes

El Valle de Guadalupe está situado a 25 kilómetros al norte de la ciudad de Ensenada, en el estado de Baja California, a 85 kilómetros al sur de la ciudad de Tecate y a 15 kilómetros del Océano Pacífico aproximadamente, y colindada de forma vecina con las ciudades de Rosarito y Tijuana (Figura 1). En este valle se asientan los poblados Francisco Zarco, El Porvenir, El Tigre y San Antonio de las Minas (Meraz *et al.*, 2012).

Este valle es importante, pues es el productor número uno de vino en el país. Es la actividad viticultura lo que atrae a un gran número de turistas en el transcurso del año, fortaleciendo económicamente a las pequeñas y medianas empresas (González-Andrade, 2015).

En el año 2013 se ocupó una superficie sembrada de 3 735.38 hectáreas y la cosechada fue de 2918 ha. En ese año se obtuvo una productividad media de 5.49 toneladas por hectárea y un valor de producción de 133 610 000 pesos. La producción primaria la realizan un gran numero de productores, de los cuales 14 tienen un área de cultivo de 50 o más hectáreas, participan con 1 250.85 ha de cultivo (46%); 22 productores pequeños y medianos tienen entre 20 y 49 ha y significan 696.04 ha (28%); y 132 productores tienen entre 1 y 19 ha y contribuyen con 741.62 ha (26%) (González-Andrade, 2015).

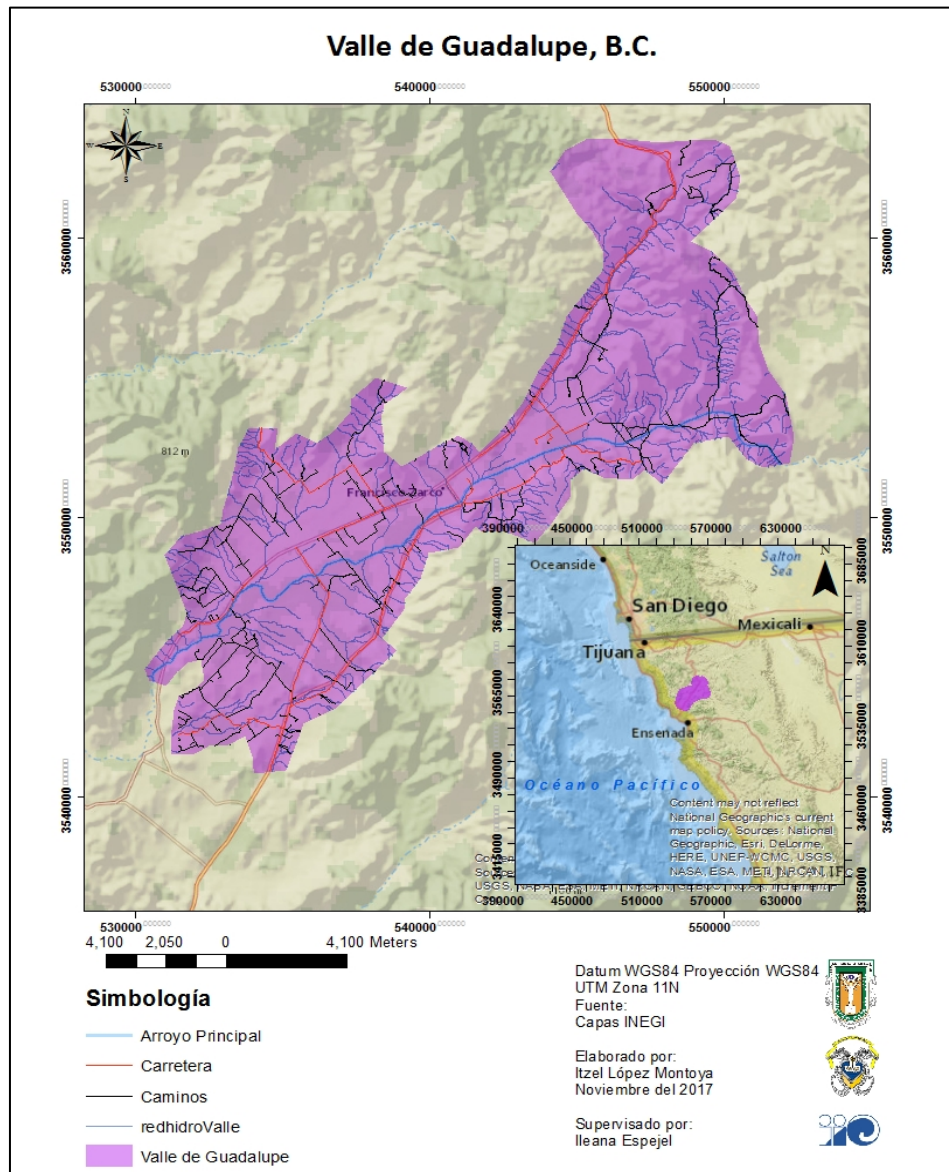


Figura 2. Valle de Guadalupe, Baja California, México.

Área de muestreo

Finca la Carrodilla

Finca la Carrodilla cuenta con una certificación orgánica desde el 2013. Está ubicada en el Ejido El Porvenir, Valle de Guadalupe, Baja California. Es el único viñedo que cuenta con certificación orgánica en Valle de Guadalupe.

Muestreo de suelo en viñedos

Se evaluó la calidad del suelo durante 6 meses en el viñedo Finca La Carrodilla ubicado en Valle de Guadalupe. Se evaluó la respuesta de los microorganismos del suelo ante la aplicación de los distintos tratamientos, a través de la obtención de muestras en distintas ocasiones. El muestreo se inició en Febrero, durante la etapa de Dormancia de la Vid.

Se dividió una parcela donde se tiene cultivado el varietal Chardonnay en cuatro cuadrantes. A cada cuadrante se le aplicó un tratamiento distinto (Tabla 1 y Figura 2). Se utilizó té de composta que fue elaborado dentro de Finca la Carrodilla; que se elabora a partir de la colocación de composta en una bolsa porosa en un tanque burbujeante por días, obteniendo de esta forma un extracto de microorganismos benéficos y aerobios (Nauta; 2012). El Fertilizante orgánico aplicado es a base de pescado y cuenta con una certificación OMRI (certificación de Estados Unidos de América de productos orgánicos); fue donado por parte de la empresa Mar y Tierra Fertilizantes Orgánicos S.A. de C.V., una empresa binacional (mexicana y estadounidense) que decidió donar el producto para probar el efecto que tiene en la Red Trófica del Suelo.

Tabla I. Tipo de tratamiento aplicado por cuadrante.

No. De Cuadrante	Tipo de tratamiento aplicado
1	Inoculación biológica (Té de composta)
2	Inoculación biológica + Fertilizante de pescado
3	Fertilizante de pescado (5-7-1* Por parte de la empresa Mar y Tierra)
4	Control (ningún tratamiento aplicado)

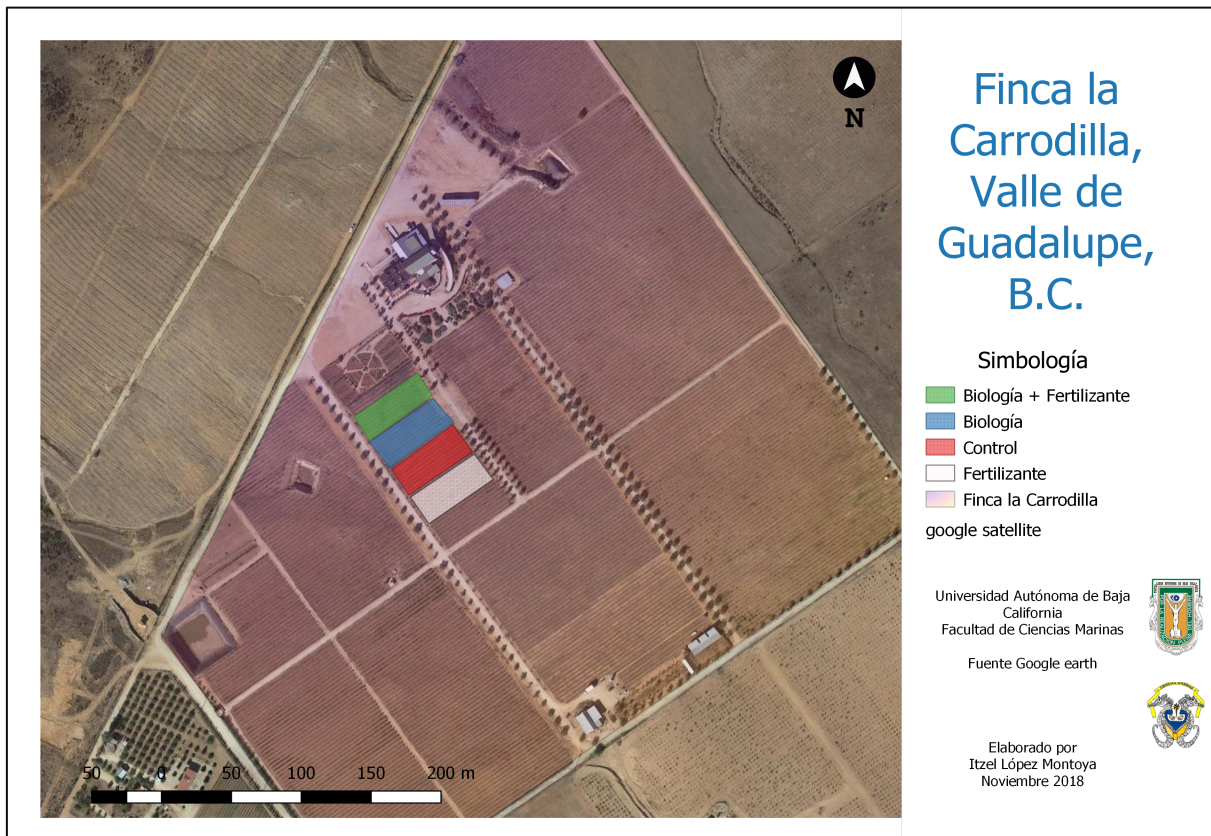


Figura 3. Finca la Carrodilla, Valla de Guadalupe, B.C. México. Distribución espacial de la aplicación de distintos tratamientos en Chardonnay. Se aplicó té de composta y fertilizante orgánico proporcionado por la compañía Mar y Tierra Fertilizantes Orgánicos, S.A. de C.V. La parcela experimental se dividió en 4 cuadrantes: Al primer cuadrante se le aplicó té de composta y fertilizante, y se denominó “Biología + Fertilizante”; el segundo “Biología” donde se aplicó solamente té de composta; posteriormente “Control” donde no se aplicó ningún tratamiento; y por último “Fertilizante”, donde se aplicó únicamente el fertilizante orgánico.

Recolección de muestras

Las muestras se colocaron en bolsas herméticas. Se analizaron el mismo día de la colecta a través de una observación directa de microscopio, y se realizaron los cultivos microbiológicos correspondientes. La realización de medios de cultivo, y conteo de Unidades Formadoras de Colonias (UFC), sólo se realizó en una ocasión, durante la etapa de Dormancia 2018. Las observaciones directas de microscopio se realizaron durante la etapa de Dormancia 2018, y en distintas ocasiones como seguimientos (Tabla 2).

Tabla II. Fechas de análisis de crecimiento microbiano en las parcelas de experimentación, a través de observación directa de microscopio.

Nombre de muestreo	Fecha de observación directa
Dormancia 2018	24 de Febrero del 2018
Seguimiento #1	20 de Marzo del 2018
Seguimiento #2	4 de Mayo del 2018
Seguimiento #3	4 de Junio del 2018

Transporte y Pre tratamiento de muestras

Colecta de muestras para caracterización física y química de suelos.

Se recolectó una muestra compuesta por 15 submuestras aleatorias (se mezclaron las 15 submuestras para dar origen a la muestra compuesta) antes de comenzar el experimento. Cada submuestra se tomó a 30 cm de profundidad. Teniendo como resultado cuatro muestras compuestas por cuadrante para la Dormancia del 2018. Se tomaron a la par, tres muestras sencillas de cada parcela para verificar que los resultados obtenidos en el laboratorio fueran de calidad (Tabla 3 y Anexos).

Colecta de muestras para análisis biológicos.

Por cada etapa de muestreo, y por cada cuadrante dentro de la parcela experimental, se recolectó una muestra compuesta. Cada muestra estaba compuesta por distinto número de submuestra, dependiendo del análisis requerido (Tabla 3). Para los parámetros físicos y químicos, se recolectó una muestra compuesta por 15 submuestras para cada cuadrante. Para los parámetros biológicos, se recolectó una muestra compuesta de tres submuestras.

Tabla III. . Resumen de la toma de muestras por cuadrante. “MC”= Muestra Compuesta, “G-MC”= gramos por Muestra compuesta, “#Sb”= Número de submuestras que forman 1 muestra compuesta, “C.D.”=Control de calidad de datos, “P”= Profundidad de la que se tomarán las muestras.

Análisis		MC	g-MC	#Sb	C.D.	P
Parámetros físicos (textura, color)		1	1Kg	15	Se obtuvieron 3 muestras sencillas de cada cuadrante para comprobar calidad de datos (ver Anexos)	30 cm
Parámetros químicos						
Parámetros biológicos	Cuantificación directa de microscopio (Bacterias, hongos, nematodos, y protozoarios)	1	1Kg	3	Se realizó un duplicado de las diluciones a utilizar en medios de cultivo. (Seiter et al, 1998)	30 cm
	UFC microorganismos (Bacterias aerobias heterótrofas, anaerobias y hongos)				3 Repeticiones de observaciones por muestra.	

III.4 Metodologías de parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo.

Tabla IV. Metodología para cada parámetro y variable realizado. Los parámetros físicos y químicos se mandaron a analizar en un laboratorio especializado Quimical, S.A. de C.V.

Variables	Determinación
Parámetros físicos	
Textura	Analizados en un laboratorio especializado
Parámetros químicos	
Color	Munsell Soil Color charts.
Análisis de Fertilidad (Macronutrientes)	Analizados con un laboratorio especializado
Análisis de nutrientes menores (Micronutrientes)	
Parámetros biológicos	
Biomasa Oomycetes	Observación directa en microscopio.
Biomasa Nematodos	Observación directa a través de microscopio.
Biomasa Hongos	Medio de cultivo: PDA, y observación directa a través de microscopio. Se realizarán 3 diluciones para la inoculación de cada muestra, y se realizó un duplicado de la serie de diluciones. La preparación de los medios de cultivo se realizará una semana antes para comprobar esterilidad. Se agregó un antibiótico para controlar contaminaciones.
Biomasa Bacterias aerobias heterótrofas	Medio de cultivo: Agar en cuenta placa, y observación directa a través de microscopio. Se realizarán 3 diluciones para la inoculación de cada muestra, y se realizó un duplicado de la serie de diluciones. La preparación de los medios de cultivo se realizará una semana antes para comprobar esterilidad. Se agregó un anti fúngico para controlar contaminaciones.
Biomasa Protozoarios	Observación directa en microscopio.
Biomasa Actinobacterias	Observación directa en microscopio.

Resultados

Resultados de parámetros físicos y químicos

La parcela experimental no era homogénea, en cada uno de los cuadrantes en los que se dividió para la aplicación de los tratamientos, se encontraron distintos valores en los análisis químicos y físicos realizados. Los resultados demuestran que el suelo estudiado se encuentra en buen estado, sus valores de macro y micro nutrientes se encuentran dentro del rango de valores deseados, o con valores un poco bajos de los mínimos establecidos.

De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de las muestras que se mandaron a analizar al laboratorio especializado, el suelo de la parcela experimental es un suelo franco arenoso. Cada uno de los cuadrantes dentro de la parcela experimental tiene un valor de pH dentro de los valores considerados como óptimos por el laboratorio especializado y por Mar y Tierra Fertilizantes Orgánicos S.A. de S.V (Tabla V). Con respecto a la salinidad, se encontró que la parcela presentaba ligera salinidad, en especial el cuadrante “Biología + Fertilizante”, con un valor de Cloruro de Sodio de 1050 ppm. Esto es importante, puesto que el sodio influye en la capacidad de las plantas para la adsorción de nutrientes (González *et al.*, 2002) y por ende, el efecto que tengan los microorganismos del suelo en la nutrición y salud vegetal (Tabla V).

Para todos los cuadrantes se encontraron valores bajos de materia orgánica (Tabla V). El cuadrante de “Biología + Fertilizante” presentó valores de Nitrógeno bajos (Tabla V). Es importante recalcar que solo se había realizado una aplicación de los tratamientos antes de realizar el muestreo para los análisis físicos y químicos.

Los valores de fósforo y potasio en la parcela de “Biología” son bastante bajos en comparación con las otras parcelas (Tabla V). En cuanto a micronutrientes, la relación de calcio y magnesio fue alta en la parcela de “Fertilizante” y en “Control”. La concentración de Cobre y Zinc son relativamente altos en comparación con los rangos deseados establecidos por la compañía de fertilizantes Mar y Tierra, quien fue quien donó el fertilizante a probar para la investigación.

Tabla V. Resultados de parámetros físicos y químicos por cada cuadrante antes del inicio del experimento con Fertilizante y té de composta en Febrero del 2018. Se presentan los rangos deseables para cada parcela.

Variables	Resultados obtenidos de laboratorio especializado.				RANGOS DESEABLES	
	Cuadrante por tipo de tratamiento				Laboratorio especializado	Mar y Tierra Fertilizantes orgánicos S.A. De C.V.
	Biología	Fertilizante	Biología + Fertilizante	Control		
pH	6.8	6.2	7.5	6.1	6 a 7.5	5.5 a 6.5
CE mS/cm 25°C	1.7	1.4	2.1	1.4	1 a 4.1	1.5 a 2.5 máximo
RAS	2.7	2.6	3.9	2.7	0 a 5	<6 (12 máximo)
PSI	12	14	18	15	< 15	-
Na me/100 gr	0.9	0.77	1.2	0.74	< 1	-
SAL (NaCl) ppm	790	670	1050	650	< 2,260	960 a 1600 máximo
MO%	2.25	2.1	1.58	2.03	> 5%	-
CIC me/100 gr	7.4	5.6	6.8	5	-	-
Arena %	60	57	60	57	-	-
Limo%	33	30	33	33	-	-
Arcilla%	7	13	7	10	-	-
N	10.7	9.3	3.5	14.8	-	-
P2O5	33.4	124.1	79.6	109.6	-	-
K2O	341	532.2	517.2	550.4	-	-
Ca	2168.71	1758.07	1770.9	1565.58	-	-
Mg	313.53	85.67	278.9	49.22	-	-
SO4	48.4	61.6	278.9	66	-	-
R: Ca/Mg	4	12	3	19	4 a 7	1.3 a 2.5
R: Mg/K	3	0.6	2	0.3	2 a 4	0.2 a 0.4
Na%	12	13	17	14	< 2 %	-
Ca%	64	69	59	66	65 a 70%	-
Mg%	14	5	12	3	12 a 15 %	0
K%	4.5	9	7	10	4.5 a 7%	-
Cloro (me/L)	11.9	10.1	15.8	9.8	-	< 25
Hierro (mg/L)	2.094	1.44	1.252	1.395	-	> 5.0
Cobre (mg/L)	0.037	0.066	0.03	0.047	-	> 0.2
Manganeso (mg/L)	23.12	1.926	19.87	1.782	-	> 1.0
Zinc (mg/L)	0.8	0.82	0.54	0.56	-	> 1.0

Resultados de parámetros biológicos

Medios de cultivo (UFC) – Etapa de Dormancia 2018

En la determinación de las Unidades Formadoras de Colonias para las muestras ambientales del suelo de la parcela experimental, se encontró baja presencia de bacterias aerobias heterótrofas y no se contaron Unidades Formadoras de Colonias dentro del rango, en ninguna caja Petri en Agar Papa-Dextrosa, por lo que se entiende que no hay presencia de hongos en ningún cuadrante (Tabla VI). Cabe agregar, que el crecimiento bacteriano en todos los tratamientos fue tan bajo, que no se estableció ninguna comparación significativa en cuanto a los crecimientos en los distintos cuadrantes (Tabla VI). Por último, los valores de varianza registrados fueron altos (2.8×10^{11} , 98×10^8 y 39.2×10^9), por lo que es necesario realizar mayor número de réplicas o realizar un método con mayor precisión.

Analizando los resultados obtenidos en cada tratamiento tenemos que el cuadrante “Biología + Fertilizante” presentó un número muy alto de UFC y resulta una anomalía; pudiera ser el resultado de haber inoculado una dilución hecha no adecuadamente (Figura 3); mientras que el tratamiento que presenta el segundo crecimiento más alto fue el tratamiento de “Biología”, seguido del tratamiento con “Fertilizante orgánico” y por último el “Control” (Figura 3). Por otra parte, si se analizan los promedios de las UFC obtenidas de las muestras de cada cuadrante, se puede observar que el tratamiento con mayor crecimiento fue el de “Biología”. Esto tiene sentido, dado que a este cuadrante se le aplicó té de composta, y por ende, una carga importante de bacterias (Figura 3).

Tabla VI. Resultados obtenidos en los medios de cultivo para la etapa de Dormancia 2018.. “N/A”= No aplica, no hubo crecimiento.

Medio de cultivo	Tratamiento	UFC (Réplica #1)	UFC (Réplica #2)	Promedio	VAR	DESV
Agar cuenta placa (Bacterias aerobias heterótrofas)	Biología + Fertilizante	9.60E+05	5.20E+06	3.08E+06	8.99E+12	3.00E+06
	Fertilizante	5.60E+05	7.00E+05	6.30E+05	9.80E+09	9.90E+04
	Biología	6.80E+05	9.60E+05	8.20E+05	3.92E+10	1.98E+05
	Control	4.50E+05	N/A	4.50E+05	N/A	N/A
Agar Papa-Dextrosa (Hongos)	Biología + Fertilizante	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Fertilizante	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Biología	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Control	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

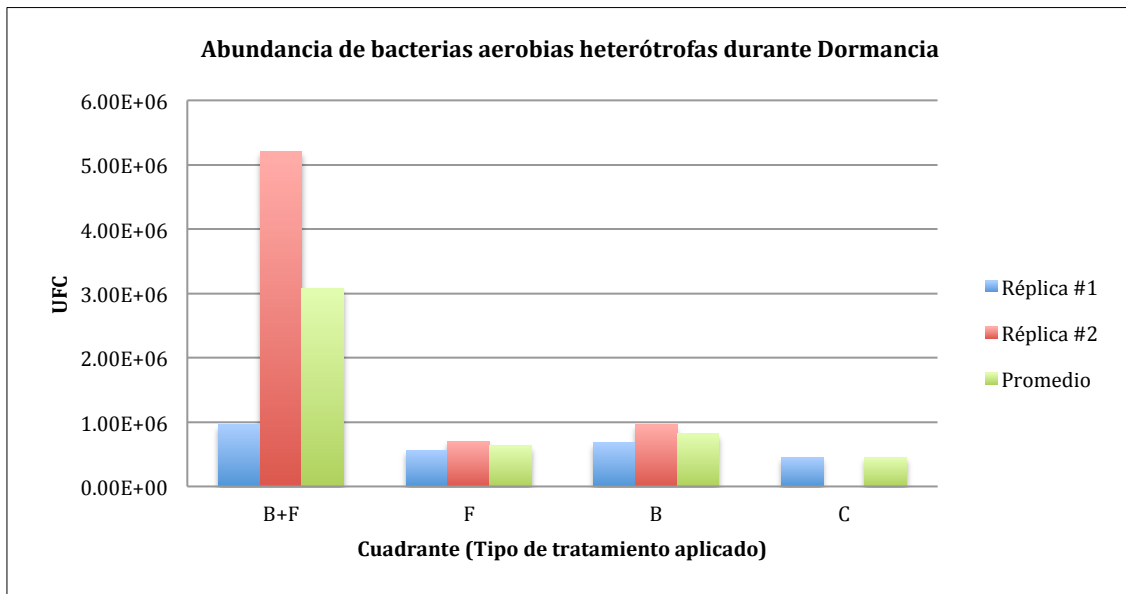


Figura 4. UFC por tratamiento en la etapa de Dormancia 2018.; “B+F”= Biología + Fertilizante, “F”= Fertilizante, “B”= Biología, “C”=Control.

Observaciones directas al microscopio

Al analizar las muestras bajo microscopio se encontraron distintas concentraciones de microorganismos en las distintas etapas de evaluaciones realizadas.

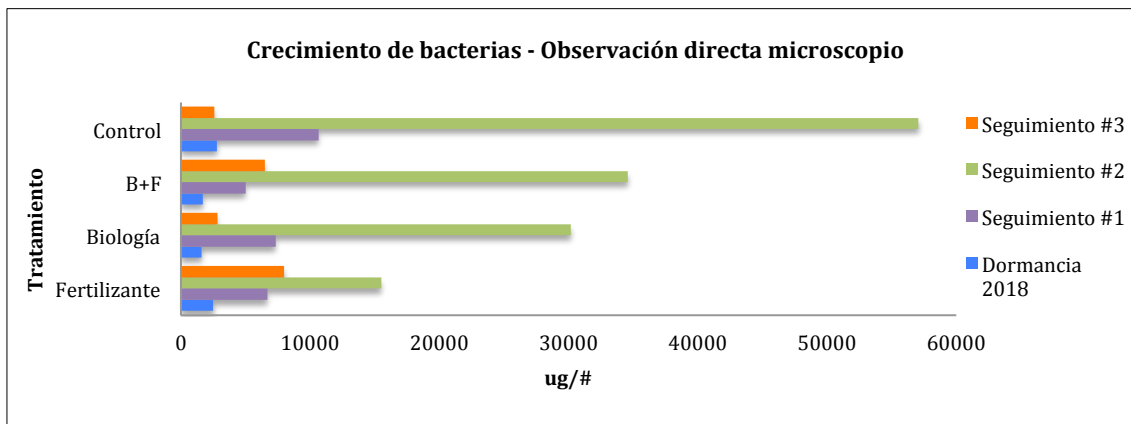


Figura 5. Crecimiento de bacterias en la etapa de Dormancia 2018 y seguimientos correspondientes. ug/# = microgramos por número de individuos.

Se registró mayor crecimiento de bacterias en el cuadrante de “Control” durante el seguimiento #2 (Figura 5), donde no se aplicó ningún tratamiento. Esto podría deberse a las características encontradas en estos suelos, ya que este cuadrante presenta el mayor porcentaje de arcillas (en textura), la mayor concentración de nitrógeno, valores altos en fósforo y potasio; es el cuadrante con las menores concentraciones de cloro, manganeso, magnesio y zinc, aunque dichas concentraciones se encuentran dentro de los rangos deseados (Tabla V). El magnesio y manganeso podrían ser otros parámetros que influyen en la concentración y estructura genética de las bacterias, y es el cuadrante de “Control” que presentó los valores más pequeños en comparación con los otros cuadrantes. El pH es un factor limitante en el crecimiento de los distintos microorganismos; esta parcela presentó el valor de pH más bajo con respecto a los otros cuadrantes, con un valor de 6.1 (Tabla V). Es el conjunto de sus altos valores de concentraciones de macronutrientes lo que propició el mayor crecimiento de bacterias en esta parcela.

En comparación con la parcela de “Biología + Fertilizante” que presentó el segundo crecimiento más alto (Figura 5), se puede observar de acuerdo con los resultados de los parámetros físicos y químicos (Tabla V), que es la parcela con menor porcentaje de arcillas, y la parcela con el pH más alto. Tiene valores bajos de nitrógeno, valores bajos de fósforo, alto potasio, valores medios de calcio, altas concentraciones de cloro, alto manganeso y bajas concentraciones de zinc. Por ende, comparando estas características fisicoquímicas del suelo en ambos tratamientos donde se presentaron los mayores crecimientos de bacterias, las altas concentraciones de macronutrientes que presentaba la parcela de Control antes de iniciar con el experimento afectaron los resultados; ya que las únicas características fisicoquímicas que comparten ambos tratamientos son los valores altos en potasio, y bajas concentraciones de zinc (Tabla V).

El efecto de la temperatura del ambiente en el suelo puede verse reflejado en los crecimientos registrados para este grupo de microorganismos, ya que se reporta el crecimiento más alto durante el seguimiento #2, realizado en el mes de Mayo, donde la temperatura iba en alza de acuerdo a datos de CICESE (Figura 11).

Es importante recalcar que durante el seguimiento #1 el cuadrante “Fertilizante” presentó el menor crecimiento de bacterias, y en el último seguimiento realizado (seguimiento #3) este cuadrante presentó el crecimiento más alto (Figura 4), representando un cambio importante en los crecimientos de bacterias dependiendo del tipo de tratamiento aplicado con respecto al tiempo. El fertilizante orgánico aplicado es alto en fósforo y nitrógeno, brindando los nutrientes necesarios para el crecimiento de bacterias en el suelo.

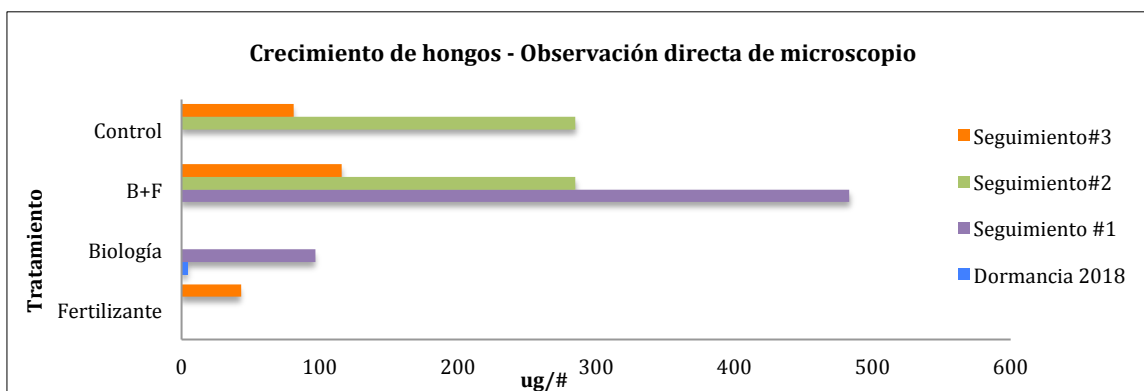


Figura 6. Crecimiento de hongos en la etapa de Dormancia 2018 y seguimientos realizados. ug/# = microgramos por número de individuos.

En los hongos los cuadrantes que presentaron mayor crecimiento fueron nuevamente “Biología + Fertilizante” y “Control”, siendo el pico de crecimiento más alto fue en cuadrante “Biología + Fertilizante” durante el seguimiento #2 (Figura 6); el pH podría ser un limitante en el crecimiento de los microorganismos, ya que la parcela de “B+F” presentó un pH de 7.5 siendo el valor más alto con respecto a los otros, y la parcela de control tuvo un pH de 6.1.

Siendo estos dos tratamientos en donde se registraron los picos de crecimiento más altos, también se resalta que son los cuadrantes con menor porcentaje de materia orgánica (Tabla V). También ocurre que “Control” fue el cuadrante con mayor concentración de nitrógeno, y “Biología + Fertilizante” el de menor concentración de nitrógeno (Tabla V); si se plantea la hipótesis que el nitrógeno favorece el crecimiento de los hongos, solo ocurre en la parcela de “Control” y no en la de “Biología + Fertilizante”, por lo que deberán existir otras respuestas a esta hipótesis. Una de ellas podría ser la concentración de materia orgánica, y analizando los resultados obtenidos se plantea que en “Biología+ Fertilizante” hay menor cantidad de materia orgánica (Tabla V) debido a que hay mayor concentración de hongos en el área, y ya que la materia orgánica es el alimento para estos microorganismos, es esta la característica del cuadrante “Biología + Fertilizante” lo que propició a altos crecimientos de hongos; y en el caso del

“Control” fue la alta concentración de nitrógeno y su bajo pH lo que favoreció el crecimiento de hongos.

En cuanto a la limitación de crecimiento de hongos por factores abióticos, el pico mas alto de crecimiento fue durante el seguimiento #1 (Figura 6), realizado en el mes de Marzo, donde se registraron las temperaturas más bajas (Figura 11); si altas temperaturas fueran un factor limitante para el crecimiento de los hongos, no se hubieran reportado crecimientos en los seguimientos siguientes, lo cual si sucedió, por lo que podría plantearse que fue la continúa aplicación de los tratamientos lo que permitió el registro de presencia de hongos en los cuadrantes durante los últimos seguimientos.

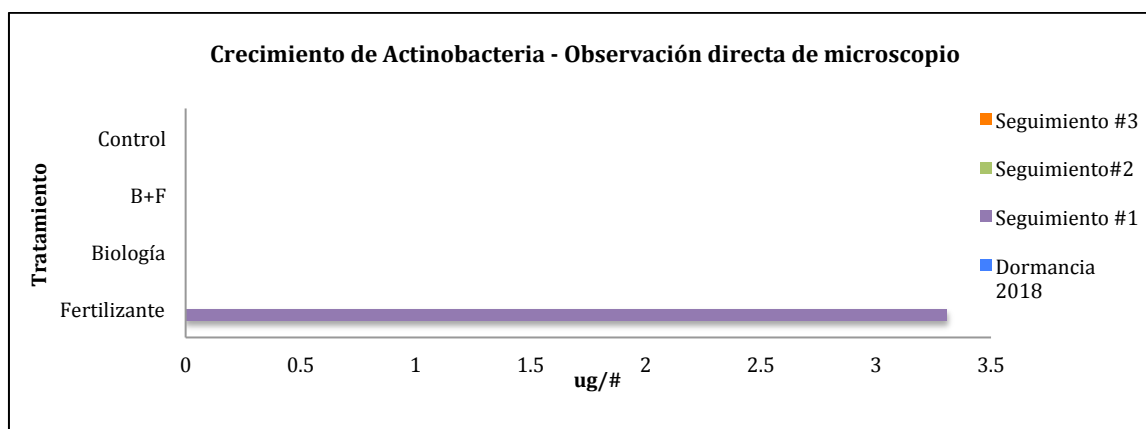


Figura 7. Crecimiento de Actinobacteria en la etapa de Dormancia 2018 y seguimientos realizados. ug/# = microgramos por número de individuos.

Se reportó en una sola ocasión presencia de actinobacterias, durante el seguimiento #1 realizado en Marzo en el cuadrante de “Fertilizante” (Figura 7). Fue durante el mes de Marzo donde se registró la temperatura mas baja (Figura 11), siendo este factor abiótico lo que permitió la proliferación de este grupo de microorganismos. El cuadrante de fertilizante presentó la proporción más alta de arcillas (en textura), y la concentración más alta de fósforo, con respecto al resto de los cuadrantes. A su vez, presentó valores altos de cobre, zinc, y calcio (Tabla

V); siendo estas condiciones físico-químicas en conjunto con la estación del año lo que dio como resultado la presencia de actinobacterias en un solo tratamiento y en un solo cuadrante.

A partir de los resultados podemos observar que en el cuadrante de “Fertilizante” se manifiesta el menor crecimiento de hongos (Figura 6), pudiendo ser por la competencia que existe entre bacterias Gram positivas, Gram negativas y hongos por alimento, en este caso materia orgánica y macronutrientes. Por último, de acuerdo con estructura de la red trófica edáfica, las actinobacterias son alimento para los distintos microorganismos de la red, como es el caso de protozoarios, que presentan altos crecimientos en el mismo cuadrante (Figura 8). No se encontró presencia de actinobacterias en todos los cuadrantes, ni en todos los seguimientos realizados, y podría deberse a que en zonas semiáridas y áridas la estructura de la red edáfica del suelo no es muy compleja, sobre todo en sistemas agrícolas de monocultivos como lo son los viñedos.

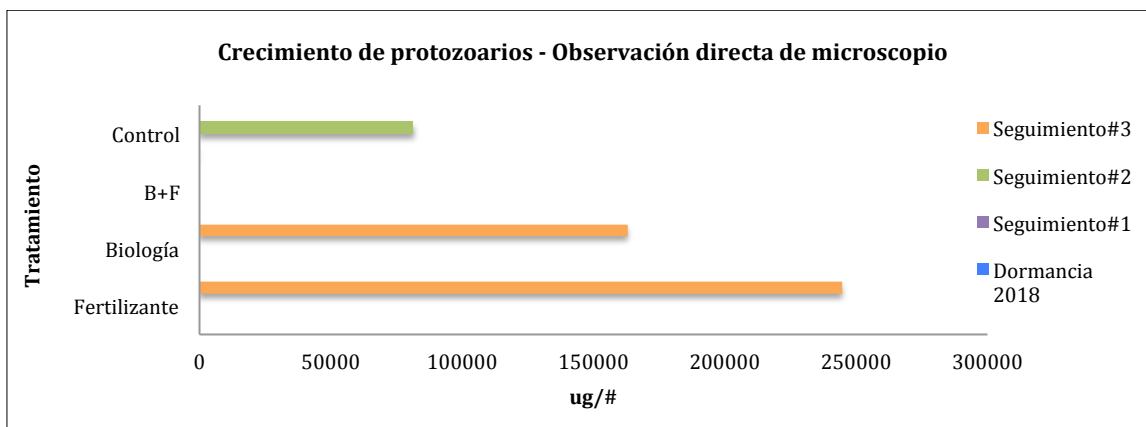


Figura 8. Crecimiento de protozoarios en la etapa de Dormancia 2018 y seguimientos realizados. ug/# = microgramos por número de individuos.

Los resultados obtenidos muestran una relación entre el crecimiento de protozoarios con el de bacterias, debido a que las bacterias son el alimento de los protozoarios. Esto se observa de la siguiente forma: 1) se observa crecimiento de protozoarios durante el seguimiento #2 en el tratamiento de “control” (Figura 8), y es en esta cuadrante durante el mismo seguimiento que se reporta el mayor valor de biomasa de bacterias (Figura 6), concluyendo que hubo un control ecológico abajo-arriba; 2) durante el seguimiento #3 ya no se registró presencia de protozoarios en el mismo cuadrante, y en caso de las bacterias su valor de biomasa bajó de forma considerable; 3) de igual forma, durante el seguimiento #3 se observa presencia de protozoarios en el tratamiento de “Biología” y con mayor presencia en “Fertilizante”, y para el caso de bacterias durante el seguimiento #3, es en el tratamiento de “Fertilizante” donde se registró mayor presencia de bacterias (Figura 6), concluyendo a su vez, que hubo un control ecológico abajo-arriba; 4) como consecuencia de estos resultados, observamos que la población de bacterias era alta durante el seguimiento #2, pero conforme crece la población de sus depredadores disminuye su población (Figura 6), de forma que ocurre un control ecológico de arriba-abajo; 5) por último, podría no haberse registrado presencia de protozoarios en la parcela de “Biología + Fertilizante” por su valor de pH, que favorece el crecimiento de hongos y no de bacterias.

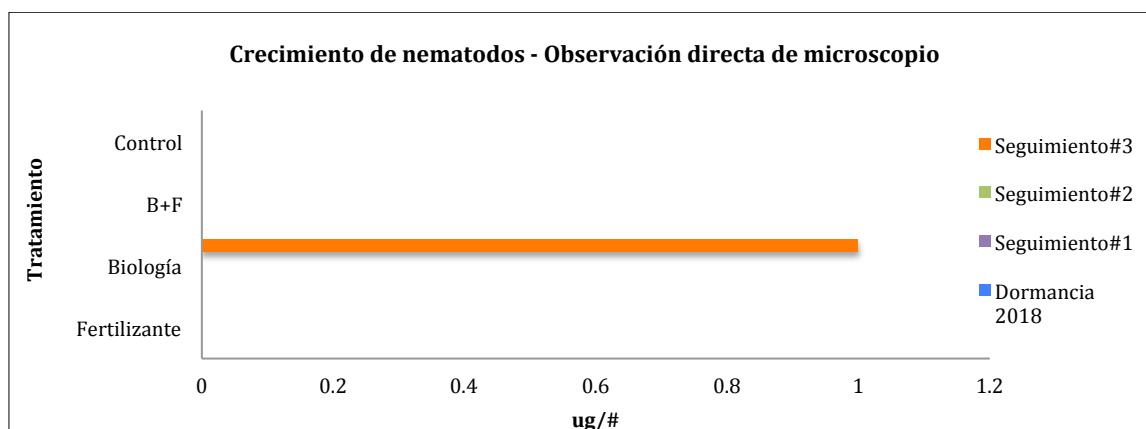


Figura 9. Crecimiento de nematodos en la etapa de Dormancia 2018 y seguimientos realizados. ug/# = microgramos por número de individuos.

Solo hubo presencia de nematodos durante el seguimiento #3 dentro del cuadrante de “Biología” (Figura 9); esta parcela tiene buenos valores de concentración de macronutrientes y micronutrientes, por último, en este cuadrante se encontró el mayor porcentaje de materia orgánica; siendo estas características lo que permitieron el crecimiento de estos microorganismos (Tabla V).

Debido a que solo se registró presencia de nematodos durante el último seguimiento, y los nematodos pertenecen al segundo y tercer nivel trófico, pudiera hacernos notar que la estructura de la red trófica edáfica se tornó mas compleja conforme las aplicaciones de los distintos tratamientos continuaban. La complejidad de la red trófica edáfica es limitada por el tipo de ecosistema, y la zona de estudio se encuentra en una zona semiárida.

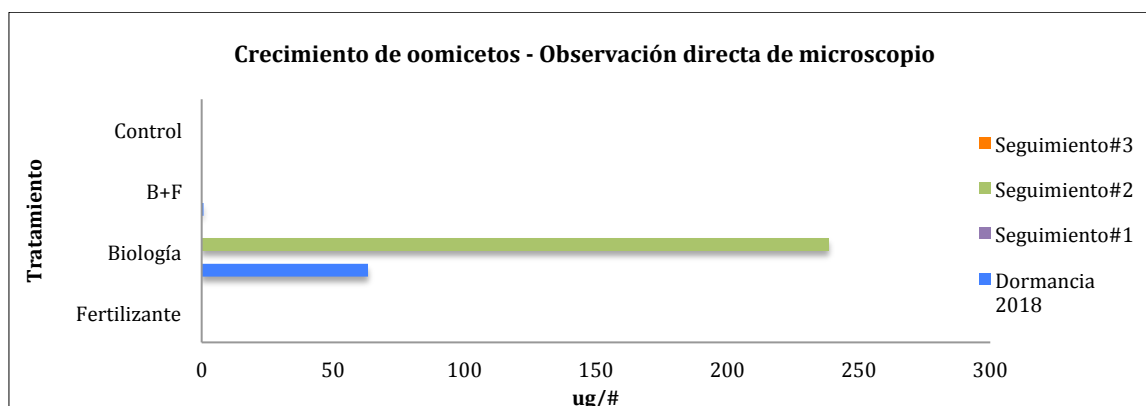


Figura 10. Crecimiento de oomicetos en la etapa de Dormancia 2018 y seguimientos realizados. ug/# = microgramos por número de individuos.

Se reporta presencia de oomicetos únicamente en el cuadrante de “Biología” en los seguimientos de Dormancia y en el #2; en esta parcela se registró la mayor concentración de materia orgánica (Tabla V). La materia orgánica es el eslabón base para la red trófica edáfica, y la alta concentración de la misma propició el crecimiento de oomicetos en el tratamiento de “Biología”. Se puede observar en los resultados obtenidos, que en el tratamiento de “Biología” hubo poca presencia de bacterias (Figura 5), y que quizá se deba a la competencia entre hongos, pseudohongos y bacterias por alimento; de forma contraria, no se registra presencia de oomicetos en el resto de los cuadrantes ni tratamientos por la alta concentración de bacterias.

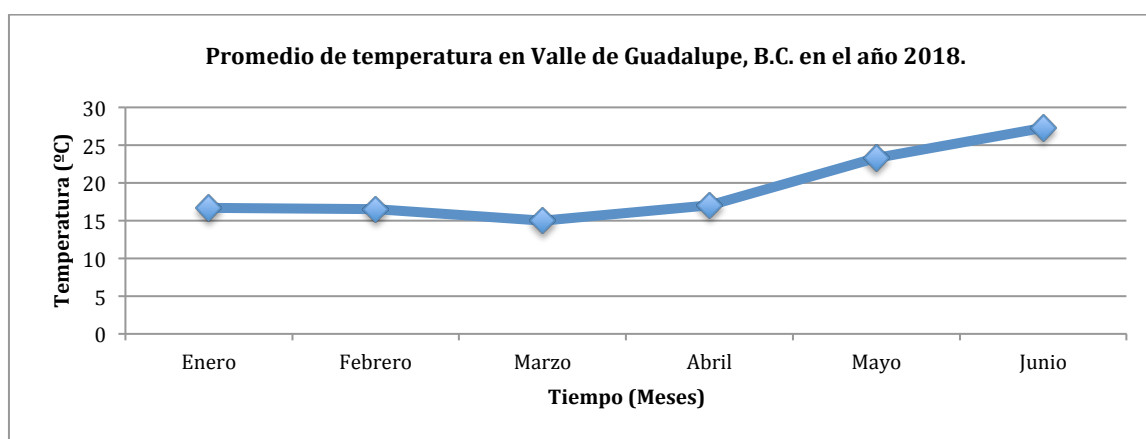


Figura 11. Temperaturas promedio registradas en Valle de Guadalupe, Baja California, México.
FUENTE: Dr. Bullock/E. Lopez / Proyecto de flujos de carbono – Estación Mogor, CICESE.

Discusión

Se cumplieron los objetivos planteados en esta investigación. Se comparó y analizó la respuesta de la estructura y crecimiento de los microorganismos del suelo, ante distintas aplicaciones de tratamientos que tienen como función aumentar la productividad en cultivos. Esto a través de la interpretación e integración de resultados de los análisis de parámetros físicos y químicos generados, la determinación de Unidades Formadoras de Colonias, y la realización de observaciones directas de microscopio. Los cuadrantes “Biología + Fertilizante” y “Control” presentaron los mayores crecimientos de hongos y bacterias en las observaciones directas de microscopio. De los resultados físicos y químicos obtenidos: 1) el tratamiento de “Control” presenta las concentraciones más altas de macronutrientes, siendo esta la razón por la que hubo mayor crecimiento de bacterias y hongos en este tratamiento; 2) a pesar de que el cuadrante de “Biología + Fertilizante” no presentó concentraciones tan altas de macronutrientes en comparación con el resto de los cuadrantes, si presentó el mayor crecimiento de hongos.

La disponibilidad de nutrientes es un factor que influye en el crecimiento de los microorganismos del suelo (Griffiths y Philippot; 2013; Bloor *et al.*, 2018); los resultados obtenidos muestran que para el caso de las bacterias, el mayor crecimiento en el primer muestreo realizado en la etapa de Dormancia, fue en el tratamiento de “Control” (sin ningún tratamiento aplicado al suelo); esto se debe a la alta concentración de nitrógeno, fósforo y potasio que ya existían antes de realizar el experimento, a la buena concentración de hierro, cobre, magnesio, manganeso y zinc, a pesar de su deficiencia en hierro, y altas concentraciones de calcio. Mientras que el último seguimiento (seguimiento #3) realizado mostró mayor crecimiento en el tratamiento de “Biología + Fertilizante”, a pesar de que en este cuadrante se presentaron los niveles mas bajos de biomasa de bacterias durante los primeros seguimientos. Esto indica que la aplicación de ambos

tratamientos favoreció a la población de bacterias en el suelo. En el caso de los Hongos, el cuadrante que tuvo mayor crecimiento fue “Biología + Fertilizante”. Esto sugiere la sinergia de los tratamientos. Siendo importante para zonas semi-áridas y áridas la aplicación de fertilizantes para promover el crecimiento de microorganismos en los inicios de conservación del suelo y mejora de la estructura de la red trófica (Sánchez-Moreno et al., 2018), y posteriormente convertir los cultivos en sistemas que utilicen menos insumos y sean más sustentable; se necesitarían por lo menos 3 años de aplicación de los distintos tratamientos para conocer su influencia en la red trófica del suelo, e identificar que tratamiento es mejor, ya que los resultados deberán diferenciarse de los factores abióticos, y de la capacidad de resiliencia y resistencia de los microorganismos a disturbios, que por ser una zona semi-árida, el más notable es la desecación (Nguyen *et al.*, 2018).

La materia orgánica afecta el crecimiento de hongos (Corneo, 2013), y es en “Biología + Fertilizante” donde se registró la menor cantidad de materia orgánica, siendo contradictorio los resultados obtenidos con la teoría propuesta por dicha autora. Pudiera ser que el porcentaje de materia orgánica en el cuadrante es bajo por la presencia de hongos, existiendo un control de “arriba-abajo”, ya que la materia orgánica es el principal alimento para estos microorganismos (Lowenfels y Lewis; 2010).

El pH es otro factor limitante en el crecimiento de hongos (Corneo, 2013) y es parámetro que indica si la población dominante en el suelo son hongos o bacterias; en un suelo dominado por hongos el pH tendrá valores por debajo del 7, siendo suelos más ácidos debido a la producción de ácidos orgánicos por parte de los hongos, mientras que un suelo dominado por bacterias tendrá valores de pH por arriba del 7 (Lowenfels y Lewis; 2010). En esta investigación no sucedió lo establecido por la teoría, de forma que en la parcela con el valor de pH más básico o alcalino, “Biología + Fertilizante”, se tuvo el mayor crecimiento de hongos (Figura 6). De acuerdo con Moebius-Clune *et al.*, 2017, cuando el pH del suelo se

encuentra entre 6-7, las concentraciones de hierro, magnesio, zinc y cobre serán mínimas; y todos los cuadrantes presentaron valores de pH dentro de este rango y concentraciones mínimas de estos elementos. Es importante recalcar que solo se había realizado una aplicación de los tratamientos antes de realizar el muestreo para los análisis físicos y químicos.

En el suelo las sucesiones ecológicas primarias son realizadas por bacterias, que da por resultado suelos dominados por bacterias (Lowenfels y Lewis; 2010). Las plantas perennes prefieren suelos dominados por hongos y menor presencia de bacterias (Lowenfels y Lewis; 2010); por lo que en viñedos la estructura de la Red trófica del Suelo debería estar inclinada hacia hongos. Conforme la Red Trófica del suelo se vuelve más variada, la proporción de hongos con respecto a bacterias irá en aumento (Lowenfels y Lewis; 2010). De acuerdo con los resultados obtenidos, el suelo en Finca la Carrodilla está dominado por bacterias, por lo que es recomendable que sigan las aplicaciones de abonos orgánicos, para fomentar un suelo dominado por hongos. Los viñedos son caracterizados como agroecosistemas con baja biomasa microbiana en comparación con otros sistemas agrícolas, como consecuencia del monocultivo (Dequiedt et al., 2011). El manejo del suelo afecta fuertemente la diversidad microbiana del suelo, y un manejo agrícola orgánico supone que preserva la diversidad microbiana en comparación con un manejo agrícola convencional (Bronick y Lal, 2005; Corneo, 2013). En los resultados obtenidos en esta investigación se encontró presencia del primer y segundo nivel trófico de la Red Trófica edáfica, como lo son la materia orgánica, bacterias y hongos; se encontró en bajas concentraciones la presencia del tercer nivel trófico. La Red Trófica edáfica de Finca la Carrodilla no es compleja, necesita promoverse el crecimiento de los distintos microorganismos que componen la red, de manera que aumente la biodiversidad en el suelo.

Uno de los resultados más importantes, es la relación que existe entre el crecimiento y la estructura de la red trófica del suelo con los factores abióticos. Los resultados obtenidos coinciden con distintos autores, en el que se recalca la

compilación de información realizada por Whitford (1989), que enfatiza la importancia del control abiótico (temperatura y precipitación) sobre la Red trófica del suelo en zonas semi-áridas y áridas; comparando procesos eco sistémicos del desierto de Chihuahua con el desierto de Negev en Israel, en donde el autor concluye que los procesos y los microorganismos intermediarios de dichos procesos son los mismos; temperaturas altas, alrededor de los 40°C impiden la actividad de los microorganismos del suelo. Los resultados no coinciden con los obtenidos por Corneo (2013), que concluye que la estructura y dinámica de los microorganismos es constante a través de todas las estaciones del año.

Comparando los métodos empleados para cuantificar la respuesta de bacterias y hongos del suelo ante la aplicación de los distintos tratamientos durante el seguimiento de Dormancia 2018, se encontró que para el caso de bacterias: 1) las observaciones directas de microscopio indicaron que el tratamiento de “Control” presentó el mayor crecimiento de bacterias, mientras que el tratamiento de “Biología + Fertilizante” el segundo mayor crecimiento; 2) mientras que en los medios de cultivo, se observó mayor número de UFC en el tratamiento de “Biología + Fertilizante”, y posteriormente en el tratamiento de “Biología”. Aunque ambos métodos tienen como resultado que “Biología + Fertilizante” presentó gran número de bacterias, difieren con los resultados de los distintos tratamientos, reportando en esta investigación lo mismo que otros investigadores (Jordan et al., 1995). En el caso de los hongos: 1) en las observaciones directas no se encontró presencia de hongos en el seguimiento de Dormancia, únicamente un valor de biomasa cercano al cero en el tratamiento de “Biología”; 2) y en los cultivos no se reportan UFC de hongos puesto que el número de colonias en el medio de PDA no entraban dentro del rango evaluable. Esto demuestra que ambos métodos podrían ser utilizados para cuantificar el número de hongos en el suelo, y que coincide con lo reportado por Jordan (1995) y colaboradores.

Cabe agregar que en los medios de cultivo se encontró presencia de inhibición de crecimiento entre colonias, tanto en los medios de cultivo para bacterias aerobias

heterótrofas (Agar cuenta placa), como en los medios de cultivo utilizados para hongos (Agar papa-dextrosa). La inhibición de crecimiento entre colonias, ocurre cuando un microorganismo presente en el medio de cultivo, produce biológicamente sustancias activas, con naturaleza antibiótica o anti fúngica, que impiden el crecimiento de microorganismos a su alrededor. Podría ser que los organismos que lo presentaron impidan el crecimiento de microorganismos patógenos en suelos agrícolas. A los medios de cultivo con Agar cuenta placa no se les aplicó ningún compuesto que limitara o impidiera el crecimiento de actinobacterias, y son una comunidad microbiana importante en el suelo que producen antibióticos, vitaminas y enzimas (McCarthy y Williams, 1992; Basilio *et al.*, 2003; Bhatti *et al.*, 2017). Por ende, se enfatiza la necesidad de desarrollar una línea de investigación enfocada a la red trófica del suelo. Se hace hincapié, en que esta investigación es el primer esfuerzo de un grupo de trabajo en generar información sobre la importancia de los microorganismos de suelos agrícolas.

Limitaciones de la investigación

Es importante recalcar las limitaciones que se presentaron durante la investigación, y las recomendaciones que el autor de este escrito plantea para los futuros proyectos de investigación relacionados con el tema. El limitante más importante fue el tiempo. Un proyecto como este, requiere al menos de tres años de experimentación, ya que es necesario diferenciar la influencia que tuvieron los factores abióticos en el crecimiento de los microorganismos, y la aplicación de los distintos tipos de tratamientos. Por otra parte, el presupuesto con el que se trabajó fue mínimo, y en orden de obtener resultados más precisos, se requiere el uso de metodologías más avanzadas, y por ende, de mayor costo.

Dicho esto, las recomendaciones para futuros experimentos, en los que se tenga por objetivo estudiar y entender la estructura y crecimiento de la red trófica del suelo, son utilizar técnicas independientes de cultivo que permita analizar el meta genoma, utilizar mayor número de muestras, y realizar experimentos que sean de

mínimo un año. Sería interesante conocer la actividad microbiana en el suelo, y para eso se necesitan técnicas que midan el metabolismo y función de los distintos microorganismos. En orden de obtener una perspectiva más completa del estado actual de la red trófica del suelo que se desee estudiar, se recomienda analizar el contenido de agua en el suelo, puesto que hay estudios en los que se establecen rangos de respuesta de microorganismos a la precipitación y al contenido de humedad en el suelo, como el realizado por Whitford (1989) en el que se concluye que en suelos con 0.5-2.8% de contenido de agua todos los protozoarios en una muestra de suelo estarán en estado de quiste, y suelos con 12% de contenido de agua muestran que el 96% de los protozoarios en una muestra de suelo estaban en modo activo.

Para finalizar, se recalca la importancia económica que tienen los microorganismos del suelo, y una gran parte de ellos no han sido estudiados en nuestra región. Se sugiere realizar técnicas de aislamiento para identificar organismos que presenten halos de inhibición dentro de las cajas Petri, puesto que algunos microorganismos podrían ser utilizados como control-biológico en cultivos agrícolas.

Conclusión

Se comparó y analizó la respuesta de la estructura y crecimiento de microorganismos del suelo ante distintas aplicaciones de tratamientos, que tienen como función aumentar la productividad en cultivo de vid. Interpretando los resultados de los parámetros físicos, químicos y biológicos, se encontró que la parcela de donde no se aplicó ningún tratamiento denominada “Control”, presentó mayor abundancia de bacterias, pero debido a que había mayor concentración de macronutrientes, en especial de nitrógeno, en el suelo antes de las aplicaciones de los distintos abonos. En el último seguimiento realizado, se encontró mayor abundancia de bacterias en el cuadrante en donde se aplicó únicamente el fertilizante, siendo que en este cuadrante al inicio del experimento presentaba los niveles mas bajos de biomasa de bacterias en comparación con el resto de los cuadrantes. Es necesario evaluar los efectos de los diferentes tratamientos en el resto de los cuadrantes en plazos de tiempo mayores.

Se concluye, que el té de composta y el fertilizante de pescado hacen sinergia, es decir, que combinados tienen un efecto favorable en el crecimiento de los microorganismos, ya que el cuadrante donde se aplicaron ambos tratamientos presentó abundancia y diversidad de microorganismos en el suelo. Sin embargo es importante que se continúe con el experimento, por al menos tres años en todos los cuadrantes, para diferenciar los factores de crecimiento bióticos y abióticos de los microorganismos del suelo; ya que se encontró que la temperatura y la precipitación, influyeron en la abundancia de los microorganismos. Es importante conocer la composición química de los fertilizantes y los té de composta, puesto que el suelo necesita que se eleven las concentraciones de Fe, Cu, Zn, y Mg, a su vez disminuir las concentraciones de Na.

Se identificó la estructura de la red trófica del suelo, de manera general, a través de observaciones directas de microscopio. La desventaja de esta técnica es la

inexactitud. Por ello, es importante realizar estudios de meta genoma, para conocer la relación de microorganismos patógenos y benéficos de la red trófica del suelo.

Se ha estudiado poco la estructura de la comunidad microbiana en el suelo, sobre todo en viñedos (Corneo, 2013); a su vez, son pocas y recientes las investigaciones que se enfocan en la aplicación de tratamientos o abonos orgánicos en el suelo, y que analicen a su vez, la estructura y abundancia de los distintos microorganismos del suelo ante dichas aplicaciones. Por ello, es importante que se realicen investigaciones como esta, por períodos de tiempo mayores, y utilizando técnicas de identificación de microorganismos más avanzadas.

Algunas líneas de investigación que deberían desarrollarse en el futuro, a partir de este trabajo, podrían ser:

1. Seguir aplicando productos orgánicos al suelo, conocer su efectividad en el aumento de productividad, la capacidad de conservación del suelo, y su influencia en la red trófica del suelo, por períodos de tiempo mayores a 3 años.
2. Conocer la importancia de la diversidad de microorganismos del suelo, para la capacidad de resistencia y resiliencia de los sistemas agrícolas ante disturbios y estrés (Brussaard et al., 2007).
3. Estimar tiempos de transición de un suelo pobre en microorganismos a un suelo saludable que cuente con una Red Trófica compleja propia de su ecosistema.
4. Valoración económica de los microorganismos del suelo.
5. Identificación, aislamiento y aprovechamiento, de microorganismos del suelo que presenten producción de sustancias biológicamente activas, como antibióticos, vitaminas y enzimas; haciendo hincapié, en microorganismos endémicos.
6. Evaluación de las propiedades de supresión de patógenos, por parte de la diversidad de microorganismos del suelo en sistemas agrícolas.

Bibliografía

- Abawi G.S., 2017. "Comprehensive Assessment of Soil Health: The Cornell Framework"; Third Edition; Cornell University. 124 p.
- Aguayo Beatriz, 2011. "Agroecología y agricultura orgánica en Chile: Entre convencionalización y ciudadanía"; Revista Agroalimentaria (32), vol. 17, 15-27 p.
- Álvarez S., 2013. "Investigaciones comparativas entre agricultura convencional y agricultura orgánica"; Spanish Journal Of Rural Development. Vol IV (4), 1-10 p.
- Ashman M.R., Puri G., 2002. "Essential soil science: A clear and concise introduction to soil science"; Blackwell Science LTD; MPG Books Ltds, Bodmin, Cornwall; UK.
- Asma A. Bhatti, Shamsul Haq, Rouf Aa. Bhat, 2017. "Actinomycetes benefaction role in soil and plant health"; Microbial Pathogenesis (111), 458-467 p.
- Atlas R.M. & Bartha R., 2002. "Ecología microbiana y microbiología ambiental"; Prentice Hall, PEARSON EDUCACION S.A. DE C.V., Segunda edición, Madrid, 696 p.
- Bach M. Elizabeth, Ryan J. Williams, Sara K. Hargreaves, Fan Yang, Kirsten S. Hofmockel, 2018. "Greatest soil microbial diversity found in micro-habitats"; Soil Biology & Biochemistry vol. 118, 217-226 p.
- Bardgett, R.D., Mommer, L., de Vries, F.T., "Going underground: Roots traits as drivers of ecosystem process". Trends Ecol. Evol. Vol. 12, pp. 692-699; 2014.
- Basilio A., González I., Vicente M.F., Gorrochategui J, Cabello A., González & Genilloud O., 2003. "Patterns of antimicrobial activities from soil actinomycetes isolated under different conditions of pH and salinity"; Journal of Applied Microbiology vol. 95, 814-823 p.
- Bloor M.G. Juliette, Zwicke Marine, Picon-Cochard Catherine. 2018. "Drought responses of root biomass provide an indicator of soil microbial drought resistance in grass monoculture"; Applied Soil Ecology Vol. 126, 160-164 p.

- Brussaard Lijbert, De Ruiter Peter C., Brown George G. 2007. "Soil biodiversity for agricultural sustainability"; Agriculture Ecosystems & Environment Vol. 121, 233-244 p.
- Bronick, C.J. & Lal, R. 2005. "Soil structure and management: a review". Geoderma, 124, 3-22.
- Caballero-Mellado Jesús. 2006. "Microbiología agrícola e interacciones microbianas con plantas". Revista Latinoamericana ALAM; Vol. 48 No. 2 Abril – Junio; 154-161 pp.
- Campañó J. Abadín. 2007. "Agricultura sostenible en los Andes tropicales: importancia de la materia orgánica en la conservación de la fertilidad del suelo"; Tesis. Universidad de Santiago de Compostela; Santiago de Compostela, 155 p.
- Cantarel A.M., Pommier T., Desclos-Theveniau M., Diquélou S., Dumont M. 2015. "Using plant traits to explain plant-microbe relationships involved in nitrogen acquisition"; Ecology, Vol. 96, 788-799 p.
- Cano Bracamontes C. Alberto. 1990. "Estudio Etnobotánica comparativo en la región del Valle de Guadalupe, Municipio de Ensenada, B.C."; Tesis Licenciatura Ciencias UABC.
- Castro, H.F., Classen, A.T., Austin, E.E., Norby, R.J. & Schadt, C.W. 2010. "Soil Microbial Community Responses to Multiple Experimental Climate Change Drivers". Applied and Environmental Microbiology, 76, 999-1007 p.
- COM: Comisión Europea, 2012. "Informe de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y al Social Europeo y al Comité de las Regiones: Aplicación de la estrategia temática para la protección del suelo y actividades en curso"; Bruselas, (13-2-2012), 46 p.
- Corbalán Barba; 2016. "influencia del tipo de enmienda orgánica, dosis de riego y acolchado de plástico en un cultivo de tomate para industria: dinámica de nutrientes en el sistema suelo"; Proyecto de investigación, Tesis doctoral; Universidad de Murcia, 249 p.
- Cremlyn R., 1986. "Plaguicidas modernos y su acción bioquímica"; Editorial Limusa, S.A. de C.V., México, 356 p.
- Crotty F., Adl S., Blackshaw R., Murray P., 2012, "Protozoan pulses unveil their pivotal position within the soil food web". Microbial Ecology vol. 63, 905-918 p.

- Davies Nancy, 1973. "A guide to the study of soil ecology"; Prentice-Hall Inc., USA, 198 p.
- De la rosa D., 2008. "Evaluación Agro-ecológica de Suelos: para un desarrollo rural sostenible"; 2008., Ediciones Mundi-Prensa, España, 404 p.
- De Ruiter P.C., Neutel A.M., Moore J.C., 1995. "Energetics, patterns of interaction strength, and stability in real ecosystems"; Science Vol. 269, 1257-1260 p.
- De Vries F.T., Brown C., Stevens C.J., 2016. "Grassland root response to drought: consequences for soil carbón and nitrogen availability. Plant soil Vol 409, 297-312 p.
- Dequiedt, S., Saby, N.P.A., Lelievre, M., Jolivet, C., Thioulouse, J., Toutain, B., Arrouays, D., Bispo, A., Lemanceau, P. & Ranjard, L. 2011. Biogeographical patterns of soil molecular microbial biomass as influenced by soil characteristics and management. Global Ecology and Biogeography, 20, 641-652.
- Díaz-Maroto Hidalgo; 2014. "Fortalecer la producción orgánica como alternativa de desarrollo sostenible"; Perú; Spanish Journal of Rural Development, Vol. V (1) 97-206 p.
- FAO, 2015. "Status of the world's soil resources" – Main report; Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy, 608 p.
- Ferris H., Venette R.C., Scow K.M., 2004. "Soil Management to enhance bacterivore and fungivore nematode populations and their nitrogen mineralisation function"; Applied Soil Ecology Vol. 25, 19-35 p.
- Fry William E., Niklaus J. Grünwald; 2010. "Introduction to Oomycetes"; The Plant Health Instructor.
- Galán-Huertos Emilio & Romero-Baena Antonio; 2008. "Contaminación de Suelos por Metales Pesados"; Conferencia Invitada; macla. Revista de la Sociedad española de mineralogía, (10), 48-60 p.
- García-Delgado C., Barba V., Marín-Benito J.M., Igual J.M., Sánchez-Martín M.J., Rodríguez-Cruz M.S., 2018. "Simultaneous application of two herbicides and Green compost in a field experiment: Implications on soil microbial community"; Applied soil Ecology, vol 127, 30-40 p.

- Glick Bernard R., 2012. Plant Growth – Promoting bacteria: Mechanisms and Applications; Scientifica, Vol 2012, 15 p.
- Goldfarb Katherine C., Ulas Karaoz, China A. Hanson, Clark A. Santee, Mark A. Bradford, Kathleen K. Treseder, Matthew D. Wallenstein and Eoin L. Brodie; 2011. Differential Growth responses of soil bacterial taxa to carbón substrates of varying chemical recalcitrance”; Frontiers in Microbiology, Volume 2, Article 94, 10 p.
- Gómez M., Schwentesius R., Ortigoza J., 2010. “Situación y desafíos del sector orgánico de México”; Revista mexicana de ciencias agrícolas; Vol 1, 593-608 p.
- González I.M., González María C. y Ramírez R., 2002. “Aspectos generales sobre la tolerancia a la salinidad en las plantas cultivadas”; Cultivos tropicales Vol. 23 (2), 27-37 p.
- González Andrade Salvador, 2015. “Cadena de Valor económico del vino de Baja California, México”; Estudios fronterizos, nueva época, vol.16 (32), 163-193 p.
- González-Figueroa R., Gerritsen P., Malischke T., 2007. “Percepciones sobre la degradación ambiental de agricultores orgánicos y convencionales en el ejido La Ciénega, municipio El Limón, Jalisco, México”; Revista Economía, Sociedad y Territorio; Vol. 7, 214-239 p.
- Gunapala N. & Scow K.M., 1998. “Dynamics of soil microbial biomass and activity in conventional and organic farming systems”; Soil Biol. Biochem. Elsevier Science Ltd. Vol. 30 (6), 805-816 p.
- Griffiths B.S., Philippot L., 2013. “Insights into the resistance and resilience of the soil microbial community, FEMS Microbiol. (24), 112-129 p.
- Howard Ferris, University of California Davis, Department of entomology and nematology. Recuperado de: <http://nemaplex.ucdavis.edu/Methods/extrmeth.htm> , el 16/10/17.
- Ingham Russell E., Trofymow J.A., Ingham Elaine R., Coleman David C., 1985. “Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: effects on nutrient cycling and plant growth”; Ecological Society of America Vol. 55, No.1; p. 119-140.
- IGAC; 2006. “Métodos analíticos del laboratorio de suelos”; Instituto geográfico Agustín Codazzi, Sexta edición, Colombia, 664 p.

INECC. "Manual de técnicas de análisis de suelos aplicados a la remediación de sitios contaminados"; Recuperado de página web: <http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/509.pdf>, 16/10/17.

Jassey V.E.J., Signarbueux C., Hättenschwiler S., Bragazza L., Buttler A., Delarue, Fournier B., Gilber D., Laggoun-Défarge F., Lara E., Mills R., Mitchell E.A.D., Payne R.J., Robroek B.J.M., 2015. "An Unexpected role for mixotrophs in the response of peatland carbon cycling to climate warming". Scientific reports Vol. 5, 16931 p.

Jordan D., Kremer R.J., Bergfield W.A., Kim K. Y., Cacio V.N., 1995. "Evaluation of microbial methods as potential indicators of soil quality in historical agricultural fields"; Biol Fertil Soils; p. 297-302.

Juana Claudia Leyva Aguilera & Martha Ileana Espejel; 2013. "El Valle de Guadalupe"; UABC; México, 130 p.

Lal R, 2004. "Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security"; Science Vol. 304, 1623-1627 p.

Lowenfels Jeff & Lewis Wayne, 2010. "Teaming with microbes: The organic gardener's guide to the Soil Food Web"; Timber Press, Inc., China, 220 p.

McCarthy J. Alan & T. Williams Stanley; 1992. "Actinomycetes as agents of biodegradation in the environment – a review"; Gene vol. 111 (1-2), 189-192 p.

Madigan Michael T., Martinko John M., Dunlap Paul V., Clark David P.; 2009. "BROCK: Biología de los microorganismos"; PEARSON, 12ª edición, México, 1089 p.

Martin Alexander, 1980. "Introducción a la microbiología del suelo"; 2da edición, John Wiley and Sons Inc., México, 491 p.

Meraz Lino, Valderrama Jorge Antonio, Maldonado Sonia Elizabeth; 2012. "La ruta del vino en el Valle de Guadalupe, Baja California, México. Perspectiva frente al cambio climático: Una primera aproximación"; UAAAN-UAdeC; Coahuila, México; ALASRU, 1-25 p.

Miller G.T. Jr., 2007. "Ciencia Ambiental: Desarrollo sostenible Un enfoque integral". México, Octava edición, International Thomson Editores, S.A. de C.V. Thomson Learning, 323 p.

- Moebius-Clune B.N, D.J. Moebius-Clune; B.K. Gugino, O.J. Idowu, R.R. Schindelbeck, A.J. Ristow, H.M. van Es, J.E. Thiez, H.A. Shayler, M.B. McBride, K.S.M. Kurtz, D.W. Wolfe, and G.S. Nguyen T.T., Linh, Yui Osanai, Kaitao Lai, Ian C. Anderson, Michael P. Bange, David T. Tissue, Brajesh K. Singh; 2018. "Responses of the soil microbial community to nitrogen fertilizer regimes and historical exposure to extreme weather events: Flooding or prolonged-drought"; *Soil Biology and Biochemistry* Vol. 118, 227-236 p.
- Nauta Phil; 2012. "Building Soils Naturally: Innovative methods for organic gardeners"; CO, ACRES U.S.A; 306 p.
- Nombela G. & A. Bello; 1983. "Modificaciones al método de extracción de nematodos fitoparásitos por centrifugación en azúcar"; *Bol. Serv. Plagas* (9), 183-189 p.
- Palacios-Vargas José, Mejía-Recamier Blanca E. & Cutz-Pool Leopoldo Q., 2013. "Microartrópodos edáficos"; *Laboratorio de Ecología y Sistemática de Microartrópodos, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de ciencias, UNAM.*
- Powers Laura E., Mcsorley Robert., 2001. "Principios ecológicos en agricultura", Madrid, s. España., Paraninfo- Thomson Learning., Thomson Editores, S.A. de C.V., 448 p.
- Ranjard L, Echairi A, Nowak V, Lejon DPH, Nouaim R & Chaussod R, 2006. Field and microcosm experiments to evaluate the effects of agricultural Cu treatment on the density and genetic structure of microbial communities in two different soils. *FEMS Microbiol Ecol* 58: 303-315 p.
- Rengifo Ruiz, Gey Junner; 2014. "Influencia de los Sistemas de Uso Actual en las Propiedades Físico-químicas y biológicas de los suelos del Caserío El Milagro, Distrito José Crespo y Castillo" (Tesis para optar el título de Ingeniero en recursos naturales renovables); Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables; Tingo María, Perú, 99 p.
- SAG, Gobierno de Chile. "Instructivo técnico para la captación de muestras de suelo /sustratos / raíces y realización de análisis nematológico oficial en viveros". Recuperado de: <http://www.nematologia.uchile.cl/images/6%20Sitios%20de%20interes/Instructivo%20tecnico%20-%20Oficial%20Viveros.pdf.pdf> el 16/10/17.
- Salle A.J. 1967. "Fundamental Principles of Bacteriology"; MCCGRAW-HILL BOOK COMPANY; 6ta edición; USA, 822 p.

- Sánchez-Moreno Sara, Cano Miriam, López-Pérez Antonio, Reyes Benayas José M; 2018. "Microfaunal soil food webs in mediterranean semi-arid agroecosystems. Does organic management improve soil health?"; *Applied Soil Ecology* Vol. 125, 128-147 p.
- Seiter Stefan, Ingham Elaine R., William Ray D., 1998; "Dynamics of soil fungal and bacterial biomass in a temperate climate alley cropping system"; *Applied Soil Ecology* 12 (1999); 139-147 p.
- Schaetzl J. Randall, Anderson Sharon, 2005. "Soils: Genesis and Geomorphology"; Cambridge University Press. USA, 817 p.
- Schmidt O., Dychmans J., Schrader S., 2016. "Photoautotrophic microorganisms as a carbon source for temperate soil invertebrates", *Biology letters* Vol. 12: 20150646, 4 p.
- Steenwerth, K.L., Drenovsky, R.E., Lambert, J.J., Kluepfel, D.A., Scow, K.M. & Smart, D.R. 2008. "Soil morphology, depth and grapevine root frequency influence microbial communities in a Pinot noir vineyard". *Soil Biology and Biochemistry*, 40, 1330-1340 p.
- USDA: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 1999. "Soil Biology Primer"; p. 57
- Valencia Zapata, Hernando Alfonso, 2010. "Manual de prácticas de microbiología del suelo"; Universidad Nacional de Colombia, Sedé Bogotá Facultad de Ciencias, Colombia, 523 p.
- Whitford G. Walter; 1989. "Abiotic controls on the functional structure of soil food webs"; *Biology and Fertility of Soils*, Springer-Verlag, (8), 1 – 6 p.
- Zhang X., Ferris Howard, Mitchell Jeffrey, Wenju Liang, 2017. "Ecosystem services of the soil food web after long-term application of agricultural management practices"; *Soil Biology & Biochemistry* vol. 111, 36-43 p.
- Zizumbo Villareal Rogelio, 2005. "Propuesta de planeación territorial para el Valle de Guadalupe, Ensenada, B.C., México"; Tesis para obtención de Maestría en Ciencias, UABC, 88 p.