

## Colección de microorganismos edáficos y endófitos nativos para contribuir a la seguridad alimentaria nacional

Sergio de los Santos Villalobos<sup>1§</sup>

Fannie Isela Parra Cota<sup>2</sup>

Angélica Herrera Sepúlveda<sup>3</sup>

Brenda Valenzuela Aragón<sup>3</sup>

Juan Carlos Estrada Mora<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Sonora-CONACYT. 5 de febrero 818 Sur, Col. Centro, Ciudad Obregón, Sonora, México. CP. 85000. <sup>2</sup>Campo Experimental Norman E. Borlaug-INIFAP. Norman E. Borlaug km 12, Cd. Obregón, Sonora. México. CP. 85 000. (parra.fannie@inifap.gob.mx). <sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Sonora. 5 de febrero 818 Sur, Col. Centro, Ciudad Obregón, Sonora, México. CP. 85 000. (angelikaherrera76@gmail.com; brendavalara@hotmail.com). <sup>4</sup>Colección Nacional de Cepas Microbianas y Cultivos Celulares (CINVESTAV-IPN). Av. Instituto Politécnico Nacional 2508, Col. San Pedro Zacatenco. Ciudad de México, México. CP. 07 360. (jestrada@cinvestav.mx).

Autor para correspondencia: sergio.delossantos@itson.edu.mx.

### Resumen

COLMENA ([www.itson.mx/colmena](http://www.itson.mx/colmena)), es una colección de microorganismos enfocada en la conservación, clasificación, caracterización, y transferencia de microorganismos nativos aislados de diversos agro-sistemas, y otros hábitats. El objetivo de esta colección es resguardar la diversidad microbiana asociada a los cambios de uso de suelo, disminuyendo la degradación de los suelos. Hasta el momento, microorganismos del suelo de dos importantes regiones agrícolas en México han sido aislados, el Valle del Yaqui, Sonora y el Valle del Fuerte, Sinaloa. Actualmente, COLMENA conserva aproximadamente 1 464 cepas de microorganismos edáficos asociadas a diversos cultivos agrícolas, tales como: trigo (448), maíz (313), alfalfa (54), brócoli (51), frijol (35), entre otros. Recientemente, la clasificación taxonómica de 353 cepas bacterianas y fúngicas -mediante la amplificación de los genes 16S RNAr y 5.8S RNAr- ha sido concluida, observando que los géneros bacterianos más abundantes son *Bacillus* (27%), *Pseudomonas* (8%) y *Stenotrophomonas* (6%), mientras que los géneros fúngicos más abundantes fueron *Aspergillus* (8%), *Penicillium* (3%) y *Myrothecium* (3%). Por otra parte, también se llevó a cabo la caracterización metabólica de una fracción de la colección, encontrando que 3% de la colección microbiana tiene la capacidad de producir de índoles (>5 mg L<sup>-1</sup>), la solubilización de fósforo y producción de sideróforos fue observada en 36% y 61% de las cepas analizadas (396), respectivamente. Solo 3% de la colección microbiana total ha sido identificada como productora de celulasas y 11% de un total de 258 cepas analizadas presentaron β-hemólisis. Estos resultados muestran la versatilidad de estas cepas microbianas como alternativas potenciales costo-efectivas para prácticas agro-industriales, enfocadas a contribuir a la seguridad alimentaria global.

**Palabras clave:** agricultura, colecciones microbianas, seguridad alimentaria, suelo.

Recibido: diciembre de 2017

Aceptado: enero de 2018

## Introducción

La seguridad alimentaria mundial es uno de los principales retos que actualmente enfrenta la humanidad, la cual “existe cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias, para llevar una vida activa y sana” (FAO, 1996).

Hoy en día, se produce suficiente alimento para toda la población mundial, 7 350 millones de personas; sin embargo, se proyecta que ésta aumentará a 9 000 millones de personas para el año 2050 (Godfray *et al.*, 2010; Naciones Unidas, 2015), por lo cual la demanda de alimentos se incrementará entre un 70-100% (World Bank, 2008; FAO, 2016). En este contexto, debido a que la agricultura contribuye con el 98% de la producción de alimento global (Rao, 2013), es determinante incrementar la productividad agrícola con el objetivo de satisfacer la demanda global de alimentos, contribuyendo a la seguridad alimentaria y soberanía nacional.

De esta manera, diversos retos deben ser abordados: i) fertilidad de los suelos (elevados costos de producción agrícola asociados al consumo de agroquímicos); ii) cambio climático; iii) creciente mercado de los biocombustibles; iv) disponibilidad de recursos naturales; v) degradación de los recursos naturales; y vi) transferencia de tecnología limitada (Friedrich, 2014; Hernández-Mondragón *et al.*, 2016). Así, con base en las actividades agrícolas que son susceptibles de ser modificadas e implementados por el hombre, la producción de alimentos está ligada fuertemente a la fertilidad de los suelos agrícolas.

El suelo, formado por material mineral (45%), agua (20-30%), gases (20-30%) y materia orgánica (1-5%) (McCauley *et al.*, 2005), provee diversos servicios ecosistémicos, como son: i) la sostenibilidad social y ecológica; ii) adaptación y mitigación del cambio climático; iii) recurso biotecnológico para la humanidad; iv) ciclaje de agua y nutrientes; y v) seguridad alimentaria (Nelson *et al.*, 2013). Sin embargo, a nivel mundial las tasas de degradación de suelo sugieren que tendremos su capa fértil solamente por 60 años más (Dotterweich, 2013). Actualmente, la degradación del suelo afecta a 1 900 millones de hectáreas en todo el mundo, incrementándose rápidamente a una tasa de 5 a 7 millones de hectáreas por año. Esta degradación impacta aproximadamente 70% de los suelos agrícolas en niveles de moderado a severo, lo que genera un costo estimado de \$400 mil millones de dólares anuales a nivel mundial, afectando a más de mil millones de personas, especialmente en zonas áridas (Olafur, 2007).

Una de las principales causas de la degradación de los suelos son las prácticas agrícolas intensivas utilizadas para la producción agrícola, desde labranza mecánica hasta el uso excesivo y constante de fertilizantes y plaguicidas sintéticos (Friedrich, 2014). Esta degradación de los suelos conduce a disminución de sus propiedades físicas (humedad e intercambio de gases), químicas (pH y capacidad de intercambio catiónico) y biológicas (modificaciones en las comunidades microbianas involucradas en el ciclaje de nutrientes), conduciendo al incremento de su densidad aparente, menor estabilidad de sus agregados, la susceptibilidad a la compactación, pérdida de fertilidad, lixiviación de nutrientes, disminución de la productividad, incremento de emisiones de gases de efecto invernadero y disminución del secuestro de carbono y actividad microbiana (Friedrich, 2014).

La diversidad de los microorganismos edáficos son un componente importante involucrado en el mantenimiento de la fertilidad del suelo, dicha diversidad incluye más de  $10^5$  especies (Dohrmann *et al.*, 2013), las cuales son responsables de llevar a cabo entre 80- 90% de los procesos observados en el suelo (Nannipieri *et al.*, 2003); es decir, el ciclaje de nutrientes (nitrógeno, carbono, azufre y fósforo), descomposición de materia orgánica, solubilización de minerales (K, Ca, Mn, Mg, etc), fotosíntesis, degradación de compuestos xenobióticos, control de enfermedades de las plantas, mantenimiento de la estructura y función del suelo, entre otros (Pankhurst *et al.*, 1997; Pal y McSpadden, 2006; Pankratova, 2006; Ryan *et al.*, 2008). Actualmente, sólo una pequeña fracción de las comunidades microbianas del suelo (1- 10%) ha podido ser cultivada, por lo cual el estudio de este recurso microbiano permitirá entender el impacto de las actividades antropogénicas y naturales sobre la diversidad y ecología microbiana (Kalia y Gupta, 2005), representando una herramienta para aumentar la productividad de los cultivos agrícolas de una manera amigable con el ambiente y costo-efectiva.

Recientemente, el uso de microorganismos benéficos como base de los biofertilizantes, ha adquirido gran relevancia en el sector agrícola, ofreciendo una alternativa sostenible enfocada a incrementar la producción de los cultivos y la fertilidad de los suelos. Éstos comprenden un grupo heterogéneo de microorganismos de vida libre o asociados a diversas partes de la planta, con la capacidad de estimular el crecimiento vegetal, proteger a las plantas contra el ataque de patógenos o tolerar condiciones de estrés abiótico (altas temperaturas, salinidad, y baja disponibilidad de agua) (Dimkpa *et al.*, 2009; Grover *et al.*, 2011; Glick, 2012). Lo anterior ha sido estudiado bajo diversos mecanismos microbianos, los cuales se pueden clasificar en directos e indirectos.

Así, la promoción de crecimiento vegetal de manera directa por microorganismos involucra mecanismos que faciliten la toma de nutrientes del suelo, como es: i) la fijación de nitrógeno; ii) la solubilización de minerales, como son potasio y fósforo, de forma tal que los hacen disponibles para las plantas; iii) producción de fitohormonas; y iv) mineralización de compuestos orgánicos. Por otra parte, los mecanismos indirectos involucran la acción antagonista contra patógenos, mediante la producción de antibióticos, enzimas hidrolíticas, sideróforos, exopolisacáridos, e inducción de respuesta sistémica (Gupta *et al.*, 2015).

El uso de inoculantes microbianos ha conducido a la reducción de los costos económicos de producción agrícola, debido a una menor aplicación de fertilizantes y plaguicidas sintéticos o al uso eficiente de éstos por las plantas, i.e. el nitrógeno y el fósforo (Gyaneshwar *et al.*, 2002). En este sentido, diversos géneros bacterianos y fúngicos, tales como: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Penicillium*, *Aspergillus*, entre otros, han sido reportados por sus características metabólicas de producir fitohormonas, involucradas en la elongación radicular y mayor aprovechamiento del nitrógeno o en la producción de ácidos orgánicos que contribuyen a neutralizar el pH del suelo, favoreciendo la solubilización del fósforo insoluble (Kathiresan *et al.*, 1995).

Además, se ha identificado que la aplicación de bioinoculantes permite reducir el uso de fertilizantes sintéticos, Adesemoye *et al.* (2009) inocularon un consorcio integrado por *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus pumilus* y *Glomus intraradices* en cultivo de tomate a nivel invernadero, que la aplicación de 75% de la dosis de fertilización recomendada más el consorcio

microbiano evaluado impactó positivamente el crecimiento de las plantas, su rendimiento y absorción de nutrientes (nitrógeno y fósforo), resultados comparables a los obtenidos por el uso de la dosis total de fertilizantes recomendada.

Así, durante las últimas décadas una de las estrategias enfocadas en la sustitución parcial o total de los insumos agrícolas sintéticos ha sido la aplicación de inoculantes microbianos con diversas capacidades metabólicas de interés. Sin embargo, la agricultura Mexicana en su mayoría ha optado por el consumo y la aplicación de consorcios microbianos proveniente de otros países, donde las condiciones edafo climáticas y de cultivos son diferentes a las registradas en nuestro país y que generalmente se han obteniendo resultados poco favorables por el uso de inoculantes microbianos en la productividad agrícola nacional, propiciando así el descontento del sector productivo hacia el uso de estos microorganismos, sin mencionar los potenciales daños ecológicos por la introducción de cepas microbianas exógenas a estos agro sistemas.

Las principales limitantes para el éxito en campo de la aplicación de los inoculantes microbianos, se resumen en: 1) identificar una cepa o consorcio microbiano con impacto significativo sobre la característica deseado en el cultivo agrícola de interés; 2) el método de propagación y reproducción masiva de estos microorganismos, determinando las condiciones óptimas de crecimiento; y 3) formular el bioinoculante con la(s) cepa(s) promisoras y el vehículo o acarreador de aplicación. Una vez que éstas limitantes han sido cubiertas de manera exitosa se deben considerar diversos aspectos de los microorganismos que forman parte de este bioinoculante, tales como i) tener la capacidad de establecerse en el suelo o la planta bajo las condiciones bióticas y abióticos del ecosistema destino; ii) competir con la microbiota nativa; y iii) colonizar la rizósfera y la parte de la planta de interés, expresando las características metabólicas deseadas de promoción de crecimiento/protección contra patógenos (Köhl *et al.*, 2011; BrahmaPrakash y Sahu, 2012; Galindo *et al.*, 2013, Bashan *et al.*, 2014). Además, el éxito de la comercialización de este bioinoculante depende de su viabilidad económica en comparación a los fertilizantes y fungicidas sintéticos disponibles en el mercado (Malusa *et al.*, 2016).

En este sentido, el gran esfuerzo de la comunidad científica para la aplicación en campo, ha conducido al aislamiento de miles de cultivos microbianos asociadas a diversos cultivos agrícolas de gran importancia para nuestro país. Una pequeña cantidad de cepas se han estudiado a nivel laboratorio y sólo algunas han llegado a formar parte de desarrollos como inoculantes microbianos y de formar parte de una variedad de productos biológicos existentes en el mercado, enfocados a incrementar la productividad agrícola de manera sostenible. Sin embargo, la gran mayoría de las cepas microbianas aisladas que no son seleccionadas debido a la ausencia o bajos niveles de alguna actividad metabólica de interés son separadas del grupo de microorganismos factibles, sin considerar las diversas características metabólicas potenciales almacenadas en sus genomas

Por lo anterior, la microbiota aislada debe estar resguarda en colecciones microbianas certificadas (independientemente de las características metabólicas de interés particular) para preservar *ex situ* la diversidad microbiana nativa asociadas a los cultivos, así como el potencial recurso agrobiotecnológico que éstos representan para la comunidad científica, productores y sector público-privado, lo que permitirá explorar aún más su ecología en nuestra agricultura actual y futura de nuestro país.

Así, las colecciones microbianas juegan un papel importante en la conservación y uso sustentable del recurso microbiano, proporcionando material biológico auténticamente puro, estables, útiles para llevar a cabo investigación y enseñanza, facilitando el acceso a cepas de referencia y reactivos útiles para el control de calidad (Sharman y Shouche, 2014). Además, ofrecen servicios de entrenamiento y capacitación en técnicas relacionadas con la conservación, desarrollo e identificación de microorganismos (WFCC, 2014).

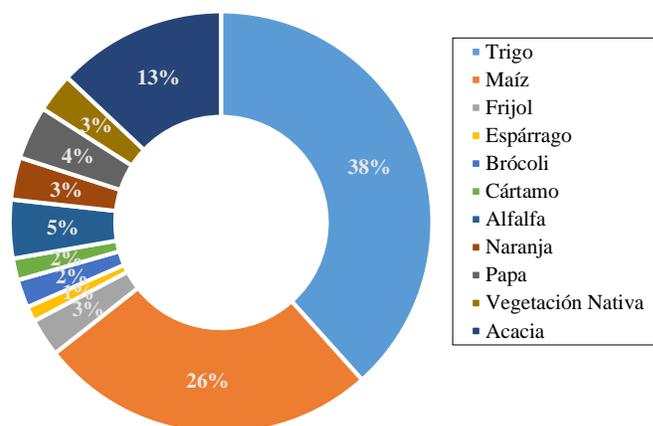
Por otra parte, el continuo descubrimiento de nuevas especies microbianas genera la necesidad de preservarlas y transferirlas a la comunidad científica, para llevar a cabo investigación, docencia y su potencial explotación biotecnológica. Sin embargo, estas colecciones microbianas generalmente se encuentran en instituciones altamente especializadas enfocadas en resguardar sus potenciales agro-biotecnológicos para garantizar la seguridad alimentaria de los países con sólida economía, mayor desarrollo científico-tecnológico y conscientes de la importancia del resguardo de las comunidades microbianas edáficas.

Estos países preservan, de manera certificada, aproximadamente 98% del total de cepas, lo que constituye 45% del total de microorganismos resguardados en el continente americano, en comparación a México que sólo mantiene alrededor de 9.078 cultivos microbianos en 18 colecciones, lo que representa sólo 2%, y que corresponde únicamente 0.4% del total de microorganismos resguardados a nivel mundial (WFCC, 2014).

### **Colección de microorganismos edáficos y endófitos nativos**

La colección de microorganismos edáficos y endófitos nativos (COLMENA) ([www.itson.mx/colmena](http://www.itson.mx/colmena)) es una colección microbiana enfocada en la preservación, clasificación, caracterización y transferencia de microorganismos nativos aislados de diferentes agro-sistemas y otros hábitats en México. El objetivo de esta colección es disminuir la pérdida de la diversidad microbiana, como una estrategia de conservación del suelo, mediante el aislamiento, resguardo, caracterización y tipificación del recurso microbiano edáfico cultivable, cuantificando los potenciales beneficios ambientales y económicos de su re-incorporación a los ecosistemas.

Actualmente, COLMENA preserva y estudia un acervo de 1 464 microorganismos aislados de suelo y asociadas a diversos cultivos agrícolas de importancia económica para México, tales como: trigo (448), maíz (313), frijol (35), brócoli (51), alfalfa (54), y otros (Figura 1). La primera etapa de COLMENA se inició con el aislamiento de microorganismos edáficos en dos de las principales regiones agrícolas de México, a) el Valle del Yaqui, localizado en el estado de Sonora en México (longitud 108° 53' y 110° 37' E; latitud 26° 53' y 28° 37' latitud norte) constituido por 225 000 ha, el cual contribuye aproximadamente con 35% de la producción nacional de trigo (CIMMYT, 2017; SAGARPA, 2017) y b) el Valle del Fuerte, localizado en el estado de Sinaloa (longitud 108° 16' 47" y 109° 04' 42" longitud oeste; latitud 25° 53' 29" y los 26° 38' 47" norte), siendo el primer lugar en la producción de maíz del estado, con una superficie sembrada de 277 642 ha (SAGARPA, 2011; SIAP-SAGARPA, 2016).

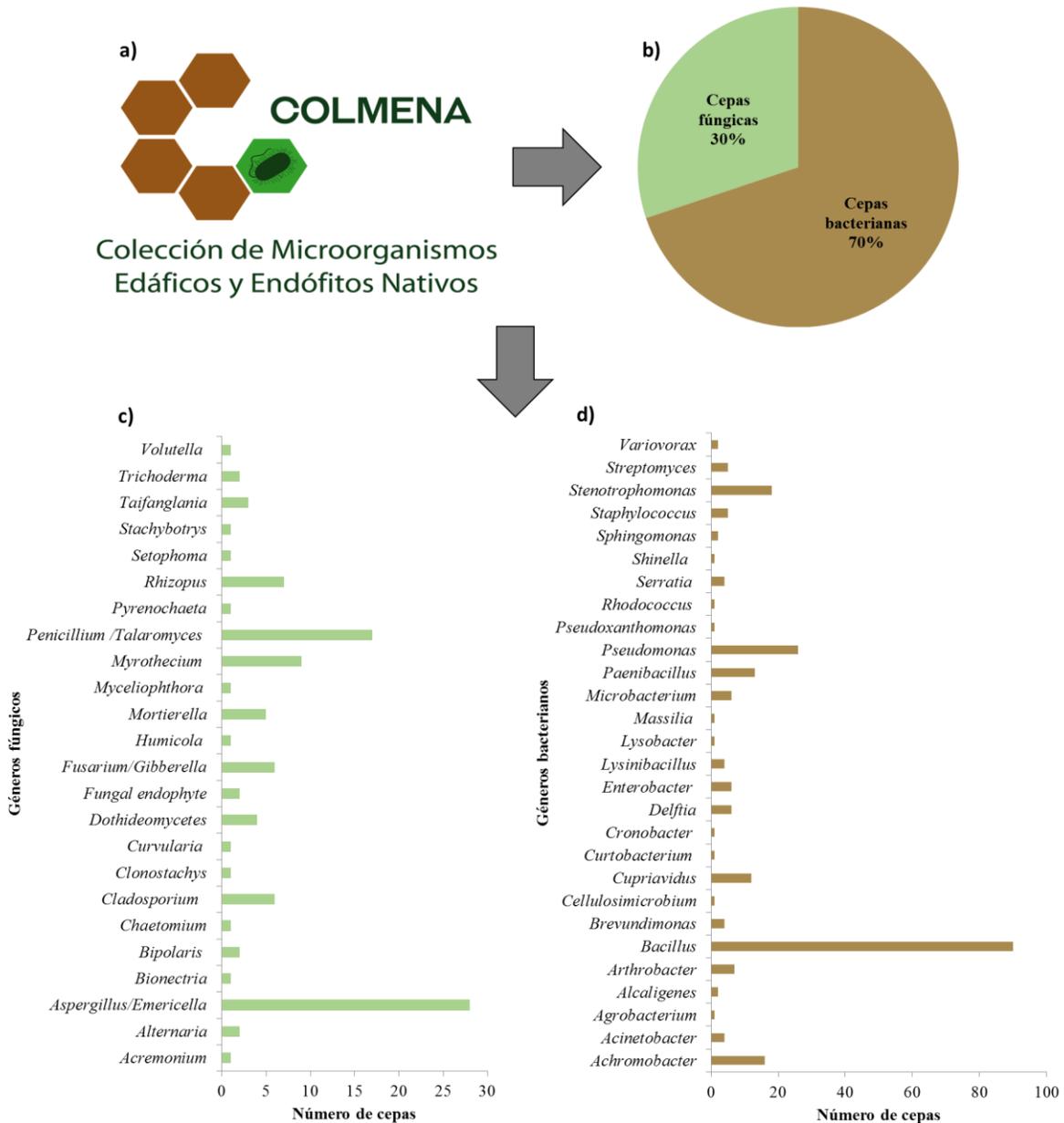


**Figura 1. Contribución porcentual del número de cepas microbianas preservadas en COLMENA asociadas a los cultivos agrícolas en estudio, localizados en el Valle del Yaqui, Sonora y el Valle del Fuerte, Sinaloa, México.**

A la fecha, 24% de las cepas preservadas en COLMENA han sido caracterizadas molecularmente, mediante la amplificación del gen 16S RNAr y 5.8S RNAr, identificando una diversidad bacteriana compuesta por 28 géneros, siendo los más abundantes: *Bacillus* (27%), *Pseudomonas* (8%) y *Stenotrophomonas* (6%) y 24 géneros fúngicos, siendo los más representativos *Aspergillus* (8%), *Penicillium* (3%) y *Myrothecium* (3%) (Figura 2). Así, la detallada identificación molecular de dichas cepas es determinante para responder preguntas fundamentales de sistemática, taxonomía y evolución, lo que permite: i) establecer criterios de calidad en productos y servicios; ii) identificar fuentes de contaminación; iii) selección de tratamientos de desinfección; iv) identificar microorganismos bioindicadores del ecosistema, v) identificar cepas microbianas promotoras de crecimiento vegetal y agentes de control biológico; vi) estudiar nuevas especies microbianas; y vii) identificar cepas patógenas o perjudiciales, tanto para el ser humano, como plantas y animales, entre otros (Emerson *et al.*, 2008).

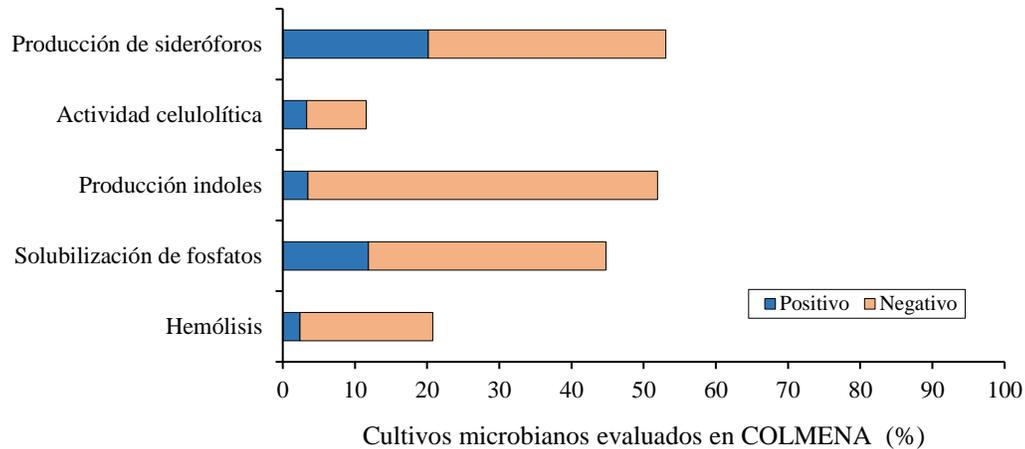
Por otra parte, la identificación de cepas potencialmente patogénicas para el ser humano - mediante estudios taxonómicos y la actividad  $\beta$ -hemolítica- se lleva a cabo en COLMENA. Así, hasta el momento de un total de 258 cepas microbianas evaluadas, 11% presenta actividad  $\beta$ -hemolisis, lo que restringe su uso potencial como inoculante microbiano para el sector agrícola (Figura 3). COLMENA se ha especializado en identificar y caracterizar cepas microbianas con capacidades metabólicas asociadas al control biológico de enfermedades de plantas y de la promoción del crecimiento vegetal, tales como: la solubilización de fósforo, biosíntesis de sideróforos, producción de indoles, producción de enzimas líticas, entre otras (Figura 3).

Hasta el momento, 12% de las cepas analizadas (660) han presentado la capacidad de solubilizar fósforo insoluble, lo cual es de gran importancia ya que en los agro-sistemas, después del nitrógeno, el fósforo es el elemento más importante en la nutrición de las plantas, desempeñando un papel importante en procesos fisiológicos como la fotosíntesis, transferencia de energía, biosíntesis de macromoléculas y respiración (Khan *et al.*, 2010). Sin embargo, entre 95-99% del fósforo presente en los suelos agrícolas se encuentra en forma insoluble, limitando su aprovechamiento por las plantas, ya que éstas absorben el elemento en dos formas solubles: iones monobásicos ( $\text{H}_2\text{PO}_4$ ) y dibásicos ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) (Pandey y Maheshwari, 2007).



**Figura 2. Composición de las cepas resguardadas en COLMENA. a) logotipo de COLMENA; b) porcentaje de bacterias y hongos preservados en COLMENA; c) principales géneros fúngicos; y d) bacterianos estudiados en COLMENA, obtenidos por el análisis de los genes 5.8S RNAr y 16S RNAr, respectivamente.**

Así, la microbiota asociada a las plantas puede contribuir a la solubilización y utilización del fósforo insoluble por éstas, mediante la liberación de compuestos complejos o disolventes minerales (aniones de ácidos orgánicos, protones, iones hidroxilo, CO<sub>2</sub>), liberación de enzimas extracelulares (mineralización bioquímica de fosfatos) y liberación de fosfato durante la degradación del suelo (mineralización biológica de fosfatos) (Sharma *et al.*, 2013).



**Figura 3. Porcentaje de cepas promisorias para la promoción del crecimiento vegetal y agentes de control biológico de fitopatógenos conservadas en COLMENA.**

Otro nutriente importante en el desarrollo de las plantas y los microorganismos, es el hierro, siendo el cuarto elemento más abundante en la superficie terrestre (1-6%), el cual está relacionado en el transporte de electrones, en la catálisis de reacciones enzimáticas involucradas en el metabolismo del hidrogeno, oxígeno -síntesis de ATP- y nitrógeno, así como en la síntesis de ADN (Faraldo-Gómez y Sansom, 2003). Sin embargo, bajo ciertas condiciones de oxígeno y pH se encuentra escasamente disponible, debido a su rápida oxidación de  $Fe^{+2}$  a  $Fe^{+3}$ , y a la subsecuente formación de hidróxidos insolubles (Faraldo-Gómez y Sansom, 2003).

Las bacterias han desarrollado diversos mecanismos para la adquisición de hierro, uno de los mecanismos más utilizados es la síntesis de compuestos quelantes denominados sideróforos (Crichton, 2001). La producción y excreción de sideróforos por los microorganismos asociados a los cultivos agrícolas estimula el crecimiento de éstos, mejorando la nutrición o inhibiendo el establecimiento de fitopatógenos a través del secuestro de hierro del medio ambiente, lo cual limita su crecimiento (de Souza *et al.*, 2015). En este sentido, actualmente se han identificado 290 cepas microbianas capaces de biosintetizar diversas clases de sideróforos.

Asimismo, se han identificado 50 microorganismos con la capacidad de producción de indoles, grupo al cual pertenece el ácido indol acético, la auxina natural más importante en las plantas. Esta fitohormona desempeña un papel central en la división celular, la elongación, el desarrollo de frutos y la senescencia, por lo que está directamente involucrada en la regulación del crecimiento vegetal, promueve la formación de dominios apicales, incremento longitudinal de la raíz y el desarrollo de órganos (Camelo *et al.*, 2011; Grover *et al.*, 2011; Duca *et al.*, 2014). Algunos microorganismos son capaces de sintetizar ácido indol acético que a concentraciones ideales en la planta estimulan a la formación de vello radicular, aumenta el número y la longitud de las raíces primarias y laterales (Duca *et al.*, 2014).

En COLMENA se han identificado 60 cepas microbianas con la capacidad de producir enzimas celulolíticas, las cuales pueden estar involucradas en diversos mecanismos de control biológico por géneros microbianos, tales como: *Trichoderma*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Cellulomonas*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, entre otros (Lynd *et al.*, 2002; Ahmad *et al.*, 2008). En

COLMENA también se conservan especies microbianas reportadas como patógenas a plantas, como son: *Sclerotinia sclerotiorum* (agente causal de moho blanco en frijol), *Fusarium verticillioides* (agente causal de podredumbre de oreja de maíz), y *Bipolaris sorokiniana* (agente causal de la mancha borrosa en el trigo) (Pal y McSpadden-Gardener, 2006; Villa-Rodríguez *et al.*, 2016). Así, el estudio de estas cepas potencialmente fitopatógenas a diversos cultivos agrícolas de importancia nacional permitirá conocer sus mecanismos de acción, conduciendo al desarrollo de estrategias más eficientes y sostenibles para su control.

## Conclusiones

El progresivo requerimiento de alimentos como consecuencia de la tasa de crecimiento poblacional mundial demanda el incremento de la productividad agrícola, mediante el uso de prácticas agrícolas eficientes y sostenibles. Una alternativa es el uso de la diversidad microbiana nativa asociadas a los cultivos agrícolas, representando un potencial recurso agro-biotecnológico para la agricultura y comunidad científica. De esta manera, las colecciones microbianas tienen una contribución de importancia en la conservación y uso sustentable del recurso microbiano, proveyendo de material biológico auténtico, estables, y útiles para desarrollar las estrategias planteadas.

La colección de microorganismos edáficos y endófitos nativos (COLMENA) preserva y caracteriza microorganismos asociados a cultivos agrícolas de importancia nacional, mediante la identificación de cepas promotoras del crecimiento vegetal y agentes de control biológico de fitopatógenos. Además, COLMENA es un proyecto dinámico, el cual incluirá un mayor número de zonas agrícolas a nivel nacional, continuando con la caracterización metabólica y molecular de los microorganismos resguardados en la colección, además de implementar estudios sobre características metabólicas adicionales como es la producción de antibióticos, ensayos de tolerancia a estrés, formulación de bioinoculantes, pruebas en campo, por citar algunos.

## Agradecimientos

Los autores (as) agradecen el apoyo recibido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología mediante el financiamiento del proyecto 253663 “Fortalecimiento de la infraestructura del Laboratorio de Biotecnología del Recurso Microbiano del ITSON para la creación de la Colección de Microorganismos Edáficos y Endófitos Nativos (COLMENA), para contribuir a la seguridad alimentaria regional y nacional” y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por el financiamiento del proyecto fiscal 2315932912 “Aislamiento y caracterización de microorganismos promisorios para fortalecer el cultivo de maíz en el sur de Sonora y norte de Sinaloa”. Así como a todo el equipo de trabajo del laboratorio de biotecnología del recurso microbiano por su dedicación y compromiso para la creación de COLMENA.

## Literatura citada

Adesemoye, A. O.; Torbert, H. A. and Kloepper, J. W. 2009. Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. Estados Unidos de América. *Microbial Ecol.* 58(4):921-929.

- Ahmad, F.; Ahmad, I. and Khan, M. S. 2008. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. Países Bajos. *Microbiol. Res.* 163(2):173-181.
- Alexander, D. B. and Zuberer, D. A. 1991. Use of chrome azurol S reagents to evaluate siderophore production by rhizosphere bacteria. Alemania. *Biol Fert Soils.* 12(1):39-45.
- Bashan, Y.; de-Bashan, L. E.; Prabhu, S. R. and Hernandez, J. P. 2014. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998-2013). Países Bajos. *Plant Soil* 378(1-2):1-33.
- Brahmaprakash, G. P. and Sahu, P. K. 2012. Biofertilizers for sustainability. India. *J. Ind. Institute Sci.* 92(1):37-62.
- Camelo, M.; Vera, S. y Bonilla, R. 2011. Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Colombia. *Corpoica Ciencia Tecnología Agropecuaria.* 12(2):159-166.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 2017. Wheat Atlas by CIMMYT. <http://wheatatlas.org/country/mex/?aspxautodetectcookiesupport=1>.
- Crichton, R. 2001. Inorganic biochemistry of iron metabolism: from molecular mechanisms to clinical consequences. 2<sup>nd</sup> (Ed.). John Wiley & Sons, Ltd., Chichester. 326 p.
- de Souza, R.; Ambrosini, A. and Passaglia, L. M. P. 2015. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. Brasil. *Gen. Mol. Biol.* 38(4):401-419.
- Dimkpa, C.; Weinand, T. and Asch, F. 2009. Plant-rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. Reino Unido. *Plant Cell Environ.* 32(12):1682-1694.
- Dohrmann, A. B.; Ku, M.; Ju, S.; Jaenicke, S.; Schlu, A. and Tebbe, C. C. 2013. Importance of rare taxa for bacterial diversity in the rhizosphere of Bt - and conventional maize varieties. Reino Unido. *ISME J.* 7(1):37-49.
- Dotterweich, M. 2013. The history of human-induced soil erosion: geomorphic legacies, early descriptions and research, and the development of soil conservation- a global synopsis. Países Bajos. *Geomorphology.* 201(1):1-34.
- Duca, D.; Lorv, J.; Patten, C. L.; Rose, D. and Glick, B. R. 2014. Indole-3-acetic acid in plant – microbe interactions. Países Bajos. *Antonie Van Leeuwenhoek.* 106(1):85-125.
- Emerson, D.; Agulto, L.; Liu, H. and Liu, L. 2008. Identifying and characterizing bacteria in an era of genomics and proteomic. Estados Unidos. *BioSci.* 58(10):925-936.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1996. Declaración de Roma sobre la Seguridad Alimentaria, en Cumbre Mundial sobre la Alimentación. 13-17 de noviembre, 1996. Roma, Italia. <http://www.fao.org/docrep/003/w3613s/w3613s00.htm>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. Resumen: El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria.
- Faraldo, G. J. D. and Sansom, M. S. 2003. Acquisition of siderophores in gram-negative bacteria. Reino Unido. *Nat Rev Mol Cell Biol.* 4(2):105-116.
- Friedrich, T. 2014. La seguridad alimentaria: retos actuales. Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola.* 48(4):319-322.
- Galindo, E.; Serrano, C. L.; Gutiérrez, C. R.; Allende, R.; Balderas, K.; Patiño, M.; Trejo, M.; Wong, M.; Rayo, E.; Isauro, D. and Jurado C. 2013. The challenges of introducing a new biofungicide to the market: a case study. Chile. *Electronic J. Biotechnol.* 16(3):5-5.
- Glick, B. 2012. Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications. Estados Unidos de América. *Scientifica.* 2012(1):1-15.

- Godfray, H. C. J.; Beddington, J. R.; Crute, I. R.; Haddad, L.; Lawrence, D.; Muir, J. F.; Pretty, J.; Robison, S.; Thomas, S. M. and Toulmin, C. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Estados Unidos de América. Science.* 327(5967):812-818.
- Grover, M.; Ali, S. and Sandhya, V. 2011. Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stress. *Países Bajos. World J. Microbiol. Biotechnol.* 27(5):1231-1240.
- Gupta, G.; Parihar, S. S.; Ahirwar, N. K.; Snehi, S. K. and Singh, V. 2015. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture. *Estados Unidos. J. Microbial Biochem. Technol.* 7(2):96-102.
- Gyaneshwar, P.; Kumar, G. N.; Parekh, L. J. and Poole, P. S. 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. *In: Food Security in Nutrient-Stressed Environments: Exploiting Plants' Genetic Capabilities.* Adu-Gyamfi J. J. (Ed). Springer Netherlands. Países Bajos. 133-143 pp.
- Hernández, M. A. C.; Herrera, E. L. and Kuri, H. W. 2016. Technology in society legislative environment and others factors that inhibit transfer of Mexican publicly funded research into commercial ventures. *Estados Unidos de América. Technol. Soc.* 46:100-108.
- Kalia, A. and Gupta, R. P. 2005. Conservation and utilization of microbial diversity. *India. NBA Scientific Bulletin.* 9(7):307.
- Kathiresan, G.; Manickam, G. and Parameswaran, P. 1995. Efficiency of phosphobacteria addition on cane yield and quality. *India. Cooperative Sugar.* 26:629-631.
- Khan, M. S.; Zaidi, A.; Ahemad, M.; Oves, M. and Wani, P. A. 2010. Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi - current perspective. *Reino Unido. Arch Agron Soil Sci.* 56(1):73-98.
- Köhl, J.; Postma, J.; Nicot, P.; Ruocco, M. and Blum, B. 2011. Stepwise screening of microorganisms for commercial use in biological control of plant-pathogenic fungi and bacteria. *Estados Unidos de América. Biological Control.* 57(1):1-12.
- Lynd, L.; Weimer, P.; Zyl, H. and Pretorius, I. 2002. Microbial cellulose utilization: fundamentals and Biotechnology. *Estados Unidos de América. Microbiol. Mol. Biol. Reviews.* 66(3):506-577.
- Malusà, E.; Pinzari, F. and Canfora, L. 2016. Efficacy of biofertilizers: challenges to improve crop production. *In: Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity.* Singh, D. P.; Singh, H. B. and Prabha, R. (Eds). Springer. New Delhi, Heidelberg, New York, Estados Unidos de América. 17-40 pp.
- McCauley, A.; Jones, C. and Jacobsen, J. 2005. Basic soil properties. *Reino Unido soil and water management module.* 1(1):1-12.
- Naciones Unidas. 2015. World population prospects, key findings and advance tables. 28-02-2017. [https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key\\_findings\\_wpp\\_2015.pdf](https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf).
- Nannipieri, P.; Ascher J.; Ceccherini, M.T.; Landi, L.; Pietramellara, G. and Renella G. 2003. Microbial diversity and soil functions. *Reino Unido. Eur. J. Soil Sci.* 68(1):12-26.
- Nelson, E. J.; Kareiva, P.; Ruckelshaus, M.; Arkema, K.; Geller, G.; Girvetz, E.; Goodrich, D.; Matzek, V.; Pinsky, M.; Reid, W.; Saunders, M.; Semmens, D. and Tallis, H. 2013. Climate change's impact on key ecosystem services and the human well-being they support in the US. *Estados Unidos de América. Frontiers Ecol. Environ.* 11(9):483-489.
- Olafur, A. 2009. Soils and the living Earth. *In: soils, society and global change: proceedings of the international forum: celebrating the centenary of conservation and restoration of soil vegetation in Iceland: 31 August-4 September 2007.* Bigas, H.; Guðbrandsson, G. I. Montanarella, L. and Arnalds, A. (Eds.). European Communities. Selfoss, Islandia. 40-45 pp.

- Pal, K. K. and McSpadden, G. B. 2006. Biological control of plant pathogens. Estados Unidos de América. The Plant Health Instructor. 2:1117-1142.
- Pandey, P. and Maheshwari, D. K. 2007. Two sp. microbial consortium for growth promotion of *Cajanus Cajan*. Paises Bajos. Current Science. 92(8):1137-1142.
- Pankhurst, C. E.; Doube, B. M. and Gupta, V. V. S. R. 1997. Biological indicators of soil health: Synthesis. In Biological Indicators of Soil Health. Pankhurst, C. E.; Doube, B. M. and Gupta, V. V. S. R. (Eds). CAB International. 419-435 pp.
- Pankratova, E. M. 2006. Functioning of cyanobacteria in soil ecosystems. Federación Rusa. Eur. Soil Sci. 39(1):S118-S127.
- Rao, A. N. 2013. Food, agriculture and education: science and technology education and future human needs. Elsevier. 6. New York, Estados Unidos de América. 288 p.
- Ryan, R. P.; Germaine, K.; Franks, A.; Ryan, D. J. and Dowling, D. N. 2008. Bacterial endophytes: recent developments and applications. Reino Unido. FEMS Microbiol Lett. 278(1):1-9.
- SAGARPA. 2011. Estudio de gran visión y factibilidad económica y financiera para el desarrollo de infraestructura de almacenamiento y distribución de granos y oleaginosas para el mediano y largo plazo a nivel nacional. [http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/documents/estudios\\_promercado/granos.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/documents/estudios_promercado/granos.pdf).
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. Productores de trigo obtienen rendimiento de nueve toneladas. <http://www.sicde.gob.mx/portal/bin/nota.php?accion=buscar&notaId=915414826576843306f86e>.
- Sharma A. and Shouche Y. 2014. Microbial Culture Collection (MCC) and International Depository Authority (IDA) at National Centre for Cell Science, Pune. India. Ind. J. Microbiol. 54(2):129-133.
- Sharma, S. B.; Sayyed, R. Z.; Trivedi, M. H. and Gobi, T. A. 2013. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. Reino Unido. Springerplus.
- SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2016. <http://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119?idiom=es>.
- Villa, R. E.; Lugo, E. C.; de los Santos, V. S.; Parra, C. F. I. and Figueroa, L. P. 2016. First report of *Cochliobolus sativus* causing spot blotch on durum wheat (*Triticum durum*) in The Yaqui Valley, Mexico. Estados Unidos de América. Plant Dis. 10:(11):2329.
- World Bank. 2008. World Development Report 2008: agriculture for development. Washington, DC: World Bank.
- World Federation for Culture Collections (2014). <http://www.wfcc.info/ccinfo/index.php/home/content>.