

Capítulo 1 Agricultura de conservación como alternativa para la conservación de suelos agrícolas y microorganismos degradadores de materia vegetal

Chapter 1 Conservation agriculture as an alternative for the conservation of agricultural soils and degrading microorganisms of plant matter

CASTAÑEDA-CISNEROS, Yamily Elianeth† & TÉLLEZ-JURADO, Alejandro*

Universidad Politécnica de Pachuca, Departamento de Biotecnología, Zempoala, Hidalgo, México

ID 1^{er} Autor: *Yamily Elianeth, Castañeda-Cisneros*

ID 1^{er} Coautor: *Alejandro, Téllez-Jurado*

Y. Castañeda & A. Téllez

*alito@upp.edu.mx

N. Zapata (AA.). Biotecnología y Ciencias Agrícolas TI. Collection-©ECORFAN-Mexico, CDMX, 2019

Abstract

Conservation agriculture is a practice that can contribute to the recovery of agricultural soils that have been exploited for decades. Traditional tillage has a strong impact on soil quality, excessive tillage affects the physicochemical characteristics of soils, compacts them, prevents their oxygenation and contributes to erosive processes. Current agricultural practices encourage the use of chemical fertilizers and pesticides that, together with excessive tillage, have a marked effect on soil microbiota. Conservation tillage is an age-old practice and, when used properly, can be a tool that contributes to the recovery of soils. On the other hand, the microbial populations of the soils are the most affected since the excessive use of nitrogen compounds and others affect their metabolism causing the diversity in species to decay exponentially. Conservation tillage contributes to microbial enrichment by favoring microorganism-plant-soil interactions and with it, substantially improves crop yields. In this chapter the characteristics of the different tillage systems are exposed as well as the benefits of the main organisms that degrade organic matter, which are actinomycetes.

Actinomycetes, Conservation agriculture, Soil quality

Introducción

El crecimiento de la población mundial ha incrementado la necesidad de producir mayor número de alimentos, que ha impactado directamente a la producción agrícola explotando de manera excesiva los suelos destinados para esta actividad. La afectación de los suelos esta en todos los niveles como son: uso indiscriminado de fertilizantes y pesticidas, excesiva labranza que genera compactación de suelos y erosión, alcalinización de suelos y afectación de la microbiota de los mismos. Surge entonces la necesidad de generar alternativas para recuperar de manera natural o al menos, menos agresiva, los suelos agrícolas, una de las técnicas más viables para la recuperación de los suelos en cuestión es la labranza de conservación. Esta actividad se aplica desde tiempos ancestrales e implica dejar que la naturaleza haga su trabajo a través de la degradación natural de la materia vegetal.

Esta degradación es llevada a cabo por microorganismos nativos del suelo y que al degradar la materia orgánica, se liberan una gran diversidad de derivados de la lignocelulosa que traen muchos beneficios a los suelos entre ellos; estabiliza suelos, aumenta la capacidad de retención de agua de los suelos, incrementa la porosidad y facilita el intercambio de nutrientes y muy importante, se recupera la microbiota de los suelos trayendo consigo, mayor crecimiento vegetal ya que se mejora la relación microorganismo-planta. En el presente capítulo se da una visión de la importancia de la labranza de conservación y de su importancia para evitar procesos erosivos de los suelos con el objetivo de generar mayor conciencia sobre la importancia del cuidado de los suelos y del impacto del ser humano en el ambiente.

Prácticas agrícolas convencionales

El cultivo de suelos es una práctica agronómica fundamental que afecta sus propiedades, sin embargo el objetivo clave de cultivar los suelos es crear un ambiente apropiado para la germinación de semillas, establecimiento de la plántula y rendimientos óptimos. Se utilizan diferentes tipos de labranza para preparar los cultivos, siendo las técnicas más comunes labranza convencional o intensiva, labranza reducida y labranza cero, a menudo estas dos últimas son utilizadas como un componente de la Agricultura de Conservación (Torabian et al., 2019).

La labranza se define como la manipulación mecánica del suelo que altera sus características físicas, como densidad aparente, conducción hidráulica, conservación del agua, temperatura, infiltración, estabilidad agregada y calidad física (Oshunsanya et al., 2018). Expone el suelo a agentes erosivos como el viento y el agua, bajo fuerzas erosionables severas, el impacto de las gotas de agua, ya sea producidas por el riego o por la lluvia; da como resultado la liberación de materia orgánica y, en general, la formación de costras en el suelo que afectan negativamente la plántula y reduce la infiltración (Pareja-Sánchez et al., 2017). Choudhury et al., (2014) indican que el uso de diferentes sistemas de labranza afecta la agregación del suelo directamente por la interrupción física de los macroagregados, e indirectamente altera factores biológicos y químicos. Esta práctica es considerada el principal agente responsable de la perturbación del suelo, la subsiguiente modificación de la estructura y la consecuente degradación (Baker et al., 2009).

La labranza convencional o intensiva (LI) consiste en dejar la superficie del suelo completamente descubierta, con tamaños de partícula muy pequeños y con poco o ningún residuo de plantas; frecuentemente se usa el arado, seguido de varios pases de rastra o cultivadoras para remover el suelo (Rojas, 2001; Gao et al., 2019). Los suelos generalmente presentan contenidos menores al 2% de materia orgánica, reflejado en baja fertilidad, erosión, enconstramiento, dificultad de manejo, además propicia un constante tráfico de maquinaria, lo cual aumenta la compactación y se requiere más laboreo a medida que transcurre el tiempo (Mora, 2001). La LI junto a la eliminación de residuos y a la quema practicada durante toda la temporada de cultivo, acelera la degradación del suelo, contaminación ambiental y afecta las funciones del ecosistema (Srinivasan et al., 2012).

La Labranza reducida o vertical (LR) es una técnica en donde el suelo es empujado hacia adelante en sentido vertical ascendente mediante una reja montada sobre un brazo rígido, semirrígido, flexible y/o vibrante que produce la fragmentación del suelo (León-Noguera et al., 2013). Con este método se reduce la perturbación al disminuir la proporción de suelo invertido (Hydbom et al., 2017). En su estudio, Kuntz et al., (2013) mencionaron que las comunidades microbianas son un indicador de los cambios de fertilidad del suelo, y estos responden a las prácticas de labranza con cambios en la distribución espacial, biomasa, actividad y grupos funcionales. Sin embargo, la labranza reducida aumentó la concentración de actividad microbiana en la capa superior del suelo debido a la mezcla reducida de las capas, además induce un cambio en la descomposición de materia orgánica por hongos.

Por último, la Labranza Cero (LE) también llamada no labranza, siembra en surcos o siembra directa, describe la siembra de semillas en suelo que no ha sido previamente labrado después de la cosecha del cultivo anterior y la siembra se realiza con sembradoras especializadas para crear un surco para la semillas (Harper et al., 2018). La característica comúnmente identificada de la LE es que la superficie del suelo permanece cubierta con residuos intactos del último cultivo tanto tiempo como sea posible, ya sea que estos se aplasten o se conserven en pie después de una cosecha (Baker et al., 2009). El control de malezas a menudo es más difícil en los sistemas de LR y LE, ya que se depende en gran medida del uso de herbicidas durante el período de transición de LI a LE, donde el control mecánico de malezas y la labranza no están permitidos, por tanto, los efectos beneficiosos y perjudiciales de la reducción de la labranza deben equilibrarse para mejorar la sostenibilidad general del sistema (Büchi et al., 2017; Tarolli et al., 2019).

Prácticas agrícolas sustentables

La agricultura sustentable implica la producción eficiente de productos agrícolas, conservación de recursos, protección de la biodiversidad y mejoramiento del medio ambiente natural junto con la protección de las condiciones sociales y económicas de las comunidades agrícolas (Kanchanarook y Aslam, 2018). Existe un creciente interés en adoptar prácticas de labranza reducida o cero para preservar la fertilidad del suelo a largo plazo y con la esperanza, posteriormente, de aumentar los rendimientos de los cultivos (Peigné et al., 2018), una alternativa sustentable es la Agricultura de Conservación.

Agricultura de conservación

La Agricultura de Conservación o Labranza de Conservación (LC) es un sistema de prácticas agrarias promovido ampliamente por su potencial para aumentar los rendimientos en comparación con métodos agrícolas convencionales (Mhlanga et al., 2016). Fue introducida por la FAO (2008) como un concepto para la producción de cultivos agrícolas con uso eficiente de recursos, basado en un manejo integrado de suelo, agua y recursos naturales combinados con insumos externos. Comprende tres principios: (1) mínima perturbación del suelo; (2) cubierta orgánica permanente del suelo elaborada de residuos de cosecha y (3) rotaciones de cultivos diversificada (Giller et al., 2009; Saad et al., 2016). Los tres principios son universalmente aplicables a todo tipo de cultivo agrícola (Friedrich et al., 2012).

Agricultura con mínima perturbación de suelos

La mínima perturbación mecánica del suelo tiene como objetivo lograr un sistema de LE, no obstante, la agricultura de conservación permite involucrar un sistema controlado de siembra con LR que no perturbe el suelo a más del 20-25%, esta técnica incluye arado y una cobertura ajustada al 30% de los residuos vegetales del cultivo que permanecen sobre la superficie del suelo (Verhulst et al. 2015).

La LE ha sido ampliamente recomendada para la conservación de suelo, agua y biodiversidad, además de la reducción de los costos de mano de obra y energía (Sun et al., 2015). Zhao et al., (2017) reporta rendimientos relativamente mejores con LE en comparación con la LC, que puede ser atribuido a la restauración de la calidad del suelo, secuestro de carbono en la zona radicular y a la mejora en las comunidades y actividades microbianas.

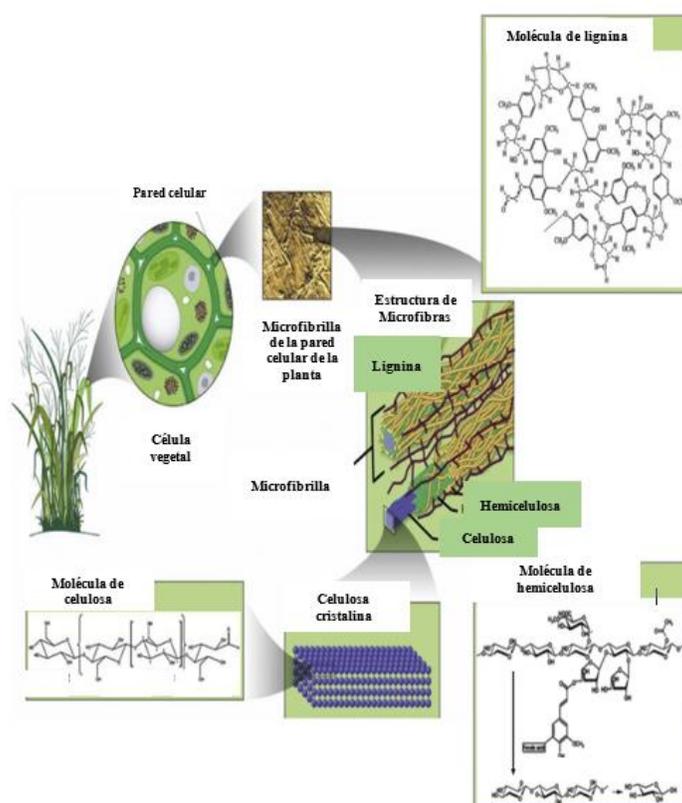
Rotación de cultivos

La rotación de cultivos es una práctica de manejo agrícola que busca maximizar la productividad por unidad de superficie optimizando el uso de recursos, consiste en la sucesión de diferentes cultivos en el mismo suelo a través del tiempo (Silva et al., 2015). La inclusión de diferentes tipos de cultivos es el mejor y más efectivo control de enfermedades y plagas al interrumpir sus ciclos de vida, otras ventajas son el control de malezas mediante el uso de especies de cultivo asfixiantes, cultivos de cobertura que se utilizan como abono verde o cultivos de invierno cuando las condiciones de temperatura, humedad y riego lo permiten, además permite balancear la producción de residuos, alternando cultivos que producen escasos residuos con otros que generan mayor cantidad de ellos (CIMMYT, 2016). En su estudio, Chávez y Araya (2013) indicaron que la rotación de cultivos es eficaz para el manejo de problemas fitosanitarios si los cultivos en la secuencia no son hospedantes de los mismos patógenos, y si éstos a su vez no poseen mecanismos de sobrevivencia a largo plazo en ausencia del hospedante principal.

Cobertura vegetal

La retención de residuos de cultivo forma una cobertura sobre la superficie del suelo que ayuda a mejorar la calidad y productividad al aumentar la infiltración de agua, reducir la escorrentía y erosión de la superficie, conserva la humedad, modera la temperatura, brinda estabilidad en los agregados de la capa superficial y afecta positivamente la porosidad (Jordán et al., 2010; Nzeyimana et al., 2017; De Almeida et al., 2018). Principalmente, los abundantes restos vegetales sirven como una forma primaria de entrada de materia orgánica que mejora la actividad biológica al aumentar la diversidad de especies de la biota del suelo como microorganismos, hongos, lombrices de tierra, nematodos, insectos, la mayoría de especies benéficas para la agricultura, movilización de nutrientes y control biológico (Lal, 2018). La cobertura está compuesta principalmente por tres polímeros: celulosa, hemicelulosa y lignina como se observa en la Figura 1.

Figura 1 Estructura de los residuos lignocelulósicos (Seidl y Goulart, 2016)



Composición de la cobertura vegetal

La celulosa es el polímero más abundante en la naturaleza y constituye el principal componente de las fibras brindando rigidez a la planta (Hokkanen et al., 2015). Es un polisacárido lineal con largas cadenas que consisten en unidades de β -D-glucosa con enlaces glucosídicos β (1 \rightarrow 4) (Merkel et al., 2014). Las fibras de celulosa están unidas entre sí por una serie de enlaces de hidrógeno y fuerzas de Van Der Waals, lo que resulta en microfibrillas con alta resistencia que presentan diferentes orientaciones a lo largo de la estructura dando lugar a diferentes niveles de cristalinidad, se compone de dos regiones; amorfa (baja cristalinidad) y cristalina (elevada cristalinidad) (Zheng et al., 2014; Sharma et al., 2017).

Mientras que, la hemicelulosa es el segundo componente estructural más abundante en la lignocelulosa y a diferencia de la celulosa, no es un componente homogéneo químicamente, más bien es una familia de polisacáridos (Rubin, 2008), que se forma por D-xilosa, L-arabinosa, D-glucosa, D-galactosa, D-manosa, L-ramnosa, ácidos α -D-glucurónico, α -D-4-O-metilgalacturónico y α -D-galacturónico unidos entre sí mediante enlaces β (1-4) y a veces enlaces β (1-3) (Maurya et al., 2015). Otros azúcares incluyendo α -L-ramnosa y α -L-fructosa pueden estar presentes en una pequeña cantidad cuando el grupo hidroxilo de los azúcares es parcialmente sustituido con grupos acetilo (Zabed et al., 2016). La hemicelulosa más conocida es el xilano que se compone por una columna vertebral de β -D-xilosas unidas entre sí por enlaces β (1-4) con sustituciones de L-arabinofuranosas, ácido D-glucorónico y ácido 4-O-metil-D-glucurónico en las posiciones 2 'y 3' (Nasr et al., 2013; Negahdar et al., 2016).

Finalmente, la lignina es un polímero aromático, complejo e hidrofóbico que presenta una estructura policristalina heterogénea formada por compuestos polifenólicos (Chen et al., 2017). La estructura tridimensional está basada en unidades de fenilpropano, siendo los principales monómeros los alcoholes p-hidroxifenílico, coniferílico y sinapílico unidos mediante enlaces β -0-4, β -5, β - β , 5-5 y 4-0-5 (Seidl y Goulart, 2016). Este polímero actúa como un material de unión entre la celulosa y hemicelulosa para formar la estructura rígida de la pared celular de la planta e interfiere en el proceso de hidrólisis biológica y química ya que es el componente más fuerte y recalcitrante de la biomasa lignocelulósica (Koupaie et al., 2018; Ponnusamy et al., 2019).

Degradación de la cobertura vegetal

La incorporación de residuos de cosechas es favorable para la salud del suelo, sin embargo, la lentitud de descomposición hace que en la siguiente temporada de cultivo aún quede material vegetal no descompuesto, quedando poco homogénea la cama de siembra. También inmoviliza nitrógeno y es una fuente importante de inóculo de patógenos (Céspedes y Millas, 2015). La velocidad de descomposición está determinada principalmente por tres factores: humedad, temperatura y relación carbono/nitrógeno (C/N), la tasa de descomposición aumenta linealmente con la humedad y temperatura, siendo máxima cuando el rastrojo está cercano a la saturación, mientras que, a menor relación C/N mayor es la tasa de descomposición. La relación C/N depende esencialmente del tipo de rastrojo, en los residuos de cereales la relación es alta convirtiéndose en los rastrojos con mayor dificultad de descomposición (Acevedo y Silva, 2003). Una forma de reducir el problema antes indicado, es lograr que la descomposición sea más rápida, algunas medidas se mencionan a continuación:

1. Triturar los residuos, ya que partículas más pequeñas tienen una mayor superficie de contacto en la que pueden actuar los microorganismos descomponedores.
2. Mezclar los residuos con el suelo; esta práctica permite que los microorganismos descomponedores estén en contacto directo con los residuos, y que éstos mantengan contenidos de humedad más altos y por más tiempo que si están en la superficie.
3. Regar; la adición de agua permite aumentar los contenidos de humedad, lo que es fundamental para que los microorganismos descomponedores puedan actuar rápidamente.
4. Aplicar nitrógeno inorgánico en residuos con una alta relación C/N, para eliminar la deficiencia de nitrógeno que es un factor limitante para la descomposición.
5. Incorporar microorganismos que aceleren la descomposición de los residuos que quedan sobre el suelo, tales como bacterias y hongos.

La cobertura vegetal según lo mencionado por Céspedes y Millas (2015) se descompone más rápido cuando es picada en trozos pequeños; gran parte del carbono que contiene es liberado como CO₂ a la atmósfera por la respiración de los microorganismos, y una fracción es retenida como materia orgánica, la cantidad depende del tipo, cantidad y calidad de los residuos y de cómo son manipulados. La calidad del residuo está en función de la especie de plantas (paja de cereales es baja en nitrógeno, leguminosas o praderas son ricas en nitrógeno) y del estado de desarrollo cuando se cortan. Los residuos que componen la cobertura pueden ser cortados, desmenuzados, dejados en pie en el campo, triturados y mezclados con suelo mediante un rastraje. De esta forma son descompuestos por los microorganismos del suelo, mejorando la disponibilidad de nutrientes.

En la naturaleza, la degradación de la pared celular vegetal se realiza por hongos, bacterias y actinomicetos que secretan una amplia gama de enzimas necesarias para la completa descomposición de la celulosa, hemicelulosa y lignina (Paës et al., 2012). Se ha prestado especial atención a procariotas debido a la facilidad en su manipulación genética y el cultivo a gran escala que es logrado fácilmente, siendo los actinomicetos interesantes por su crecimiento como hifas de ramificación que se adaptan a penetrar y degradar sustratos insolubles como la lignocelulosa (McCarthy et al., 1987; Prasad et al., 2013).

Microorganismos degradadores de la material vegetal

La diversidad de microorganismos en el suelo es muy compleja y de hecho, se considera que el suelo es el hábitat más complejo en cuanto a diversidad de especies presentes en el planeta. Una de las especies más abundantes en suelos son los actinomicetos los cuales presentan funciones metabólicas fundamentales para la salud del suelo, estas bacterias filamentosas son capaces de hidrolizar eficientemente los residuos vegetales generando moléculas más accesibles para los demás microorganismos presentes en el suelo. También tienen la capacidad de producir gran cantidad de metabolitos entre los que resaltan; antibióticos y compuestos que pueden favorecer el crecimiento vegetal y por ende, aumentar la productividad de los suelos agrícolas.

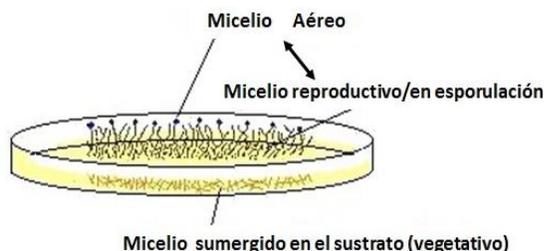
Actinomicetos

Los actinomicetos son bacterias filamentosas, gram-positivas, formadoras de esporas con pared celular que contiene ácido L-L diaminopimélico y un alto contenido de G+C (57-75%) en su ADN (Pathalam et al., 2017). La palabra "Actinomicetos" se deriva de la palabra griega "atkis" (un rayo) y "mykes" (hongo), es decir, son organismos que presentan características similares a las bacterias y hongos (Das et al., 2008; Kishore et al., 2013). Existen en una amplia variedad de hábitats naturales tanto del medio ambiente marino como terrestre (Bhakyashree y Kannabiran, 2018), particularmente en suelos, agua dulce, lagos, fondos fluviales, abonos y compost (Bizuye et al., 2013). En suelos, los actinomicetos están al lado de las bacterias en orden de abundancia, sin embargo el tamaño y número de comunidades depende de diversos factores como la textura, humedad, pH y contenido de materia orgánica (Messaoudi et al., 2015). Los géneros predominantes suelen ser *Streptomyces* con el 70-90% de las colonias, seguido por *Nocardia* con 10-30%, y el tercero *Micromonospora* que constituye del 1-15% de la población total del suelo (Quiñonez et al., 2016).

La mayoría de las especies son heterótrofas, crecen en un rango de temperatura de 25-30 °C y pH de 5.0-9.0 (González, 2010). Exhiben una gama de ciclos de vida que son únicos entre las procariotas y presentan una tasa de crecimiento lento en comparación con otras bacterias y hongos (Rasool y Hemalatha, 2017). Su morfología es compleja, cuya característica común es la formación de hifas en algún estado de su ciclo de desarrollo mediante la aparición de micelio aéreo y de sustrato (Bhatti et al., 2017). Dentro de este grupo existen organismos que poseen ciclos de diferenciación, tal es el caso de *Actinomyces* donde el micelio se forma de una manera transitoria y se reproducen por escisión; otros como *Micromonospora* que poseen un desarrollo miceliar estable durante todo su ciclo y se reproducen mediante esporas; sin embargo, el mayor grado de complejidad lo alcanza el género *Streptomyces* (Barbés et al., 1978).

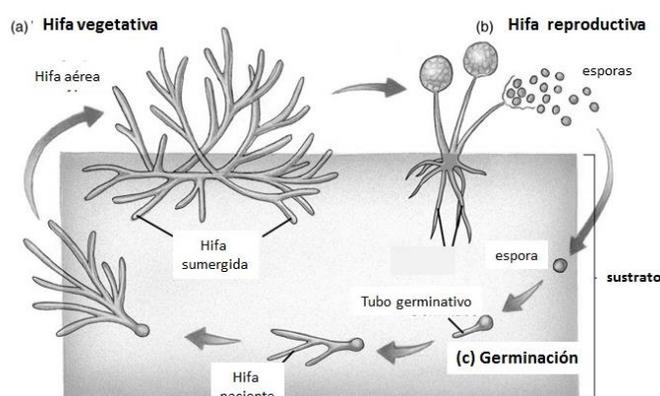
En el ciclo de *Streptomyces* se generan hifas ramificadas que dan lugar al micelio de sustrato con funciones vegetativas y se dispersa a través de esporas que forman estructuras reproductivas especializadas llamadas hifas aéreas que emergen de la superficie de la colonia hacia el aire (Flärdh y Buttner, 2009) como se muestra en la Figura 2.

Figura 2 Tipos de micelio que se desarrollan en cultivo sólido para el género *Streptomyces*



Cuando una spora encuentra condiciones óptimas de aporte de nutrientes y humedad, se inicia la germinación en uno o dos tubos germinativos que originan hifas que penetran profundamente en el sustrato del cual obtienen nutrientes a partir de la acción de enzimas hidrolíticas extracelulares. El crecimiento de las hifas ocurre por extensión longitudinal de la pared celular en el extremo apical de la hifa, que generará nuevos puntos de crecimiento y dará a lugar a la formación de ramificaciones, formándose una red de hifas que constituye el micelio de sustrato (Figura 3) (Botas, 2013). En contraste con otras bacterias que producen esporas como mecanismo de defensa, los actinomicetos las producen como principal método de dispersión, estas esporas son una característica morfológica y taxonómica de cada especie, la forma de la cadena puede ser recta, ramificada, espiral o flexuosas (Pianzola y Verdier, 2011).

Figura 3 Ciclo de crecimiento del género *Streptomyces*



Una característica particular de los actinomicetos es la producción del olor típico a suelo húmedo debido a la generación de un metabolito denominado geosmina (Salazar *et al.*, 2014). Además, no producen mucopolisacáridos de ahí que se observen en placas de agar como colonias secas y no cremosas (Dávila *et al.*, 2013).

Aplicaciones biotecnológicas de Actinomicetos

Los actinomicetos son bien conocidos por su capacidad de producir una gran riqueza de productos naturales con complejidad estructural y diversas actividades biológicas (Abdelmohsen *et al.*, 2015). Más del 70% de los antibióticos de origen natural que están en uso clínico se derivan de actinomicetos del suelo, entre los 140 géneros de actinomicetos descritos, solo unos pocos son responsables de la producción de más de 22,000 productos naturales microbianos (Varalakshmi *et al.*, 2014), mientras que el 20% son producidos por hongos, 7% por *Bacillus* spp. y 1-2% por otras bacterias (Subramani y Aalbersberg, 2012).

En particular, *Streptomyces* es el género mejor caracterizado y se considera uno de los organismos más importantes industrialmente debido a sus capacidades en la producción de metabolitos secundarios, que incluyen antibióticos, enzimas, pigmentos, fármacos contra el cáncer, antifúngicos, antiprotzoarios, antivirales, anticolesterol, inmunosupresores e inhibidores enzimáticos (Choi *et al.*, 2015; Bhatti *et al.*, 2017). Algunos compuestos de uso biotecnológico producidos por actinomicetos se reflejan en la Tabla 1.

Tabla 1 Aplicaciones biotecnológicas de actinomicetos

Compuesto	Fuente	Actividad biológica	Referencia
Rifamicina	<i>Micromonospora rifamycinica</i>	Antibacterial	Huang <i>et al.</i> , 2008
Validamicina	<i>Streptomyces hygroscopicus</i> 5008	Antifúngico	Wu <i>et al.</i> , 2012
Antimicina A	<i>Streptomyces lusitanus</i>	Antifúngico	Han <i>et al.</i> , 2012
Factomicina	<i>Streptomyces globosus</i> DK15	Antibacteriano	Charousová <i>et al.</i> , 2018
Neomicina	<i>Streptomyces fradiae</i>	Antibacteriano	Machado <i>et al.</i> , 2015
Caboxamicina	<i>Streptomyces</i> sp. NTK 937	Anticancerígeno	Hohmann <i>et al.</i> , 2009
Lipasa	<i>Actinomyces nocardioopsis</i> A17	Enzimas	Chakraborty <i>et al.</i> , 2015
Granaticina A	<i>Streptomyces</i> sp. SUE01	Antibacteriano	Gurovic y Olivera, 2017
Doxorubicina	<i>Streptomyces peucetius</i>	Anticancerígeno	Malla <i>et al.</i> , 2010
Avermectina	<i>Streptomyces avermitilis</i>	Antihelmíntico	Weber <i>et al.</i> , 2015
Tunicamicina	<i>Streptomyces torulosus</i> T-4	Antiviral	Atta, 2015
Megalomicina	<i>Micromonospora megalomicea</i>	Antiparasitaria	Olano <i>et al.</i> , 2008
2-aliloxifenol	<i>Streptomyces</i> MS1 /7	Conservador alimenticio	Arumugam <i>et al.</i> , 2010
Estaurosporina	<i>Streptomyces</i> sp. QD518	Antitumoral	Wu <i>et al.</i> , 2006
Salinosporamida A	<i>Salinispora tropica</i>	Anticancerígeno	Subramani y Aalbersberg, 2012

Los actinomicetos que producen metabolitos secundarios a menudo tienen el potencial de producir varios compuestos por una misma cepa, la producción podría estar influenciada por diversos parámetros de fermentación, como los nutrientes disponibles que incluyen fuente de carbono y nitrógeno, pH, oxígeno, temperatura, agitación, sales minerales, iones metálicos, precursores, inductores e inhibidores (Subramani y Aalbersberg, 2012). Los metabolitos generados por estos microorganismos tienen aplicación en industrias, tales como agrícola, farmacéutica, textil y alimentaria (Himaman *et al.*, 2016).

Referencias

- Acevedo, E., Silva, P. (2003). Agronomía de la cero labranza. En Cap. 3. Rastrojos y su manejo. Universidad de Chile. 39-47. ISBN 956-19-0363-6.
- Abdelmohsen, U.R., Grkovic, T., Balasubramanian, S., Kamel, M.S., Quinn, R.J., Hentschel, U. (2015). Elicitation of secondary metabolism in actinomycetes. *Biotechnology advances*, 33(6), 798-811.
- Atta, H. M. (2015). Biochemical studies on antibiotic production from *Streptomyces* sp.: Taxonomy, fermentation, isolation and biological properties. *Journal of Saudi Chemical Society*, 19(1), 12-22.
- Arumugam, M., Mitra, A., Jaisankar, P., Dasgupta, S., Sen, T., Gachhui, R., Mukherjee, J. (2010). Isolation of an unusual metabolite 2-allyloxyphenol from a marine actinobacterium, its biological activities and applications. *Applied microbiology and biotechnology*, 86(1), 109-117.
- Baker, C.J., Saxton, K.E., Ritchie, W.R. (2009). Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación. Cap. 17: Reducción de las emisiones ambientales y secuestro de carbono. (No. P4169). Editorial Acirbia, 311-324.
- Basha, N. S., Rekha, R., Komala, M., Ruby, S. (2009). Production of extracellular anti-leukaemic enzyme lasparaginase from marine actinomycetes by solidstate and submerged fermentation: Purification and characterisation. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 8(4); 353-360.
- Barbés, C., Fernández, A., Manzanal, M.B., Moraleda, P., Salas, J.A., Suárez, J.E. Hardisson, R.C. (1978). Ciclo de desarrollo de *Streptomyces* y *Micromonospora*. Departamento Interfacultativo de Microbiología. Universidad de Oviedo.
- Becerra-Castro, C., Lopes, A. R., Vaz-Moreira, I., Silva, E. F., Manaia, C. M., Nunes, O. C. (2015). Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Environment international*, 75, 117-135.
- Bhakyashree, K., Kannabiran, K. (2018). Actinomycetes mediated targeting of drug resistant MRSA pathogens. *Journal of King Saud University-Science*. doi:

- Bhatti, A.A., Haq, S., & Bhat, R.A. (2017). Actinomycetes benefaction role in soil and plant health. *Microbial pathogenesis*, 111, 458-467.
- Bizuye, A., Moges, F., Andualem, B. (2013). Isolation and screening of antibiotic producing actinomycetes from soils in Gondar town, North West Ethiopia. *Asian Pacific journal of tropical disease*, 3(5), 375-381.
- Botas, M.A.M. (2013). Regulación del metabolismo en *Streptomyces*: Control por ArgR. Tesis de doctorado. Universidad de León, España.
- Büchi, L., Wendling, M., Amossé, C., Jeangros, B., Sinaj, S., Charles, R. (2017). Long and short term changes in crop yield and soil properties induced by the reduction of soil tillage in a long term experiment in Switzerland. *Soil and Tillage Research*, 174, 120-129.
- Céspedes, C., Millas, P. (2015). Rastrojo de cultivos y residuos forestales. En Cap. 2 Relevancia de la materia orgánica en el suelo. Boletín INIA, 308. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile.
- Chakraborty, S., Ghosh, M., Chakraborti, S., Jana, S., Sen, K. K., Kokare, C., Zhang, L. (2015). Biosurfactant produced from *Actinomycetes nocardiformis* A17: Characterization and its biological evaluation. *International journal of biological macromolecules*, 79, 405-412.
- Charousová, I., Medo, J., Hleba, L., Javoreková, S. (2018). *Streptomyces globosus* DK15 and *Streptomyces ederensis* ST13 as new producers of factumycin and tetrangomycin antibiotics. *Brazilian Journal of Microbiology*.
- CIMMYT. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (2016). LA importancia de la rotación de cultivos. SAGARPA, México.
- Chakraborty, S., Ghosh, M., Chakraborti, S., Jana, S., Sen, K.K., Kokare, C., Zhang, L. (2015). Biosurfactant produced from *Actinomycetes nocardiformis* A17: characterization and its biological evaluation. *International journal of biological macromolecules*, 79, 405-412.
- Charousová, I., Medo, J., Hleba, L., Javoreková, S. (2018). *Streptomyces globosus* DK15 and *Streptomyces ederensis* ST13 as new producers of factumycin and tetrangomycin antibiotics. *Brazilian Journal of Microbiology*.
- Chaves, B.N.F., Araya, F.C.M. (2013). Efecto de la rotación de cultivos en la incidencia del amachamiento (*Aphelenchoides besseyi* Christie) en frijol. *Agronomía Costarricense*, 36(2),61-70.
- Chavez, A., Rodas, K., Prado, B., Thompson, R., Jiménez, B. (2012). An evaluation of the effects of changing wastewater irrigation regime for the production of alfalfa (*Medicago sativa*). *Agricultural water management*, 113, 76-84.
- Chen, H., Liu, J., Chang, X., Chen, D., Xue, Y., Liu, P., Han, S. (2017). A review on the pretreatment of lignocellulose for high-value chemicals. *Fuel Processing Technology*, 160, 196-206.
- Chen, W., Lu, S., Jiao, W., Wang, M., Chang, A.C. (2013). Reclaimed water: A safe irrigation water source. *Environmental Development*, 8, 74-83.
- Choi, S.S., Kim, H.J., Lee, H.S., Kim, P., & Kim, E.S. (2015). Genome mining of rare actinomycetes and cryptic pathway awakening. *Process Biochemistry*, 50(8), 1184-1193.
- Choudhury, S. G., Srivastava, S., Singh, R., Chaudhari, S. K., Sharma, D. K., Singh, S. K., Sarkar, D. (2014). Tillage and residue management effects on soil aggregation, organic carbon dynamics and yield attribute in rice–wheat cropping system under reclaimed sodic soil. *Soil and Tillage Research*, 136, 76-83.

- CIMMYT. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (2012). *Revista Claridades Agropecuarias*, 221, 42-44.
- Contreras, J. D., Meza, R., Siebe, C., Rodríguez-Dozal, S., López-Vidal, Y. A., Castillo-Rojas, G. Vázquez-Salvador, N. (2017). Health risks from exposure to untreated wastewater used for irrigation in the Mezquital Valley, Mexico: a 25-year update. *Water research*, 123, 834-850.
- Cornejo-Oviedo, F.M., López-Herrera, M., Beltrán-Hernández, R.I., Acevedo-Sandoval, O.A., Lucho-Constantino, C.A., Reyes-Santamaría, M.I. (2012). Soil degradation in the irrigation District 003 Tula, Valle del Mezquital, Hidalgo, Mexico. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4), 873-880.
- Das, S., Lyla, P.S., Khan, S.A. (2008). Distribution and generic composition of culturable marine actinomycetes from the sediments of Indian continental slope of Bay of Bengal. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 26(2), 166-177.
- Dávila, R.A.G., Guzmán, G.E. (2015). Caracterización del agua utilizada para irrigación de tierras de cultivo en el Distrito 003 de Tula. Tesis de Licenciatura. Instituto Politécnico Nacional, México.
- De Alba, R. (2008). Aguas residuales: el oro negro del Valle del Mezquital. *Crónicas ambientales*. 24-26.
- De Almeida, W. S., Panachuki, E., de Oliveira, P. T. S., da Silva Menezes, R., Sobrinho, T. A., de Carvalho, D.F. (2018). Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. *Soil and Tillage Research*, 175, 130-138.
- Durán-Álvarez, J. C., Prado, B., Ferroud, A., Juayerk, N., Jiménez-Cisneros, B. (2014). Sorption, desorption and displacement of ibuprofen, estrone, and 17 β estradiol in wastewater irrigated and rainfed agricultural soils. *Science of the Total Environment*, 473, 189-198.
- Elgallal, M., Fletcher, L., Evans, B. (2016). Assessment of potential risks associated with chemicals in wastewater used for irrigation in arid and semiarid zones: A review. *Agricultural Water Management*, 177, 419-431.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2008). Agricultura de Conservación. En línea: <http://www.fao.org/conservation-agriculture/en/> Consultado 20/ julio de 2018.
- Flårdh, K., Buttner, M. J. (2009). Streptomyces morphogenetics: dissecting differentiation in a filamentous bacterium. *Nature Reviews Microbiology*, 7(1), 36-49.
- Flora, D.O., Adeyemi, A.I., George, W.P. (2015). Hyoscyamine-producing marine Actinomycetes from Lagos Lagoon sediment. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5(3), 196-201.
- Friedrich, T., Derpsch, R., Kassam, A. (2012). Overview of the global spread of conservation agriculture. *Field Actions Science Reports. The journal of field actions*, (Special Issue 6).
- Gao, L., Wang, B., Li, S., Wu, H., Wu, X., Liang, G., Degré, A. (2019). Soil wet aggregate distribution and pore size distribution under different tillage systems after 16 years in the Loess Plateau of China. *CATENA*, 173, 38-47.
- George, S.P., Ahmad, A., Rao, M.B. (2001). Studies on carboxymethyl cellulase produced by an alkalothermophilic actinomycete. *Bioresource Technology*, 77(2), 171-175.
- Giller, K. E., Witter, E., Corbeels, M., Tittonell, P. (2009). Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: the heretics' view. *Field crops research*, 114 (1), 23-34.
- González, J.Y.T. (2010). Los actinomicetos: una visión como promotores de crecimiento vegetal. Tesis de Licenciatura. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.

- Gurovic, M.V., Olivera, N.L. (2017). Antibacterial producing actinomycetes from Extra Andean Patagonia. *Journal of Arid Environments*, 144, 216-219.
- Han, Z., Xu, Y., McConnell, O., Liu, L., Li, Y., Qi, S., Qian, P. (2012). Two antimycin A analogues from marine-derived actinomycete *Streptomyces lusitanus*. *Marine drugs*, 10(3), 668-676.
- Harper, J. K., Roth, G. W., Garalejić, B., Škrbić, N. (2018). Programs to promote adoption of conservation tillage: A Serbian case study. *Land Use Policy*, 78, 295-302.
- Himaman, W., Thamchaipenet, A., Pathom-aree, W., Duangmal, K. (2016). Actinomycetes from *Eucalyptus* and their biological activities for controlling *Eucalyptus* leaf and shoot blight. *Microbiological research*, 188, 42-52.
- Hohmann, C., Schneider, K., Bruntner, C., Irran, E., Nicholson, G., Bull, A.T., Jones, A.L., Brown, R., Stach, J.E.M., Goodfellow, M., Beil, W., Kramer, M., Imhoff, J.F., Sussmuth, R.D., Fiedler, H.P. (2009). Caboxamycin, a new antibiotic of the benzoxazole family produced by the deep-sea strain *Streptomyces* sp. NTK 937. *The Journal of antibiotics*, 62(2), 99-104.
- Hokkanen, S., Bhatnagar, A., Sillanpää, M. (2015). A review on modification methods to cellulose-based adsorbents to improve adsorption capacity. *Water Research*. Doi: 10.1016/j.watres.2016.01.008
- Huang, H., Lv, J., Hu, Y., Fang, Z., Zhang, K., Bao, S. (2008). *Micromonospora rifamycinica* sp. nov., a novel actinomycete from mangrove sediment. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 58(1), 17-20.
- Hydbom, S., Ernfors, M., Birgander, J., Hollander, J., Jensen, E. S., Olsson, P. A. (2017). Reduced tillage stimulated symbiotic fungi and microbial saprotrophs, but did not lead to a shift in the saprotrophic microorganism community structure. *Applied Soil Ecology*, 119, 104-114.
- Kanchanaroek, Y., Aslam, U. (2018). Policy schemes for the transition to sustainable agriculture—Farmer preferences and spatial heterogeneity in northern Thailand. *Land Use Policy*, 78, 227-235.
- Kishore P., Mangwani, N., Dash, H.R., Das, S. (2013). Taxonomic study of antibiotic-producing marine actinobacteria. In: Kim SK, editor. *Marine microbiology: bioactive compounds and biotechnological applications*. Weinheim: Wiley-VCH; p. 37-8.
- Koupaie, E. H., Dahadha, S., Lakeh, A. B., Azizi, A., Elbeshbishy, E. (2018). Enzymatic pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biomethane production-A review. *Journal of environmental management*.
- Kuntz, M., Berner, A., Gattinger, A., Scholberg, J. M., Mäder, P., Pfiffner, L. (2013). Influence of reduced tillage on earthworm and microbial communities under organic arable farming. *Pedobiologia*, 56(4-6), 251-260.
- Jiménez, B., Sieve, C., Cifuentes, E. (2004). El Reúso Intencional y No Intencional del Agua en el Valle de Tula. 33-55.
- Jordán, A., Zavala, L. M., Gil, J. (2010). Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena*, 81(1), 77-85.
- León-Noguera, P., López Gómez, A., Cea Migenes, M., Llanes, V. (2013). Comparación de profundidades de Labranza Reducida y Siembra Directa con y sin humus de lombriz en el cultivo de la zanahoria. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(3), 42-45.
- Lesser, L. E., Mora, A., Moreau, C., Mahlknecht, J., Hernández-Antonio, A., Ramírez, A. I., Barrios-Pina, H. (2018). Survey of 218 organic contaminants in groundwater derived from the world's largest untreated wastewater irrigation system: Mezquital Valley, Mexico. *Chemosphere*, 198, 510-521.

- Machado, I., Teixeira, J.A., Rodríguez, C.S. (2013). Semi-solid-state fermentation: a promising alternative for neomycin production by the actinomycete *Streptomyces fradiae*. *Journal of biotechnology*, 165(3-4), 195-200.
- Malla, S., Niraula, N. P., Liou, K., Sohng, J. K. (2010). Improvement in doxorubicin productivity by overexpression of regulatory genes in *Streptomyces peucetius*. *Research in microbiology*, 161(2), 109-117.
- Margenot, A.J., Paul, B.K., Sommer, R.R., Pulleman, M.M., Parikh, S.J., Jackson, L.E., Fonte, S.J. (2017). Can conservation agriculture improve phosphorus (P) availability in weathered soils? Effects of tillage and residue management on soil P status after 9 years in a Kenyan Oxisol. *Soil and Tillage Research*, 166, 157-166.
- Maurya, D. P., Singla, A., Negi, S. (2015). An overview of key pretreatment processes for biological conversion of lignocellulosic biomass to bioethanol. *3 Biotech*, 5(5), 597-609.
- McCarthy, A. J. (1987). Lignocellulose-degrading actinomycetes. *FEMS microbiology letters*, 46(2), 145-163.
- Merkel, K., Rydarowski, H., Kazimierczak, J., Bloda, A. (2014). Processing and characterization of reinforced polyethylene composites made with lignocellulosic fibres isolated from waste plant biomass such as hemp. *Composites: Part B*. 67, 138–144.
- Messaoudi, O., Bendahou, M., Benamar, I., Abdelwouhid, D.E. (2015). Identification and preliminary characterization of non-polyene antibiotics secreted by new strain of actinomycete isolated from sebkha of Kenadsa, Algeria. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5(6), 438-445.
- Mhlanga, B., Cheesman, S., Chauhan, B.S., Thierfelder, C. (2016). Weed emergence as affected by maize (*Zea mays* L.)-cover crop rotations in contrasting arable soils of Zimbabwe under conservation agriculture. *Crop protection*, 81, 47-56.
- Montelongo, R.M.M., Otazo, S.E.M., Romo, G.C., Gordillo, M.A.J., Galindo, C.E. (2015). GHG and black carbon emission inventories from Mezquital Valley: The main energy provider for Mexico Megacity. *Science of the Total Environment*, 527, 455-464.
- Mora, M., Ordaz, V., Castellanos, J. Z., Aguilar Santelises, A., Gavi, F., Volke, V. (2001). Sistemas de labranza y sus efectos en algunas propiedades físicas en un vertisol, después de cuatro años de manejo. *Terra Latinoamericana*, 19(1).
- Nasr, S., Reza, S.M., Hatef, S.A., Ghadam, P. (2013). Partial Optimization of Endo-1, 4-B-Xylanase Production by *Aureobasidium pullulans* Using Agro-Industrial Residues. *Iran J Basic Med Sci*. 16 (12). 1245-1253.
- Negahdar, L., Delidovich, I., Palkovits, R. (2016). Aqueous-phase hydrolysis of cellulose and hemicelluloses over molecular acidic catalysts: Insights into the kinetics and reaction mechanism. *Applied Catalysis B: Environmental*. 184, 285–298.
- Núñez, G.A.L. (2015). Caracterización de la problemática de aguas residuales en Ixmiquilpan, Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Nzeyimana, I., Hartemink, A.E., Ritsema, C., Stroosnijder, L., Lwanga, E. H., Geissen, V. (2017). Mulching as a strategy to improve soil properties and reduce soil erodibility in coffee farming systems of Rwanda. *Catena*, 149, 43-51.
- Olano, C., Lombo, F., Mendez, C., Salas, J. A. (2008). Improving production of bioactive secondary metabolites in actinomycetes by metabolic engineering. *Metabolic engineering*, 10(5), 281-292.

- Ortega-Larrocea, M. P., Siebe, C., Becard, G., Mendez, I., Webster, R. (2001). Impact of a century of wastewater irrigation on the abundance of arbuscular mycorrhizal spores in the soil of the Mezquital Valley of Mexico. *Applied Soil Ecology*, 16(2), 149-157
- Otazo-Sánchez, E., Pavón, N.P., Bravo-Cadena, J., Pulido, M.T., López-Pérez, S. Razo-Zarate, R. (2013). Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Hidalgo. SEMARNATH, Pachuca, Hidalgo; México.
- Oshunsanya, S. O., Yu, H., Li, Y. (2018). Soil loss due to root crop harvesting increases with tillage operations. *Soil and Tillage Research*, 181, 93-101.
- Pathalam, G., Rajendran, H.A.D., Appadurai, D.R., Gandhi, M.R., Michael, G.P., Savarimuthu, I., Naif, A.A.D. (2017). Isolation and molecular characterization of actinomycetes with antimicrobial and mosquito larvicidal properties. *Beni-Suef University journal of basic and applied sciences*, 6(2), 209-217.
- Paës, G., Berrin, J.G., Beaugrand, J. (2012). GH11 xylanases: Structure/function/properties relationships and applications. *Biotechnology Advances*, 30, 564–592.
- Palacio, P.J.L., Siebe, C. (1994). *Rev. Mex. Cien. Geol.* , 11; 68.
- Pareja-Sánchez, E., Plaza-Bonilla, D., Ramos, M. C., Lampurlanés, J., Álvaro-Fuentes, J., Cantero-Martínez, C. (2017). Long-term no-till as a means to maintain soil surface structure in an agroecosystem transformed into irrigation. *Soil and Tillage Research*, 174, 221-230.
- Peigné, J., Vian, J. F., Payet, V., Saby, N. P. (2018). Soil fertility after 10 years of conservation tillage in organic farming. *Soil and Tillage Research*, 175, 194-204.
- Pianzola, M.J. Verdier, E. (2011). Aislamiento e identificación molecular de cepas de *Streptomyces* causantes de sarna común en la papa. Tesis de Licenciatura. Universidad de la Republica, Uruguay.
- Ponnusamy, V. K., Nguyen, D. D., Dharmaraja, J., Shobana, S., Banu, R., Saratale, R. G., Kumar, G. (2019). A review on lignin structure, pretreatments, fermentation reactions and biorefinery potential. *Bioresource Technology*, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.070>.
- Prado, B.C., Siebe, C., Bischoff, W.A., Hernández, M.L., Mora, L. (2015). EL SUELO: guardián de la calidad del agua subterránea. CONABIO. *Biodiversitas*, 122, 6-9.
- Prasad, P., Singh, T., & Bedi, S. (2013). Characterization of the cellulolytic enzyme produced by *Streptomyces griseorubens* (Accession No. AB184139) isolated from Indian soil. *Journal of King Saud University-Science*, 25(3), 245-250.
- Quiñones, A.E.E., Evangelista, M.Z. Rincón, E.G. (2016). Los Actinomicetos y su aplicación biotecnológica. *Elementos*, 101, 59-64.
- Rasool, U., Hemalatha, S. (2017). Marine endophytic actinomycetes assisted synthesis of copper nanoparticles (CuNPs): Characterization and antibacterial efficacy against human pathogens. *Materials Letters*, 194, 176-180.
- Rojas, L. A. (2001). La labranza mínima como práctica de producción sostenible en granos básicos. *Agronomía mesoamericana*, 12(2), 209-212.
- Rubin, E.M. (2008). Genomics of cellulosic biofuels. *NATURE*. 454 (14), 841-845.
- Saad, A.A., Das, T.K., Rana, D.S., Sharma, A.R., Bhattacharyya, R., Lal, K. (2016). Energy auditing of a maize–wheat–greengram cropping system under conventional and conservation agriculture in irrigated north-western Indo-Gangetic Plains. *Energy*, 116, 293-305.

- Salazar, L.A.M., Ordoñez, G.C.A., Hernández, S.D., Castaño, P.L.M., Peña, P.K., Rodríguez, N.J.R. Bueno, L.L. (2014). Actinomicetos aislados del suelo del Jardín botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira. *Scientia et Technica*, 19(2), 223-229.
- Salazar-Ledesma, M., Prado, B., Zamora, O., Siebe, C. (2018). Mobility of atrazine in soils of a wastewater irrigated maize field. *Agriculture. Ecosystems & Environment*, 255, 73-83.
- Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T., Zahoor, A. (2013). Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*, 130, 1-13.
- Seidl, P. R., Goulart, A. K. (2016). Pretreatment processes for lignocellulosic biomass conversion to biofuels and bioproducts. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 2, 48-53.
- Sharma, H. K., Xu, C., Qin, W. (2017). Biological pretreatment of lignocellulosic biomass for biofuels and bioproducts: an overview. *Waste and Biomass Valorization*, 1-17.
- Siebe, C. (1998). Nutrient inputs to soils and their uptake by alfalfa through long -term irrigation with untreated sewage effluent in Mexico. *Soil Use Manage*, 14; 19-122.
- Siemens, J., Huschek, G., Siebe, C., Kaupenjohann, M. (2008). Concentrations and mobility of human pharmaceuticals in the world's largest wastewater irrigation system, Mexico City–Mezquital Valley. *Water Research*, 42(8), 2124-2134.
- Silva, C.P., Vergara, S.W., Acevedo, I.E. (2015). Rastrojo de cultivos y residuos forestales. En Cap. 3 Rotación de cultivos. *Boletín INIA*, 308. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chillán, Chile.
- Solis, C., Andrade, E., Mireles, A., Reyes-Solis, I. E., Garcia-Calderon, N., Lagunas-Solar, M. C. Flocchini, R. G. (2005). Distribution of heavy metals in plants cultivated with wastewater irrigated soils during different periods of time. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 241(1-4), 351-355.
- Srinivasan, V., Maheswarappa, H. P., Lal, R. (2012). Long term effects of topsoil depth and amendments on particulate and non particulate carbon fractions in a Miamian soil of Central Ohio. *Soil and Tillage Research*, 121, 10-17.
- Subramani, R., Aalbersberg, W. (2012). Marine actinomycetes: an ongoing source of novel bioactive metabolites. *Microbiological Research*, 167(10), 571-580.
- Sun, Y., Zeng, Y., Shi, Q., Pan, X., Huang, S. (2015). No-tillage controls on runoff: A meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 153, 1-6.
- Tarolli, P., Cavalli, M., Masin, R. (2019). High-resolution morphologic characterization of conservation agriculture. *Catena*, 172, 846-856.
- Torabian, S., Farhangi-Abriz, S., Denton, M. D. (2019). Do tillage systems influence nitrogen fixation in legumes? A review. *Soil and Tillage Research*, 185, 113-121.
- Varalakshmi, T., Sekhar, K.M., Charyulu, P.B.B. (2014). Taxonomic studies and phylogenetic characterization of potential and pigmented antibiotic producing actinomycetes isolated from rhizosphere soils. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6(6), 511-519.
- Weber, T., Charusanti, P., Musiol-Kroll, E. M., Jiang, X., Tong, Y., Kim, H. U., Lee, S. Y. (2015). Metabolic engineering of antibiotic factories: new tools for antibiotic production in actinomycetes. *Trends in biotechnology*, 33(1), 15-26.
- Wu, H., Qu, S., Lu, C., Zheng, H., Zhou, X., Bai, L., Deng, Z. (2012). Genomic and transcriptomic insights into the thermo-regulated biosynthesis of validamycin in *Streptomyces hygroscopicus* 5008. *BMC genomics*, 13(1), 337.

Wu, S. J., Fotso, S., Li, F., Qin, S., Kelter, G., Fiebig, H. H., Laatsch, H. (2006). N-Carboxamido-staurosporine and Selina-4 (14), 7 (11)-diene-8, 9-diol, New Metabolites from a Marine *Streptomyces* sp. *The Journal of antibiotics*, 59(6), 331.

Zabed, H., Sahu, J.N., Boyce, A.N., Faruq, G. (2016). Fuel ethanol production from lignocellulosic biomass: An overview on feedstocks and technological approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 66, 751–774.

Zhang, Y., Wang, S., Wang, H., Ning, F., Zhang, Y., Dong, Z., Li, J. (2018). The effects of rotating conservation tillage with conventional tillage on soil properties and grain yields in winter wheat-spring maize rotations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 263, 107-117.

Zhao, X., Liu, S.L., Pu, C., Zhang, X.Q., Xue, J.F., Ren, Y.X. Zhang, H.L. (2017). Crop yields under no-till farming in China: A meta-analysis. *European Journal of Agronomy*, 84, 67-75.

Zheng, Y., Zhao, J., Xu, F., Li, Y. (2014). Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production. *Progress in Energy and Combustion Science*. 1-19.