

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD XOCHIMILCO
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD**

**DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y ANIMAL
LICENCIATURA EN AGRONOMÍA.**

Informe de Servicio Social

**Factores biológicos y químicos de fertilizantes nitrogenados
y fosfatados en suelos agrícolas y sus posibles estrategias
de recuperación en México**

**Prestador de Servicio Social:
Jair Martínez Robles
Matricula: 21520209664**

**Asesor Interno:
Dra. Marcela Vergara Onofre
No. Económico: 16356**

Firma  _____

**Asesor Interno:
Dra. Angélica Jiménez Aguilar.
No. Económico: 38202**

Firma  _____

Lugar de realización:

Licenciatura en Agronomía. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. (Programa de Transición de Enseñanza en la Modalidad Mixta-PROTEMM).

Fecha de inicio y terminación:

Del 30 de noviembre al 17 de mayo del 2022.

Índice

Portada	1
Índice	2
Resumen	3
Introducción	3
Marco Teórico	4
La importancia del suelo	4
Microorganismos del suelo	4
Concepto de fertilizante	5
Propiedades químicas	5
Reacciones en el suelo de fertilizantes nitrogenados y fosfatados	5
Beneficios y daños de los fertilizantes nitrogenados y fosfatados	6
Degradación de las propiedades biológicas y químicas de suelos por el uso de fertilizantes nitrogenados y fosfatados	7
Estrategias para la recuperación y conservación de suelos degradados por fertilizantes.....	8
Objetivo general:	8
Objetivos específicos:	8
Metodología	9
Actividades realizadas	9
Objetivos y metas alcanzados	9
Resultados, discusión y conclusión	10
Propiedades químicas (CE y pH) de suelos con aplicación de fertilizantes fosfatados y nitrogenados.....	10
Efectos ocasionados por aplicación de fertilizantes en microorganismos del suelo.	13
Principales técnicas de recuperación de suelos agrícolas degradados por fertilizantes nitrogenados y fosfatados en México.....	16
Conclusión	18
Recomendaciones	19
Bibliografía	19

Resumen

En México y el mundo el deterioro del suelo implica la pérdida de un recurso natural no renovable, que proporciona los elementos necesarios para el sostenimiento de la vida, la conservación del suelo debe considerarse, porque es una reserva muy amplia de biodiversidad, importante para producir alimento, sin embargo la aplicación de fertilizantes en altas dosis, puede llegar a afectar la reacción del suelo, modificando parámetros del mismo causando inestabilidad para una buena producción de cultivos. El objetivo de este trabajo fue revisar bibliográficamente los efectos de los fertilizantes nitrogenados y fosfatados en la calidad química y biológica de suelos agrícolas de México, e identificar las principales técnicas de recuperación de suelos degradados. Se utilizaron diferentes bases de datos, para la obtención de información y el desarrollo de este trabajo de revisión bibliográfica con referencias recientes. Los efectos principales fueron cambios de pH y CE, alteraciones en poblaciones de microorganismos edáficos disminuyendo su población, limitación de sus interacciones bióticas o reduciendo sus funciones enzimáticas, importantes para los ciclos biogeoquímicos. La aplicación de enmiendas químicas, suministran al suelo altos contenidos de (Ca^{2+}) y (Mg^{2+}) , lo cual promueve la precipitación del Al^{3+} reduciendo su toxicidad por lo cual su uso es mayor que el de las enmiendas orgánicas. Las enmiendas orgánicas se usan en mayor cantidad que las de tipo químicas. Una manera de reducir las cantidades de fertilizante, es combinar microorganismos compatibles con distintos cultivos, el inconveniente principal es la adaptación de estos a diferentes climas al aplicarse. La aplicación de fertilizantes sintéticos a tierras de cultivo, si conduce a alteraciones de pH y CE, sin embargo, estos cambios se producen cuando la aplicación es de manera excesiva, o a largo plazo, sobre todo sin un técnico capacitado.

Palabras claves: México, Suelo, Microorganismos, Fertilizantes, Efectos, y Enmiendas.

Introducción

En México como en el mundo, el deterioro del suelo implica la pérdida de un recurso natural no renovable, que proporciona los elementos necesarios para el sostenimiento de la vida (Angles et al., 2021). Se considera muy importante la conservación del suelo, porque es una reserva muy amplia de biodiversidad, por el enorme número de organismos que viven en él, sin embargo, el desgaste y alteraciones ocasionadas por la agricultura se ha incrementado de manera significativa, afectando el sector agroalimentario. Un suelo sano es más productivo y eficiente si se llevan buenas prácticas agrícolas, por lo que un adecuado manejo y una buena aplicación de fertilización son vitales. Sin embargo, en algunos estudios se ha comprobado, que el uso excesivo de fertilizantes, tiene la capacidad de cambiar y modificar la estructura química y biológica del suelo (Lamz & González, 2013). Por lo tanto, es importante analizar de manera más amplia los efectos químicos que tienen los fertilizantes nitrogenados y fosfatados en la diversidad edáfica, por su importancia en los ciclos biogeoquímicos del nitrógeno y del fósforo (Florencia et al., 2016); así como conocer las posibles formas de recuperación del suelo dañado por la fertilización antes mencionada. Según Lal (2004), las prácticas culturales o la aplicación de métodos físicos, químicos y biológicos son claves para recuperar los suelos afectados por excesos de sales minerales o fertilizantes.

Marco Teórico

La importancia del suelo

Es muy importante la conservación de los suelos destinados a la producción de alimentos porque aseguran la calidad de los cultivos producidos, la alimentación y una buena nutrición. Los suelos proporcionan los nutrientes esenciales, el agua, el oxígeno y el sostén para las raíces de las plantas destinadas a la producción de alimentos, además cumple la función de amortiguar y proteger las raíces de las plantas de las fluctuaciones de temperatura (FAO, 2015). El suelo es una de las reservas más importantes de biodiversidad, por el enorme número de organismos que viven en su superficie y al interior del mismo; la abundancia es tal, que se cree, supera la establecida por encima de este cuerpo natural. Vale subrayar, que los servicios eco sistémicos que presta el suelo, dependen de las complejas comunidades de organismos presentes en este medio (Burbano, 2016).

Microorganismos del suelo

Existen bacterias capaces de oxidar amoníaco para convertirlo en nitrito, siendo este un paso importante en el ciclo del nitrógeno. Boccolini et al. (2016) demostraron que el manejo agrícola puede afectar a la comunidad de bacterias oxidantes del Grupo 3 de Nitrosospira, a través del uso prolongado de fertilizantes nitrogenados como la urea, ya que dicha aplicación de urea tiende a aumentar la acidez del suelo (disminuye el pH) aumenta la abundancia y diversidad de las bacterias, pero no produce cambios significativos en la actividad nitrificante potencial de las bacterias dominantes.

Existen diferentes géneros de bacterias nitrificantes entre ellas se pueden mencionar Nitrobacter, Nitrosomonas, Nitrosococcus y Nitrosolobus, en el suelo interactúan dos tipos de bacterias nitrificantes el primer grupo está constituido por las bacterias oxidantes de amonio (NH_4), el segundo grupo son las bacterias oxidantes de nitritos (NH_2) que finalizan con nitratos (NH_3) (French et al., 2012)

La importancia que tienen las bacterias nitrificantes en el suelo es la regulación de los efectos y los riesgos de eutrofización, ya que, mediante su metabolismo, consumen las formas inorgánicas y contribuyen al equilibrio del ciclo biogeoquímico (French et al., 2012).

Por otro lado, existen bacterias solubilizadoras de fosfato, pertenecientes al género Bacillus sp, este género se encuentra distribuido en el suelo, agua, vegetales y aire, poseen diversos mecanismos de supervivencia como la formación de esporas centroméricas que, ante situaciones adversas, sobreviven y encuentran las condiciones favorables para su crecimiento, con una gran capacidad metabólica que conlleva a que su colonización en la rizósfera sea exitosa (Corrales et al., 2014)

Las bacterias que se asocian con la producción de ácidos orgánicos que solubilizan fosfato son generalmente Rizobacterias entre las que se encuentran: Bacillus, Pseudomonas, Burkholderia, Agrobacterium, Flavobacterium, Rhizobium, Yarowia, Streptosporangium, Aerobacter, Achromobacter y Erwinia.

La importancia de estas bacterias, es que al formar ácidos orgánicos, provenientes de la solubilización del fósforo orgánico e inorgánico, permiten la acidificación del suelo facilitando la absorción del fosfato, este elemento posee carga negativa formando complejos, al quelar los iones metálicos como el Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+3} y Al^{+3} que se encuentran asociados con fósforo insoluble y se transforman en fósforo soluble para la planta; más sin

embargo las reacciones químicas de estas bacterias, son capaces de convertir el fosfato tricálcico ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) en fosfato di y monobásico, asimilables para las plantas, muchas de estas bacterias utilizan la ruta metabólica de la glucosa para la producción de estos ácidos, provocando la liberación del fósforo al medio (Corrales et al., 2014)

Concepto de fertilizante

Según la FAO (2019), un fertilizante es cualquier material natural o industrializado, que contiene, al menos cinco por ciento de uno o más de los tres nutrientes primarios: nitrógeno, fósforo o potasio, sólo así pueden ser llamados fertilizantes. Se dice que los macronutrientes, son nutrientes primarios porque, son los que se necesitan en grandes cantidades, por lo que también depende de la calidad del suelo seleccionado para la producción agrícola, porque entre más pobre sea el suelo en nutrientes, mayor será la aplicación de elementos esenciales, nitrógeno, fósforo y potasio; Sin embargo, también se requieren micronutrientes que son los nutrientes secundarios que se aplican en menor cantidad, como el magnesio, azufre, boro, hierro, molibdeno, calcio, entre otros.

Propiedades químicas

El potencial de hidrógeno (pH) es una medida de la acidez (pH bajo = ácido) o alcalinidad (pH alto = básico o alcalino) del medio. El pH del medio de cultivo controla las reacciones químicas que determinan si los nutrientes van a estar o no disponibles (solubles o insolubles) para su absorción. Por tal motivo, los problemas nutritivos más comunes ocurren en los cultivos cuando el pH se encuentra fuera del rango óptimo.

La concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato se mide mediante la conductividad eléctrica (CE). La CE es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo. Esto significa que, a mayor CE, mayor es la concentración de sales. Se recomienda que la CE de un sustrato sea baja, en lo posible menor a 1dS m^{-1} (1+5 v/v). Una CE baja facilita el manejo de la fertilización y se evitan problemas por fitotoxicidad en el cultivo.

Reacciones en el suelo de fertilizantes nitrogenados y fosfatados

Los minerales arcillosos del suelo y la materia orgánica retienen nutrientes para la planta, es decir los nutrientes están ligados a estos componentes del suelo. La capacidad que tiene el suelo para retener una cierta cantidad de nutrientes determina la fertilidad natural de un suelo. Los fertilizantes pueden tener cargas positivas (+) (cationes) o cargas negativas (-) (aniones) y de acuerdo con estas cargas los nutrientes son atraídos por los minerales arcillosos y la materia orgánica como un imán (FAO, 2002).

El proceso de mineralización del nitrógeno orgánico del suelo es transformado por los microorganismos del suelo a formas inorgánicas, amonio y nitrato, para ello el amoníaco (NH_3) adquiere un hidrógeno y forma amonio (NH_4^+), el cual es fijado por las cargas de las arcillas del suelo o por la materia orgánica, gasificándose como amoníaco, el cual será asimilado por plantas o microorganismos en donde es lixiviado u oxidado por bacterias autotróficas mediante el proceso de nitrificación, en donde pierde dos átomos de hidrógeno para formar nitrito inorgánico, el cual es tomado nuevamente por los microorganismos del suelo (Philippot y Germon, 2005).

Cuando se aplican fertilizantes fosfatados solubles, estos rápidamente se disuelven al estar en contacto con suelo húmedo y pasan desde la solución del suelo a formar parte de la

fracción de P lábil, y posteriormente, continúan las reacciones de precipitación y adsorción con los óxidos de hierro y aluminio, formando con el tiempo, compuestos menos solubles (fracción de P no lábil) y de menor disponibilidad para las plantas. Sin embargo, a través de procesos químicos y biológicos tanto del suelo como de la planta, se transforma en P disponible para ser absorbido por las plantas, pero cuando se aplican fertilizantes fosfatados insolubles primero deben ser disueltos por el ácido generado en los suelos razón por la cual estos fertilizantes son recomendables para suelos ácidos (pH agua < 5,8) (Vistoso et al., 2016)

Beneficios y daños de los fertilizantes nitrogenados y fosfatados

La fertilización sintética presenta diversas características en cuanto abono y mejorador del suelo; entre sus características favorables se encuentra la solubilidad de nutrientes que están más rápidamente disponibles para la asimilación por parte de la planta (FAO, 2002). Por otro lado, tienen la desventaja que, en condiciones de exceso de agua en el suelo, gran cantidad de estos nutrientes pueden ser desaprovechados ya sea por su erosión o lixiviación, contaminando a la vez las aguas superficiales; por lo que, si estos fertilizantes son utilizados de manera indiscriminada e inadecuada, pueden afectar el suelo (Navarro, 2001).

La aplicación de fertilizantes en altas dosis, si es una práctica continua puede llegar a afectar la reacción del suelo, y como ejemplo, se tiene el efecto acidificante, que tienen algunos fertilizantes nitrogenados amoniacales o el efecto alcalinizante, del termofosfato de magnesio (Baldoncini, 2015).

Los suelos ácidos son un problema de gran importancia para las comunidades productoras de México, conservar la calidad del suelo es difícil a medida que pasa por varias aplicaciones de dosis de fertilizantes, ya que esta práctica disminuye el pH del suelo convirtiéndolo en un problema, resultado del uso de fertilizantes nitrogenados que contienen N-amonio, que favorece el proceso de la nitrificación, donde ocurre la liberación de moléculas de hidrógeno, causando una reacción que provoca un aumento en la acidez del suelo, reduciendo así el pH.

Para llegar al grado de acidificar el suelo, se lleva a cabo el proceso de sulfatación por medio del producto de la oxidación primaria de sulfuros de hierro y la generación de ácido sulfúrico con el desgaste de minerales primarios del suelo e hidrólisis secundaria del aluminio (Gómez, 2006 en Castro et al., 2006)

Por el tipo de acidificación de un suelo, puede llegar a dificultar su diagnóstico ya que existen tres tipos de acidificación de suelo, la primera es la acidez real, en donde se contempla la acidez activa más la acidez intercambiable, la segunda es la acidez retenida, la cual es la que proviene de minerales precipitados, y por último la acidez potencial, la cual se da por procesos de oxidación que pueden generar acidez actual y retenida, por lo que repercute en la dosificación ideal de materiales encalantes para lograr neutralizar hasta niveles tolerantes del cultivo (Zhang & Luo, 2002; Ahern et al., 2004 en Castro et al., 2006)

Desde otro ángulo los fertilizantes más comunes o comerciales no son de alta calidad, es por ello que a través de otros estudios se ha comprobado que los fertilizantes nitrogenados como los fosfatados, también poseen metales pesados, dañinos para todo organismo vivo, como en el estudio de Martí et al. (2002) en donde se comprobó que los fertilizantes

fosfatados contenían más plomo y cadmio que nitrógeno, a diferencia de los fertilizantes más refinados como los son los que se utilizan para el fertirriego.

Los fertilizantes sintéticos o artificiales no son considerados como mejoradores del suelo, sus efectos en este sentido pueden ser indirectos a través del aumento de la producción de biomasa, pero así mismo presentan efectos negativos a largo plazo, debido a que erosionan el suelo donde se utilizan.

Dick (1992), menciona que las constantes aplicaciones de fertilizantes sintéticos pueden aumentar la actividad biológica del suelo, debido a una mayor producción de biomasa vegetal, pero estas aplicaciones repetidas de nutrientes de fertilizantes sintéticos pueden suprimir la producción de ciertas enzimas del suelo como la arilsulfatasa y la fosfatasa ácida que están involucradas en el ciclo del fósforo y azufre.

Degradación de las propiedades biológicas y químicas de suelos por el uso de fertilizantes nitrogenados y fosfatados

La degradación de los suelos se refiere básicamente a los procesos desencadenados por las actividades humanas que reducen su capacidad actual y/o futura para sostener ecosistemas naturales o manejados, para mantener o mejorar la calidad del aire y agua, y para preservar la salud humana (SEMARNAT, 2000); Y no solamente humano, también puede ser de origen natural, por lo que se convierte en el resultado de una compleja interacción de factores naturales, como el tipo de suelo, el relieve, la vegetación y el clima; de factores socioeconómicos como la densidad poblacional, tenencia de la tierra, las políticas ambientales y los usos y gestión del suelo (Gardi et al., 2014)

El problema de la degradación y de la pérdida de productividad de los suelos inicia en muchos casos, más allá de las afectaciones a este recurso, cuando zonas con coberturas forestales o de otros ecosistemas naturales se transforman a campos de cultivo, con lo cual, además de los daños a la biodiversidad, se producen grandes pérdidas de carbono orgánico del suelo y se aumenta la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera (Zinck, 2005).

Uno de los principales efectos químicos al suelo son las constantes alteraciones de pH, ya que para promover una mayor disponibilidad de nutrientes a los cultivos es necesario contar con un pH neutro, sin embargo, la capacidad amortiguadora de los suelos regula la intensidad con que se produce la acidificación por el agregado de fertilizantes, por ejemplo en suelos con un bajo porcentaje de saturación de bases presentan una acidificación más rápida, y esta es más intensa cuanto más intensivo es el cultivo y el aporte de fertilizantes amoniacales; y por el contrario si los suelos que presentan altos contenidos de arcilla, materia orgánica y bases de cambio, el proceso de acidificación es más lento y progresivo en el tiempo (Baldoncini, 2015)

Baca et al. (2000) menciona que el nitrógeno no es utilizado por las plantas directamente, si no que su asimilación necesita de un proceso de reducción que es realizado solamente por microorganismos, los cuales son capaces de realizar la fijación en el ciclo del nitrógeno, en donde la actividad microbiana selecta del suelo, absorben el nitrógeno atmosférico y lo convierten en amonio (NH₄).

Algunos microorganismos se encuentran libres en el suelo y se alimentan de materia orgánica, otros se encuentran creciendo en asociación con las raíces y otros establecen

simbiosis con plantas, donde la planta le da energía para crecer mientras que la bacteria le provee nitrógeno. Estos procesos biológicos contribuyen con el 65% de la producción total anual de nitrógeno fijado (Fisher y Newton, 2002) por ello la importancia de la conservación de la fauna edáfica. Esta última modificada en su estructura y composición por el pH del suelo, el cual es muy sensible a la aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosfatados.

Estrategias para la recuperación y conservación de suelos degradados por fertilizantes

Es muy importante buscar alternativas, que ayuden a la rehabilitación de suelos destinados a la agricultura, para ello, existen métodos físicos, químicos y biológicos para recuperar los suelos afectados por excesos de sales minerales o fertilizantes; entre los que destacan son la adición de abonos orgánicos que mejoran la estructura y permeabilidad del suelo, el uso de enmiendas químicas basadas en el empleo de sales cálcicas de alta solubilidad que intercambian el sodio por calcio y la aplicación de ácidos (Tejada et al., 2006; Aceves, 2011).

Las enmiendas son sustancias que se añaden al suelo con el objeto de mejorar sus características físicas, biológicas y químicas. Estas pueden estar constituidas por desechos de origen animal, vegetal o mixto (enmienda orgánica) o también mineral (enmienda química). Las enmiendas orgánicas pueden consistir en residuos de cultivos dejados en el campo después de la cosecha (rastros); restos orgánicos de la explotación agropecuaria (estiércol, purín); restos orgánicos del procesamiento de productos agrícolas; desechos domésticos, (basuras de vivienda, excretas); Humus de lombriz; y el Compost, preparado con las mezclas de los compuestos antes mencionados y mediante un proceso de descomposición controlada. Las enmiendas químicas constituyen productos minerales que restauran propiedades físicas y químicas en el suelo (Artica, 2012).

La incorporación de materiales orgánicos, tales como los estiércoles, el rastrojo de maíz o los residuos de la cobertura de leguminosas, son prácticas de manejo agrícola que reducen el uso de fertilizantes sintéticos, en los diversos sistemas de producción (Novelo et al., 2000).

Los resultados de Álvarez et al. (2010) señalan que para mejorar la producción de maíz no basta con la aplicación de fertilizantes inorgánicos, ya que la incorporación del rastrojo, del maíz y la cobertura de leguminosas al descomponerse lentamente por la intensa actividad biológica del suelo, ayuda a recuperar paulatinamente la fertilidad del suelo, pero sus efectos sobre el rendimiento de maíz no son evidentes en el primer ciclo de cultivo. Sin embargo, cuando la incorporación de los rastros se combinó con la incorporación del estiércol ovino se incrementó el rendimiento de grano del maíz, favoreciendo la biomasa microbiana del suelo.

Objetivo general:

Revisar bibliográficamente los efectos de los fertilizantes nitrogenados y fosfatados en la calidad química y biológica de suelos agrícolas de México.

Objetivos específicos:

Buscar bibliográficamente los efectos de los fertilizantes nitrogenados y fosfatados, con respecto a las alteraciones que ocurren con los microorganismos del suelo.

Averiguar bibliográficamente sobre las principales técnicas de recuperación de suelos agrícolas degradados por fertilizantes nitrogenados y fosfatados en México. Identificar alternativas biológicas para disminuir el uso de fertilizantes nitrogenados y fosfatados.

Metodología

La propuesta de investigación a desarrollar será de tipo bibliográfico para cumplir con los objetivos planteados se revisarán las bases de datos; WEB OF SCIENCE, REDALYC, SCIELO y GOOGLE ACADÉMICO; las palabras claves a considerar en la búsqueda bibliográfica serán: fertilizantes, fosfatados, nitrogenados, suelo, México, microorganismos y pH. La revisión bibliográfica a recaudar en las bases de datos, cubrirá el período comprendido entre el 2008 al 2022.

Actividades realizadas

ACTIVIDADES / FECHAS	NOV				DIC-ENE				FEB-MAR				ABR-MAY			
	SEMANAS				SEMANAS				SEMANAS				SEMANAS			
	1	2	3	4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4
Inscripción de Protocolo			X													
Inicio de investigación				X	X											
Días de investigación Lunes / Domingo 2 horas diarias				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Días de Asesoramiento de actividades Miércoles				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Reporte de actividades Semanalmente					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Búsqueda de artículos especializados				X	X	X	X	X	X							
Análisis de resultados de la revisión bibliográfica										X	X	X	X			
Redacción de reporte final														X	X	X
Entrega de reporte final																X
Finalización de la Investigación																X

Objetivos y metas alcanzados

Durante esta investigación bibliográfica, se cumplió el objetivo principal, ya que, si se encontraron efectos causados por los fertilizantes nitrogenados y fosfatados en la calidad química y biológica del suelo, así también se alcanzaron las metas establecidas, ya que se obtuvo información bibliográfica significativa, y actual de los temas planteados, que permitió mejorar mi conocimiento.

Resultados, discusión y conclusión

De acuerdo a la revisión bibliográfica de 54 artículos de investigación del periodo 2008-2021, en ellos se pudo observar que en la mayoría de los estudios las mediciones del pH y la CE del suelo son reportados antes de la siembra del cultivo, pero no al finalizar la temporada, El cultivo que ha destacado más es la producción de Maíz, seguido de las enmiendas agrícolas e investigaciones sobre mejoradores biológicos del suelo como el uso de bacterias y hongos beneficiosos, para corregir las propiedades del suelo. Sobre efectos de fertilizantes, los estudios en México son escasos y la mayoría de las investigaciones corresponden a otros países (Figura. 1).

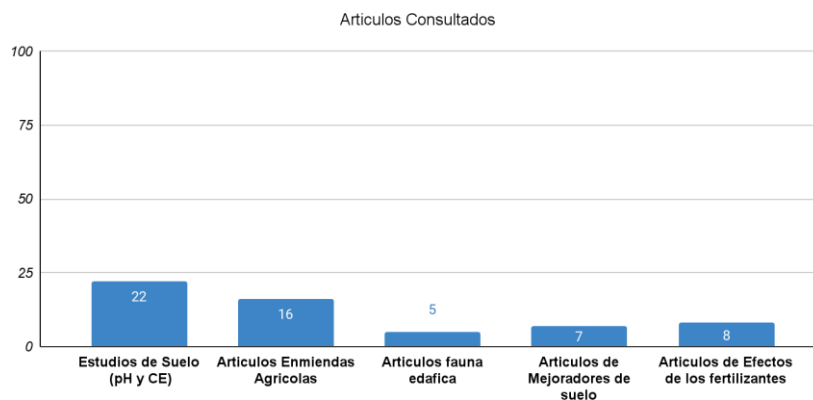


Figura 1. Principales temas de investigación reportados en los artículos utilizados en la revisión bibliográfica.

Propiedades químicas (CE y pH) de suelos con aplicación de fertilizantes fosfatados y nitrogenados.

De acuerdo con lo observado (Figura 2 y Figura 3) en la mayoría de artículos revisados, los suelos son de trabajo continuo para cultivar, presentan suelos alcalinos, ácidos y en menor número suelos neutros y la mayoría con una conductividad eléctrica en el rango de 1dS, que facilita el manejo de la fertilización y evita problemas por fitotoxicidad en el cultivo (Barbaro et al., 2018; INTAGRI (2017)).

De los artículos revisados los resultados coinciden con lo que mencionan Navarro (2001) y Baldoncini (2015), con relación a que se puede afectar el suelo con la fertilización continua, alterando el pH este efecto es muy evidente porque es un efecto de los fertilizantes sintéticos. Lo anterior se observó en el trabajo de Aguilar et al. (2017) donde al aplicar la fertilización sintética en el cultivo de maíz, presentó un ligero incremento en el pH (7.2 - 7.7), de igual manera se observó en otro trabajo este ligero incremento en el pH (7.4-7.7) con cultivo de trigo (Báez et al., 2020) , así como también en Flores et al. (2019) en cultivo de maíz (7.7 - 7.8). Cabe mencionar que los fertilizantes aplicados en los artículos revisados fueron: urea, superfosfato simple, fosfato di amónico (DAP), y cloruro de potasio. Con respecto a la conductividad eléctrica cada caso de estudio presentó diferentes valores, la mayoría en un rango óptimo, a diferencia del leptosol que presenta 5.4 dS (Figura 3).

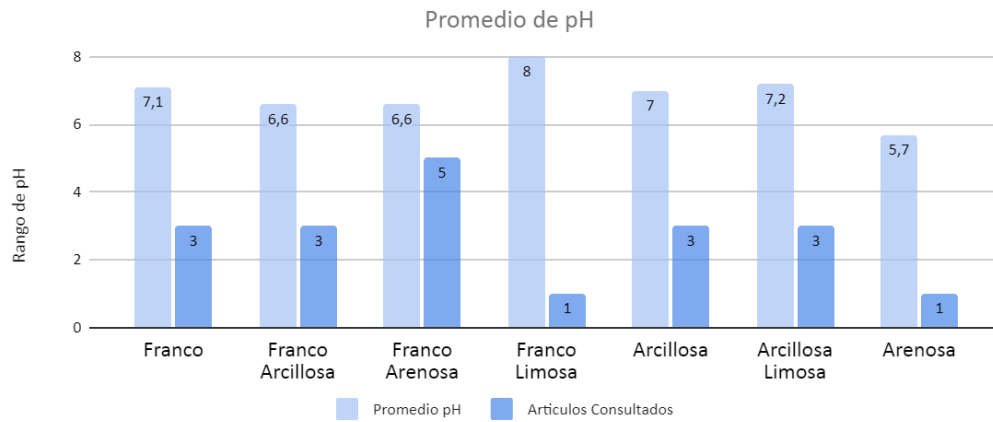


Figura 2. Promedio de pH con relación a la textura del suelo.

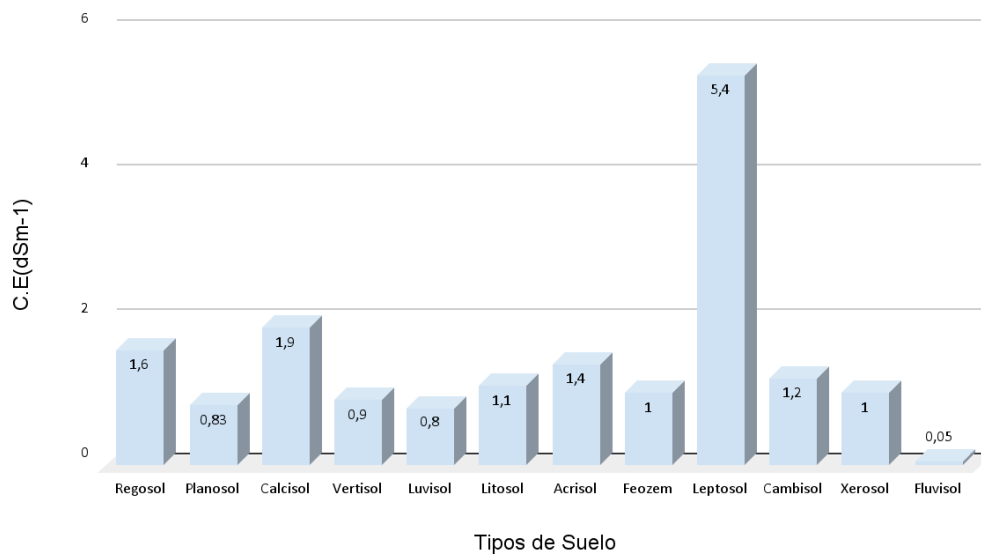


Figura 3. Relación con tipos de suelo y su Conductividad eléctrica de los distintos suelos reportados en los artículos revisados.

En los trabajos recopilados bibliográficamente, se encontró que hay variedad con los tipos de suelo, también unos de los cultivos más estudiados siguen siendo cereales como el maíz o el sorgo, la mayoría de los casos de estudio pertenecen a la zona centro y sur de México, los tipos de suelos que más destacaron fueron los regosoles y los calcisoles (Tabla 1).

Tabla 1. Sitios, tipos de suelo y cultivos reportados en los artículos consultados.

#	Tipo de suelo	Cultivo	Lugar	Referencias
1	Regosol	Maíz	Guerrero - México	Aguilar et al ., 2017
2	Planosol Eútrico	Sorgo	Tamaulipas - México, Vaso Matamoros	Díaz et al., 2018
3	Regosol	<i>Gmelina arborea</i>	Tlatlaya, México.	Téllez et al., 2021
4	Calcisol	Maíz	Guanajuato - México	Flores et al., 2019
5	Calcisol	Maíz	Nuevo León	Cantú et al., 2018
6	Vertisol	Sandia	Colima , México.	García et al., 2018
7	Luvisol	Café	Finca Cafetalera, del Soconusco Chiapas México.	Ramos et al., 2008
8	Litosol	Sorgo	Estado de México	Velázquez et al., 2012
9	Acrisol	Maíz y Sorgo	Aguascalientes - México sitio experimental	Osuna et al., 2017
10	Feozem	Tomate de Cáscara	Campo experimental de la Uach - México	López et al., 2019
11	Leptosol	Algodón	Mexicali - México	Santillano et al., 2019
12	Cambisol	Sorgo	Tamaulipas - México, Río bravo, campo de experimentación	Díaz et al., 2018
13	Cambisol, Luvisol & Lixisol	Café	Concordia Chiapas, México.	Gómez et al., 2018
14	Vertisol pélico	Trigo	Celaya - Guanajuato - México	Báez et al., 2020
15	Xerosol	Nogal 'Western Schley'	Chihuahua - México	Cruz et al., 2020
16	Calcisol	Ajo	Texcoco - México	Cárdenas et al., 2019
17	Podzólico	Brócoli	Michoacán - México	Raya et al., 2018
18	Calcisol	Limón	Veracruz - México	Vargas et al., 2015
19	Xerosol	Manzana	Chihuahua - México	Orozco et al., 2016
20	Fluvisol	Stevia	Chiapas - México	Aguirre et al., 2018
21	Regosol	Lima	Jalisco- México	Martínez et al.,2015
22	Regosol	Limón	Oaxaca - México	Ávila et al.,2017

Efectos ocasionados por aplicación de fertilizantes en microorganismos del suelo.

Lauber et al. (2009) plantean en sus resultados dos hipótesis acerca del comportamiento de las bacterias con respecto al pH del suelo:

-En la primera cree que el pH puede no alterar directamente la estructura de la comunidad bacteriana, sino que puede funcionar, proporcionando las condiciones favorables al suelo como la disponibilidad de nutrientes, solubilidad de metales catiónicos, carbono orgánico, humedad del suelo o salinidad, ya que estos a menudo están directa o indirectamente relacionados con el pH del suelo.

-En la segunda hipótesis cree que el pH impone directamente una restricción fisiológica sobre las bacterias del suelo, alterando su desarrollo por la incapacidad de sobrevivir si el pH del suelo cae fuera de su rango óptimo.

Con base en los resultados de esta revisión, existen trabajos que coinciden más con la segunda hipótesis, como se muestra en el trabajo de Ortiz et al. (2020) que al acidificar el suelo con mayores cantidades de fertilizante sintético, se afecta la estructura de la comunidad bacteriana, su funcionalidad enzimática, ocasionando reducción de diversidad de microorganismos en el suelo; de igual manera como lo demuestra el trabajo de Ge Y et al. (2008) la aplicación de abonos orgánicos tienden a incrementar el pH ocasionando que solo se incrementen especies específicas de microorganismos reduciendo a otras, y que al aplicar nitrógeno este contrarresta este efecto disminuyendo el pH, sin embargo, la primera hipótesis no se descarta porque el pH si proporciona las condiciones necesarias al suelo para que sea habitable para los microorganismos, porque su alteración provoca efectos sobre los microorganismos edáficos, demostrando que la respuesta de microorganismos puede depender de acidificar o alcalinizar el suelo y que los efectos son evidentes como se muestra en la Tabla 2.

De acuerdo a los artículos revisados se observó una diversidad de microorganismos en los suelos estrechamente relacionada con el pH (Tabla 2). En cada tipo de suelo existen grupos de bacterias, y algunos de estos grupos son más dominantes que otros, ya que, al disminuir el pH del suelo, por la aplicación de dosis de fertilización excesivas, la riqueza de la diversidad bacteriana del suelo se altera, ya que la mayoría de bacterias están asociadas a pH neutros según Fierer (2017), sin embargo, las ácido bacterias y las proteo-bacterias son los filo tipos más dominantes, como lo demuestra el estudio de Lauber et al. (2019).

Tabla 2. Efectos de los fertilizantes sintéticos (FS) y orgánicos (FO)

Fuente	Dosis FS	Dosis FO	Efectos en los microorganismos	Comunidades microbianas
Ge Y et al., 2008	N300 kg/ha (Urea) K ₂ O300 kg/ha P ₂ O ₅ 54 kg/ha	5516 kg/ha	-Disminución de diversidad bacteriana por abonos orgánicos. -Aumento de especies específicas por abonos orgánicos. -Nitrógeno favorece abundancia de bacterias -El Nitrógeno puede contrarrestar los efectos de los abono orgánicos y las aplicaciones con fósforo y potasio.	Proteobacterias Acidobacterias Gemmatimonadetes Chloroflexi Actino-bacterias Bacteroidetes Firmicutes Planctomycetales
Bing-Bing et al., 2021	(Urea) N 196 k/ha N 56k/ha N 0k/ha		-Disminución de las interacciones entre bacterias y hongos. -Los microorganismos se vuelven más sensibles al cambio ambiental con el exceso de N el fertilizante. -Disminución de bacterias a altas dosis. -El fertilizante N también redujo la fijación de N ₂ .	-Bacterias -Hongos
Hernández et al 2013	Aplicación Continua		-Disminución de Bacteria <i>Rhizobium</i>	Alpha-proteobacteria
Ortiz et al., 2020	Maíz N 264 Kg/ha P 48 Kg/ha S 48 Kg/ha Trigo/soja N 150 Kg/ha P 25 Kg/ha S 25 Kg/ha		-A los 5 cm, la fertilización afectó la estructura de la comunidad bacteriana. -Afectó la funcionalidad enzimática bacteriana con el incremento de la fertilización -Se redujeron la riqueza y diversidad Bacteriana.	Bacterias
Boccolini et al., 2016	N 165 kg/ha N 90 Kg/ha N 0 Kg/ha		-La urea disminuyó el pH del suelo. -Aumentó la abundancia y diversidad de las Bacterias Oxidantes de Amonio	-Bacterias dominantes del Grupo 3 de Nitrosospira -Género Nitrosomonas - B-Proteobacterias oxidantes de amonio
Samuel et al., 2011	N 120 kg/ha P 90 Kg/ha	50 ton/ha	El manejo a largo plazo con nutrientes afecta las propiedades biológicas del suelo. La actividad de la fosfatasa fue mayor con abono orgánico que con fertilización mineral. La labranza reduce la actividad biológica	Bacterias solubilizadoras de fósforo.
Álvarez et al., 2010 a	N 120 kg/ha P60 kg/ha	6 t/ha composta, 6 t/ha bocashi 6 t/ha humus de lombriz	-Mayor actividad de la fosfatasa alcalina con humus de lombriz y de la fosfatasa ácida con composta en fase temprana. Disminución en la floración y el llenado de grano. La actividad de la ureasa fue mayor en la floración y el llenado de grano que en el crecimiento vegetativo, la cual disminuyó en la floración por efecto de la dosis alta de fertilización.	Bacterias

Lauber et al. (2019) mencionan que, en 88 suelos estudiados de América del Norte y Sur, los filo tipos más dominantes de microorganismos fueron: acidobacterias (31%), alfa-proteobacterias (18%), actinobacterias (13%), bacteroidetes (11%) y beta-

gammaproteobacterias (9.1%). Mientras que firmicutes (3%), deltaproteobacterias (2%), gemmatimonadetes (1,5 %), saccharimonadia (1,0 %), verrucomicrobia (0,9 %) y cyanobacteria (0,7 %) fueron los menos dominantes. Cabe mencionar que esta investigación es de gran relevancia por su aporte en el conocimiento de los microorganismos más dominantes que hay en los suelos de gran parte de Latinoamérica.

Bing et al. (2021), encontraron la existencia de algunos de los filo tipos antes mencionados (Tabla 2), entre los que destacan las acidobacterias y proteobacterias, en esta misma investigación se analizaron los efectos que pueden tener las comunidades de microorganismos con respecto a tres diferentes dosis de aplicación de fertilizante, donde posteriormente se encontró que la acidificación de suelos, se debe por la excesiva aplicación de fertilizantes sintéticos, lo cual tiende a ocasionar pérdidas de la diversidad de microorganismos, y alterar las interacciones de las comunidades bacterianas y fúngicas como se observa en el caso de *Bacillus subtilis* el cual se adhiere al micelio del hongo *Aspergillus niger* para producir intercambios de varias sustancias y energía entre ellos ya que estos dos cohabitan en el mismo ambiente (Benoit et al., 2015); En el estudio de Ge Y et al. (2008) se hizo lo mismo pero a largo plazo en un campo experimental en China, durante 18 años para observar los cambios que surgían en los microorganismos, aplicando diferentes dosis de fertilizantes sintéticos y con abono orgánico, obteniendo resultados parecidos a los de Bing et al. (2021), en donde se puede observar que la acidez ejerce un cambio con los microorganismos, sin embargo en las dosis aplicadas de abono orgánico se observan cambios que pueden ser y no ser favorables, ya que por un lado aumentan el número de especies específicas y por el otro se, disminuye la diversidad, obteniendo un desequilibrio en la población de microorganismos del suelo, aunque también se observa que la aplicación de nitrógeno puede beneficiar a los microorganismos, no obstante en Bing et al. (2021), se observó que los microorganismos del suelo se vuelven sensibles a los cambios climáticos, después de una excesiva fertilización sintética, por lo que se cree que entran a un tipo de adaptabilidad en el suelo pero en el proceso, se pierden algunos de ellos, por otro lado los hongos especialmente los firmicutes se adaptaron mucho mejor a las dosis de fertilizantes aplicadas; En Hernández et al. (2013) se observó que hubo una disminución de la bacteria *Rhizobium*, por la aplicación constante fertilización con nitrógeno, esto puede ser por lo que se analizó en la investigación de Bing et al. (2021) por cambios climáticos y la sensibilidad de las mismas; En otras investigaciones como la de Bocollini et al. (2016) se obtuvo información de las bacterias edáficas más dominantes, al aplicar tres distintas dosis de nitrógeno, por lo que se repite el patrón de la acidez del suelo, si la aplicación de nitrógeno es más abundante, sin en cambio las bacterias que se beneficiaron fueron las bacterias oxidantes de amonio, del grupo 3 como la nitrospira y las nitrosomonas; En el trabajo de Ortiz et al. (2020) las aplicaciones de fertilizantes alteraron la diversidad de microorganismos y su funcionalidad enzimática, sobre todo en los primeros 5 y 10 centímetros de suelo, confirmando los patrones observados en los trabajos antes mencionados.

A lo largo de esta investigación bibliográfica se encontraron datos en donde la interacción que existe en el suelo con enzimas especializadas son vitales para responder a varios procesos, para conservar el suelo, ya que existen enzimas muy importantes que participan en los ciclos de los elementos como en el ciclo del carbono o nitrógeno, estas tienen funciones especializadas para aprovechar nutrientes, como lo es en el elemento fósforo orgánico, donde interactúan las fosfatasa, o en el caso del nitrógeno, las nitrogenasa, no

obstante la actividad enzimática puede disminuir con aplicaciones constantes de fertilizantes químicos, como se demostró en una investigación por Samuel et al. (2011) en donde se encontró que la aplicación con abonos a base de estiércol de corral tiene mayor actividad enzimática que en parcelas fertilizadas mineralmente, debido al incremento de microorganismos, por lo que la supervivencia y conservación de estos es importante, porque como menciona Ruiz et al (2008) bacterias como, *Clostridium pasteurianum*, *Rhizobium* y *Azotobacter* contribuyen con la enzima nitrogenasa para aprovechar mejor el nitrógeno, para el cultivo, de igual manera con la enzima fosfatasa, en bacterias solubilizadoras de fósforo como *Acinetobacter*, *Chryseobacterium*, o *Flavobacterium* y hongos como *Rhizopus*, *Aspergillus*, o *Trichocladium* Beltrán (2014).

Principales técnicas de recuperación de suelos agrícolas degradados por fertilizantes nitrogenados y fosfatados en México.

Tras la revisión bibliográfica de técnicas recuperación de suelos degradados por uso continuo de fertilizantes, se observó que la aplicación de cal y yeso agrícola son más usadas, que las enmiendas orgánicas (Figura 4.). Las primeras dos técnicas antes mencionadas son utilizadas por el beneficio que proporcionan, al movilizar el aluminio y reducir su toxicidad, favoreciendo el aumento de la capacidad de intercambio catiónico de las arcillas, como se menciona en las investigaciones de Calva y Espinosa (2017) y López et al. (2018).

Sin embargo, las enmiendas orgánicas son buenas porque pueden restaurar los suelos degradados y mejorar las restricciones fisicoquímicas del suelo (Celestina et al., 2019), pero una de sus desventajas es que se requiere más volumen en toneladas de estiércoles, compost o humus como se observa en las investigaciones de Ge Y et al. (2008) y Álvarez et al. (2010) b en donde aplican de 5 a 6 toneladas por hectárea, lo cual puede resultar en mayores costos económicos para el agricultor promedio o ser limitante si no existe la disponibilidad suficiente de estos insumos para ser aplicados.



Figura 4. Con respecto a la búsqueda de los artículos de enmiendas para suelo la enmienda química es la que más sobresalió con 62.5 % que la aplicación de enmiendas orgánicas.

La degradación de suelos agrícolas, suele tener consecuencias irreversibles, por la gran pérdida de la biota edáfica, y sobre todo las propiedades físicas y químicas del suelo, para

ello existen técnicas que pueden enmendar, los daños provocados al suelo, por acidificación o alcalinización. Tejada (2013) menciona que para mejorar la calidad de los suelos, disminuir la degradación y contaminación por productos químicos como fertilizantes y pesticidas se utilizan diferentes aplicaciones como el yeso agrícola, cal agrícola, la composta y el humus de lombriz, para que actúen sobre la estabilidad estructural del suelo, estas técnicas no son malas si se aplican correctamente, como refiere Mendoza et al. (2010), que una de las características físicas del yeso agrícola, cal agrícola, así como el humus de lombriz y la composta es que tienen un buen potencial como fertilizante y son productos permitidos para ser utilizados en la producción de los diferentes cultivos agrícolas, mejorando las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, referente a la cal y el yeso agrícola esto puede ser posible, porque al hacer la aplicación de estos productos se suministran al suelo altos contenidos de (Ca^{2+}) y (Mg^{2+}) , lo cual promueve la precipitación del Al^{3+} provocando la reducción de su toxicidad (Calva y Espinosa, 2017); López et al. (2018) mencionan que, la aplicación de cal agrícola moviliza el (Al^{3+}) y aumenta la capacidad de intercambio catiónico, la disponibilidad y absorción de fosfatos en el suelo. En esta búsqueda bibliográfica se detectó que la aplicación de cal agrícola para corrección de suelos ácidos puede variar según la textura del suelo al aplicarse, si la textura es más franco arenoso suele tardar menos tiempo de corrección como lo demostró Wenneck et al. (2021).

Entre otras técnicas se encontró que la aplicación de ácido sulfúrico para suelos salinos sódicos, se puede tener, mejor eficiencia, al aplicarse el lavado con ácido sulfúrico más estiércol porque se neutralizan los compuestos de la reacción alcalina reduciendo el pH y el tiempo de reacción (Manzano et al., 2014).

Las enmiendas orgánicas también son otra opción viable para la restauración del suelo, mediante la incorporación de estiércol, de rastrojo o cobertura vegetal, ya que esto puede incrementar la biomasa microbiana en el suelo. Lo anterior se refleja en la investigación de Álvarez et al. (2010) b, en donde solo se disminuyó la fertilización habitual y se mezcló con estiércol, rastrojo y cobertura de leguminosa, obteniendo un incremento de biomasa microbiana y un rendimiento del 20%, mejor que con la fertilización sintética.

De acuerdo a la revisión presente existen alternativas de tipo biológicas, para disminuir el uso de fertilizantes sintéticos, usando bacterias como *Rhizobium* o *Azotobacter* y hongos como *Glomus* sp (Mesmela et al., 2019; Reyes & Valery, 2007; Quiñones et al., 2012). Sin embargo, en la investigación de Harris et al. (2019), se observó que se puede afectar su eficiencia por el clima cambiante, impidiendo su desarrollo a los 45° C, no obstante, su uso puede ayudar a recuperar suelos con poca actividad microbiana.

Con esta revisión bibliográfica se encontró, algunas alternativas para reducir el uso de fertilizantes y así poder recuperar parte de los suelos degradados, esto puede ser por medio de la aplicación de mejoradores biológicos de suelo como se observó en los siguientes trabajos; en la investigación de Mesmela et al. (2019), al utilizar las bacterias nitrificantes estas regulan los efectos y los riesgos de eutrofización, mediante su metabolismo ya que consumen las formas inorgánicas y contribuyen al equilibrio de los ciclos biogeoquímicos, pero para ello debe de existir un equilibrio en las formas del nitrógeno al aplicarse dichos mejoradores.

Entre las posibles formas de disminuir la fertilización cotidiana, se ha podido aplicar microorganismos del suelo, como bacterias nitrificantes, y hongos micorrízicos arbusculares, sin embargo, el clima puede ser un factor determinante que influye sobre el desarrollo de estos organismos y la planta, como se planteó en el estudio de Harris et al. (2019), en donde la evaluación se llevó en tres sitios diferentes en el estado de Puebla con la aplicación de bacterias nitrificantes y hongos micorrízicos que hacen simbiosis con el cultivo de haba, en este se observó que el clima cambiante disminuye el desarrollo de los microorganismos como las bacterias del género *Rhizobium*, en donde cada cepa soporto la temperatura de cada lugar, sin embargo, en la población de bacterias se inhiben al alcanzar los 45°C. Por otra parte, se observó que al inocular ambos microorganismos tanto bacterias y micorrizas, el desarrollo del cultivo era más eficiente, generando más biomasa en el cultivo de haba, mismo efecto que tiene el nitrógeno en cualquier cultivo, también esto se observó en Álvarez et al (2013) donde al aplicar la combinación entre el encalado y las micorrizas incrementa la biomasa del cultivo y a la vez se corrige el pH del suelo.

Otro de los géneros encontrados mediante la búsqueda bibliográfica fue, *Azotobacter* spp. cepa MF1b que funge como disolvente de fosfatos para la producción de maíz, la cual ha tenido buenos resultados significativos como en el incrementó del peso seco, adicionando tratamientos con potasio y roca fosfórica, sin embargo, las condiciones físicas y químicas del suelo, como el pH y el contenido de materia orgánica del suelo, afectan el desarrollo de esta cepa, al mismo tiempo se encontró que las densidades poblacionales de bacterias y hongos cultivables disolventes de fosfatos de calcio son dependientes de la especie vegetal seleccionada (Reyes & Valery 2007).

En otro estudio hecho por Quiñones et al. (2012), se analizó una simbiosis entre plantas de papaya, con el hongo *Glomus* sp con tres diferentes fuentes de fósforo (superfosfato triple, superfosfato simple y rocas fosfóricas). Los mejores resultados se obtuvieron al combinar el hongo con el superfosfato triple y el superfosfato simple, por ser de acción rápida, a diferencia de la roca fosfórica, que fue de lenta liberación. En general mejores resultados se obtuvieron en las plantas de papaya que fueron combinadas con *Glomus* sp y fósforo, que las plantas sin hongos micorrízicos y solo con fósforo, por lo que suelos ácidos pueden ser mejorados con este tipo de interacciones biológicas, cuando los microorganismos del suelo empiezan a disminuir por la explotación constante.

Conclusión

La aplicación de fertilizantes sintéticos a suelos de cultivo, conduce a alteraciones de pH, sin embargo, estos cambios se producen cuando la aplicación es de manera excesiva, a largo plazo, sobre todo sin la guía y el control del técnico.

Los cambios biológicos por efecto de la aplicación de fertilizantes sintéticos en el suelo, se observan principalmente en comunidades de bacterias y hongos afectando su función, disminuyendo sus interacciones bióticas o reduciendo su población.

El uso de las enmiendas de suelo, se han vuelto indispensables para la recuperación de tierras de cultivo, destacando, las de tipo químico por su efectividad, sin olvidar que quizás por también son utilizadas por su fácil disponibilidad, o por las posibilidades económicas del agricultor, ya que las de tipo orgánico usan mayores cantidades de toneladas por hectárea, pero no solo favorecen la recuperación edáfica, si no también mejoran el rendimiento en los cultivos.

Existen maneras de reducir las cantidades de fertilizante, al implementar microorganismos benéficos que tienen la función de hacer interacción simbiótica con el cultivo, el inconveniente principal es que no todos los microorganismos se adaptan a diferentes climas al ser aplicados, por lo que se debe considerar hacer más investigación de microorganismos nativos de cada sitio de interés, ya que estas prácticas han presentado buenos resultados.

Recomendaciones

Al realizar y finalizar esta investigación, los temas con menos estudios de investigación fueron: “El efecto de la fauna edáfica al aplicar fertilizantes” “El estudio de pérdidas de fauna edáfica”, “investigación sobre más mejoradores biológicos de suelo”, “realizar más investigación sobre más parámetros químicos del suelo como Conductividad eléctrica, Capacidad de intercambio Catiónico” por lo que se recomienda en futuras investigaciones abordar estos temas con más profundidad.

Bibliografía

Álvarez, Sánchez, María E., Hernández, Acosta, Elizabeth, Maldonado, Torres, Ranferi, & Rivera, González, Miguel. (2013). Encalado y micorriza para corregir deficiencia de fósforo en un Andisol cultivado con *Pinus halepensis*. Madera y bosques, 19(1), 7-16. Recuperado en 31 de mayo de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712013000100002&lng=es&tlng=es.

(a) Álvarez, Solís, J. David, Gómez, Velasco, D. Aurora, León, Martínez, N. Samuel, & Gutiérrez, Miceli, F. Antonio. (2010). Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. Agrociencia, 44(5), 575-586. Recuperado en 17 de mayo de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000500007&lng=es&tlng=es.

(b) Álvarez Solís, J. D., Díaz P, E., León M, N. S., & Guillén V, J. (2010). b Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento del maíz. Terra Latinoamericana, 28(3), 239-245. Recuperado en 22 de mayo de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000300006&lng=es&tlng=es

Aguirre, Medina, Juan F., Mina, Briones, Francisco O., Cadena, Iñiguez, Jorge, & Soto, Hernández, Ramón. (2018). Efectividad de biofertilizantes y brasinoesteroides en *Stevia rebaudiana* Bert.. Agrociencia, 52(4), 609-621. Recuperado en 03 de marzo de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000400609&lng=es&tlng=es.

Aguilar, Carpio, Cid, Escalante, Estrada, José Alberto Salvador, Aguilar, Mariscal, Immer, & Pérez, Ramírez, Adriana. (2017). Crecimiento, rendimiento y rentabilidad del maíz VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno. Ecosistemas y recursos agropecuarios, 4(12), 475-483. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1000>

Anglés, M., Bocco, G., Cotler, H., Cram, S., Lee, W. H., Ortiz, S., Prado, B., Reyes, L. B., Saniger, J. M., & Siebe, Ch. (2021) Por una gestión sostenible del suelo que

promueva su reconocimiento, recuperación, preservación y gobernanza. Vol. 2. Pronunciamento: Gestión sostenible del suelo. <http://www.cic-ctic.unam.mx/>

Barbaro, L.A ., Karlanian A.M., & Mata. D.A. (2018). Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas . p. 10. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.

Baca, B. E., Soto, L & Pardo P, M. (2000). Fijación biológica de nitrógeno. Elementos 38: 43-49. <https://www.redalyc.org/pdf/294/29403808.pdf>

Beltrán Pineda, Mayra Eleonora. (2014). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 15(1), 101-113. Retrieved June 24, 2022, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-87062014000100009&lng=en&tlng=es.

Boccolini, Mónica Fabiola, Basile, Laura Ana, Cazorla, Cristian Román, Galarza, Carlos Martín, Conde, Belén, & Figuerola, Eva Lucía Margarita. (2016). Impacto de la aplicación prolongada de urea sobre bacterias nitrificantes de un Argiudol típico, Argentina. Ciencia del suelo, 34(1), 21-31. Recuperado en 23 de febrero de 2022, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672016000100003&lng=es&tlng=es.

Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. Revista Ciencia Agrícola 33(2):117-124. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>.

Baldoncini, A. (2015). Efectos de la aplicación de fertilizantes sobre el pH de suelos serie Oncativo Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/1849/Baldoncini%20-%20Efectos%20de%20la%20aplicaci%C3%B3n%20de%20fertilizantes%20sobre%20el%20pH.pdf?sequence=1>

- Boccolini, Mónica Fabiola, Basile, Laura Ana, Cazorla, Cristian Román, Galarza, Carlos Martín, Conde, Belén, & Figuerola, Eva Lucía Margarita. (2016). Impacto de la aplicación prolongada de urea sobre bacterias nitrificantes de un Argiudol típico, Argentina. *Ciencia del suelo*, 34(1), 21-31. Recuperado en 13 de mayo de 2022, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672016000100003&lng=es&tlng=es.
- Bing-Bing Li, Sarah S. Roley, David S. Duncan, Jiarong Guo, John F. Quensen, Han-Qing Yu, & James M. Tiedje.(2021) Long-term excess nitrogen fertilizer increases sensitivity of soil microbial community to seasonal change revealed by ecological network and metagenome analyses, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 160, 108349, ISSN 0038-0717, <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108349> .
- Báez, Pérez, Aurelio, Limón, Ortega, Agustín, Ramírez, Barrientos, Cesar Eduardo, Ortega, Villalobos, Irma Agustina, & Olivares, Arreola, Edgar Adrián. (2020). Efecto de biofertilizantes y agricultura de conservación en la producción de trigo en un Vertisol. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 569-581. Epub 12 de enero de 2021. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.649>
- Cruz, Alvarez, Oscar, Hernández, Rodríguez, Ofelia Adriana, Jacobo, Cuellar, Juan Luis, Ávila, Quezada, Graciela, Morales, Maldonado, Emilio, Parra, Quezada, Rafael Ángel, Robles, Hernandez, Loreto, & Ojeda, Barrios, Dámaris Leopoldina. (2020). La fertilización con nitrógeno en la nuez pecana y su efecto sobre la concentración de nutrientes de la hoja, el rendimiento y la calidad de la nuez. *Revista Chapingo. Serie horticultura* , 26 (3), 163-173. Epub 23 de abril de 2021. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2019.10.021>
- Cárdenas Velázquez, Bernardo, Escalante Estrada, José Alberto Salvador, & Rodríguez González, María Teresa. (2019). Biomasa, índice de cosecha, rendimiento y radiación interceptada en ajo en función del nitrógeno, en clima templado. *Terra Latinoamericana*, 37(3), 223-230. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.424>
- Castro, Hugo E, Gómez, Manuel I., Munévar, Oscar E., & Hernández, Dilsa M.. (2006). Diagnóstico y control de la acidez en suelos sulfatados ácidos en el Distrito de riego del Alto Chicamocha (Boyacá) mediante pruebas de incubación¹. *Agronomía Colombiana* , 24 (1), 122-130. Recuperado el 16 de febrero de 2022, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652006000100014&lng=en&tlng=es
- Calva, Carmen & Espinosa, J. Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana. *Siembra*. 4 (1):110–120, 2017. DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v4i1.505>.
- Cantú Silva, Israel, Díaz García, Karla E., Yáñez Díaz, María Inés, González Rodríguez, Humberto, & Martínez Soto, Rodolfo A. (2018). Caracterización fisicoquímica de un Calcisol bajo diferentes sistemas de uso de suelo en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9 (49),59-86.[fecha de Consulta 14 de Marzo de 2022]. ISSN: 2007-1132. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63458698004>
- Celestina, C.; Hunt, J.R.; Sale, P.W.G.; Franks, A.E. (2019). Soil & Tillage Research Attribution of crop yield responses to application of organic amendments: A critical review. *Soil & Tillage Research* 186: 135-145.
- Correa, Olga (2016) La fertilización y las comunidades microbianas indígenas de los suelos. En: AACS (ed.). *Sustentabilidad de agrosistemas y el uso de fertilizantes*. Vol. 1. 1era edn Pp. 141-167.
- Cabrera Dávila, Grisel de la C. (2019) Evaluación de la macrofauna edáfica como bioindicador del impacto del uso y calidad del suelo en el occidente de Cuba. [Tesis doctoral] Cuba en <http://hdl.handle.net/10045/88889>
- CONAFORT, SEMARNAT y UACH. Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final y Anexos I y II. CONAFOR y UACH. México. (2013) Revisado en Mayo 1, 2021, de SEMARNAT.org website: <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/cap3.html#tema2>
- Cruz C., Balbolin, C., Paz. Etchevers, J & Krasilnikov, P. (2007). Variabilidad Morfogenética de los Suelos de México y su relación con el Modelo Fisiográfico Nacional. XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. León Guanajuato. México. 17 al 21 de septiembre de 2007. Disponible en: www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/06/22/68351
- Corrales Ramírez, Lucía Constanza, Arévalo Galvez, Zuly Yurieth, & Moreno Burbano, Vanessa Estefanía. (2014). Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. *Nova* , 12 (21), 68-79. Recuperado el 23 de febrero de 2022, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702014000100006&lng=en&tlng=es.
- Damian Suclupe, Manuel Julio, Gonzáles Veintimilla, Federico, Quiñones Paredes, Pedro, & Terán Iparraguirre, Jackson Ricardo. (2018). Plan de enmiendas, yeso agrícola, compost mejorado y enriquecido con EM y humus de lombriz, para mejorar el suelo. *Arnaldoa*, 25(1), 141-158. <https://dx.doi.org/http://doi.org/10.22497/arnaldoa.251.25109>
- Díaz Franco, Arturo, Ortiz Cháirez, Flor Elena, Grageda Cabrera, Oscar Arath, & Fernández Cruz, Emmanuel. (2018). Nutrición mineral y rendimiento de sorgo inoculado con cepas microbianas en dos agroambientes. *Terra Latinoamericana*, 36(3), 229-238. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.295>
- Eugercios, A.R. (2013) Interacciones acuífero-lago y biogeoquímica del nitrógeno en ambientes kársticos. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España. <http://eprints.ucm.es/21579/>
- FAO. (2002). Los fertilizantes y su uso. <http://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>

FAO. (2019) Código Internacional de Conducta para el Uso y Manejo de Fertilizantes. Roma. <http://www.fao.org/3/ca5253es/CA5253ES.pdf>

FAO. (2015) Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables. (n.d.). Revisado en Mayo 1, 2021, de Fao.org website: <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/277721/>

Florencia B, M., Plasencia A., Corbella R., Andina G, D., Sanzano A., Sosa F. & Fernández de Ullivarri J. (2016) El Nitrógeno del suelo The Nature and Properties of Soils de Brady and Weil. Pearson Education Limited Edición: 15 ISBN: 978-0133254488 <https://www.edafologia.org/descargas/>

Fierer, N. 2017. Embracing the unknown: disentangling the complexities of the soil microbiome. *Nature Reviews Microbiology*, 15(10): 579-590.

Flores-Sánchez, Diego, Navarro-Garza, Hermilio, & Pérez-Olvera, María Antonia. (2019). Balance de nutrientes en los sistemas de cultivo de maíz y desafíos para su sostenibilidad. *Ingeniería agrícola y biosistemas*, 11 (2), 97-109. Epub 24 de agosto de 2020. <https://doi.org/10.5154/r.inaqbi.2017.11.017>

French, E, Kozlowski, J.A, Mukherjee, M, Bullerjahn, G., & Bollmann, A. (2012). Ecophysiological characterization of ammonia-oxidizing archaea and bacteria from freshwater. *Applied and Environmental Microbiology* (Estados Unidos). 78:5773- 5780. <https://doi.org/10.1128/AEM.00432-12>

Gómez, González, Raúl, Palma, López, David Jesús, Obrador, Olan, José Jesús, & Ruiz, Rosado, Octavio (2018). Densidad radical y tipos de suelos en los que se producen café (*Coffea arabica* L.) en Chiapas, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5 (14),203-215.[fecha de Consulta 14 de Marzo de 2022]. ISSN: 2007-9028. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=358662572004>

García, López, Felipe Alejandro, González, Eguiarte, Diego R., Rodríguez, Macías, Ramón, Zarazúa Villaseñor, Patricia, & Huitrón Ramírez, María Victoria (2018). Producción de arena con portainjertos en suelos infestados con el virus de la mancha necrótica del melón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9 (3),577-587.[fecha de Consulta 14 de Marzo de 2022]. ISSN: 2007-0934. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263158442007>

Ginés Irantzu & Mariscal Ignacio (2002). Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo. Disponible en: http://oa.upm.es/3176/2/MARISCAL_MONO_2002_01.pdf

Harris, Valle, Citlalli, Mora, Guzmán, Ezequiel, Palafox-Rodríguez, Martín, Pérez, Pacheco, Cesar K., Mejía, Franco, Viridiana, & Vázquez, Flores, Yadira. (2019). Crecimiento de Haba en simbiosis con microorganismos nativos de regiones productoras del norte de Puebla, México. *Revista fitotecnica mexicana*, 42(3), 243-250. Epub 16 de octubre de 2020. Recuperado en 31 de marzo de 2022, de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802019000300243&lng=es&tlng=es

Hernández, Flores, Lina, Munive, Hernández, J. Antonio, Sandoval, Castro, Engelberto, Martínez, Carrera, Daniel, & Villegas, Hernández, Ma. Carmen. (2013). Efecto de las prácticas agrícolas sobre las poblaciones bacterianas del suelo en sistemas de cultivo en Chihuahua, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(3), 353-365. Recuperado en 13 de mayo de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000300002&lng=es&tlng=es

Lal R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304: 1623–1627.

<https://science.sciencemag.org/content/304/5677/1623>

Lamz Piedra, Alexis, & González Cepero, María C. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*, 34(4), 31-42. Recuperado en 25 de noviembre de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362013000400005&lng=es&tlng=es

López, Báez, W.; Urbina, Hernández, L. H.; Reynoso-Santos, R. & Martínez, Sánchez, J. Efectos del encalado en suelo ácido cultivado con café (*Coffea arabica* L.) en la reserva de la biósfera el Triunfo, Chiapas, México. *Agroproductividad*. 11 (4):55-60, 2018.

López, López, R., Arteaga, Ramírez, R., Vázquez, Peña, M. A., López, Cruz, I. L., & Sánchez, Cohen, I. (2009). Producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) basado en láminas de riego y acolchado plástico. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(1), 83-89. Recuperado en 07 de marzo de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2009000100012&lng=es&tlng=es.

Mesmela, Mendoza, J.E.; Lizarazo, Forero, L.M.; Aranguren Riaño, N.J. 2019. Bacterias nitrificantes cultivables de la zona limnética del lago de Tota, Boyacá. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*22(2): e1378. <http://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1378>

Manzano B. J., Rivera O. P., Briones E. F., & Zamora T. C. (2014). Rehabilitación de suelos salino-sódicos: estudio de caso en el distrito de riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México. *Terra Latinoamericana*, 32(3), 211-219. Recuperado en 06 de mayo de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000300211&lng=es&tlng=es

Martí, Luis; Burba, Juan Nicolás; & Cavagnaro, Martín (2002) "Metales pesados en fertilizantes fosfatados, nitrogenados y mixtos: ". En: *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, Vol. 34, no. 2, p. 43-48. <https://bdigital.uncu.edu.ar/2829>

Mendoza, D. (2010). Uso de vermicomposts y compost de residuos hortícolas como componentes de sustratos para propagación de plantas mediante estaquillado.. *Madrid, Actas de las II Jornadas de la Red Española*, pp. 1-8.

- Navarro E, E. (2001) Fertilización orgánica vs fertilización inorgánica de plátano de Cachaco común en Colombia. Ed. Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Nataima, Tolima, Colombia.
- Novelo, P., Santos, J., Barra, J., Pérez M., & Garza, M. (2000). Mejoradores de la fertilidad del suelo en la agricultura de ladera de Los Altos de Chiapas, México. *Agrociencia* 34: 251-259
- Orozco Corral Alfonso Luis, Valverde Flores Martha Irene, Martínez Téllez René, Chávez Bustillos Carlos & Benavides Hernández Ramón (2016) Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. *Terra Latinoamericana*, vol. 34, núm. 4, pp. 441-456, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. <https://www.redalyc.org/journal/573/57347465006/html/>
- Osuna-Ceja, Esteban Salvador, & Martínez-Gamiño, Miguel Ángel. (2017). Rendimiento y calidad de forraje de maíz y sorgo de temporal a cuatro y seis hileras en Aguascalientes, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(6), 1259-1272. Recuperado en 07 de marzo de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000601259&lng=es&tlng=es.
- Plazas EC. (2007) Mejoramiento de un medio de cultivo para la producción de un inoculante con base en bacterias fosfato solubilizadoras. [Tesis de grado]. Colombia.
- Philippot, L. & J.C. Germon. 2005. Contribution of bacterial to initial input and cycling of nitrogen in soils, p. 159-176. In Buscot, F., & Varma, A. (eds.). *Microorganisms in soils: roles in genesis and functions*, Springer, Nueva York, EEUU
- Quiñones Aguilar, Evangelina Esmeralda, Hernández Acosta, Elizabeth, Rincón Enríquez, Gabriel, & Ferrera Cerrato, Ronald. (2012). Interacción de hongos micorrízicos arbusculares y fertilización fosfatada en papaya. *Terra Latinoamericana*, 30(2), 165-176. Recuperado en 22 de marzo de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792012000200165&lng=es&tlng=es.
- Raya-Montaña, Yurixhi A., Apáez-Barrios, Patricio, Guillén-Andrade, Héctor, & Lara-Chavez, Ma. Blanca Nieves. (2018). PRODUCCIÓN DE BRÓCOLI EN FUNCIÓN DEL GENOTIPO Y DOSIS DE NITRÓGENO. *Revista fitotecnia mexicana*, 41(4a), 537-542. Epub 15 de noviembre de 2019. Recuperado en 07 de marzo de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802018000500537&lng=es&tlng=es.
- Ramos, Hernández, Silvia G., & Flores, Román, David. (2008). Comparación de dos fuentes fosfatadas en suelos volcánicos cultivados con café del soconusco, Chiapas, México. *Agrociencia*, 42(4), 391-398. Recuperado en 14 de marzo de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952008000400001&lng=es&tlng=es.
- Reyes, Isbelia, & Valery, Alexis. (2007). Efecto de la fertilidad del suelo sobre la microbiota y la promoción del crecimiento Del maíz (zea mays l.) Con azotobacter spp. *Bioagro*, 19(3), 117-126. Recuperado en 01 de abril de 2022, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612007000300001&lng=es&tlng=es.
- Ruiz Herrera, Brenda Lizette, Campos González Angulo, Jorge Arturo, & Barba Behrens, Norah. (2008). Cofactor FeMco (M = Mo, V, Fe) en la nitrogenasa. *Educación química*, 19(1), 34-41. Recuperado en 24 de junio de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2008000100006&lng=es&tlng=es.
- Santillano Cázares, Jesús, Roque Díaz, Luis Guadalupe, Núñez Ramírez, Fidel, Grijalva Contreras, Raúl Leonel, Robles Contreras, Fabián, Macías Duarte, Rubén, Escobosa García, Isabel, & Cárdenas Salazar, Víctor. (2019). La fertilidad del suelo afecta el crecimiento, nutrición y rendimiento de algodón cultivado en dos sistemas de riego y diferentes dosis de nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 37(1), 7-14. <https://doi.org/10.28940/tl.v37i1.304>
- SEMARNAT - Suelos. (2000). Recuperado el 24 de junio de 2021, de Org.mx website: http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/03_Suelos/3.1_Suelos/index.htm
- Trasviña Barriga, Alma, Bórquez Olguin, Rafael, Leal Almanza, José, Castro Espinoza, Luciano, & Gutiérrez Coronado, Marco. (2018). Rehabilitación de un suelo salino con yeso agrícola en un cultivo de nogal en el Valle del Yaqui. *Terra Latinoamericana*, 36(1), 85-90. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.310>
- Taboada A. M., Cosentino R. N. V., & Costantini. O. A. (2018) Emisiones de óxido nítrico desde suelos agrícolas y alternativas para mitigarlas. *Ciencia e Investigación*, - Tomo 68 N° 5, 41-45. <http://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/11/3-Taboada-cei68-5-4.pdf>
- Tejada, J., 2013. Rendimiento y calidad: Uso de enmiendas orgánicas. [En línea] Available at: http://www.expocafep Peru.com/archivos2013/conferencias/05_PRESENTACION%20CPISAC%20JOSE%20ANTONIO%20TEJADA.pdf
- Vistoso G, E, & Sandaña G, P. (2016) Reacción de los fertilizantes fosfatados en el suelo [en línea]. Osorno: Informativo INIA Remehue. no. 160. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/4789> (Consultado: 29 junio 2021).
- Wenneck, Gustavo, Saath, Reni, Santi, Danilo, Sá, & Nathália de Araújo, Larissa. (2021). Correction of soil acidity with shell lime and dolomitic limestone in a Latossolo Vermelho distrófico in Paraná state, Brazil. *Idesia (Arica)*. 39. 53-57 10.4067/S0718-34292021000100053.