Bioinsumos y sus aplicaciones en cultivos de cannabis

Bio Inputs and Their Applications in Cannabis Crops

Juan Sebastián Trinchero Hernández[1]
María Daniela Groppa[2]

Resumen: El presente trabajo tiene como objetivo realizar un relevamiento actualizado sobre publicaciones científicas en las que se abordan diferentes aspectos relacionados con la aplicación de bioinsumos, como parte de una estrategia integral de producción sostenible y como búsqueda de una alternativa a los usos y costumbres de la agricultura tradicional. Se pretende a su vez, exponer los estudios científicos más relevantes que respaldan la efectividad de los productos de origen biológico y sus potenciales aplicaciones sobre plantas de cannabis. La organización de esta revisión propone un primer abordaje sobre el uso general de bioinsumos, teniendo en cuenta aspectos relevantes en términos contextuales y por último, exhibe proyecciones futuras y desafíos sobre potenciales innovaciones biotecnológicas aplicadas a cultivos de cannabis.

Palabras clave: bioinsumos; biotecnología; cannabis

Abstract: *The aim of this work is to carry out an updated survey of scientific publications in which different aspects related to the application of bio-inputs are addressed, as part of a comprehensive strategy for sustainable production and as a search for an alternative to the uses and customs of traditional agriculture. In turn, it is intended to expose the most relevant scientific studies that support the effectiveness of bio-inputs and their potential applications on cannabis plants. The organization of this review proposes a first approach to the general use of products of biological origin, taking into account relevant aspects in contextual terms and, finally, exhibits projections and challenges regarding potential biotechnological innovations applied to cannabis crops.*

Key words: *bio inputs; biotechnology; cannabis*

Recibido: 23 de octubre de 2022
Aceptado: 9 de marzo de 2023

© 2023 Juan Sebastián Trinchero Hernández y María Daniela Groppa. Este artículo se distribuye bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).

[1] Universidad Nacional de José Clemente Paz-Instituto de Estudios para el Desarrollo Productivo y la Innovación. ORCID 0009-0000-9329-608X, jtrinchero@unpaz.edu.ar
[2] IQUIFIB, Conicet, Facultad de Farmacia y Bioquímica, UBA. ORCID 0000-0001-5255-7618, danielagroppa@gmail.com

De los fertilizantes químicos a la agricultura sostenible

El aumento demográfico observado durante las últimas décadas, plantea desafíos significativos para la agricultura y requiere un nuevo enfoque en el paradigma productivo. Según Polo (2017), sería necesario aumentar en más del 50% la producción de alimentos a nivel mundial, para poder abastecer a los más de 9000 millones de personas que se supone que habiten en la Tierra para el año 2050. La necesidad de satisfacer esta creciente demanda de alimentos ha redundado en el uso indiscriminado de fertilizantes químicos y herbicidas. Un ejemplo lo constituye Argentina, en donde los paquetes tecnológicos adoptados para el crecimiento de la producción agropecuaria, han sido el sostén del crecimiento del sector. El corrimiento de la frontera agropecuaria hacia tierras de menor calidad, y por ende de rendimientos menores a los históricos de las "tierras de primera", implicó el uso de agroquímicos en grandes cantidades a costos exorbitantes para poder mantener y superar los rendimientos históricos. Los productores aplican la tecnología de insumos siguiendo su visión economicista y obteniendo como correlato una acentuación de la contaminación, de la desertificación y una marcada pérdida de nutrientes (Jager, 2016). En consecuencia, se estima que en los próximos años, deberá utilizarse proporcionalmente una cantidad de fertilizantes que permita obtener una producción acorde con la demanda. Esto traerá aparejado un gran número de problemas ambientales tales como: una disminución considerable del contenido de materia orgánica, fundamental para mantener la fertilidad del suelo, el aumento de la salinidad de los suelos, la eutrofización del agua y la acumulación de nitrato, así como las altas concentraciones de nitrógeno y azufre en el aire (FAO, 2002). Dado que muchos productos utilizados sobre cultivos, contienen metales pesados, como cadmio o cromo, y altas concentraciones de radionucleidos, su acumulación constituye la principal fuente de contaminación de diferentes agroecosistemas y del medio ambiente (Savci, 2012).

Es importante destacar el impacto que tienen la producción y el consumo de alimentos en las emisiones totales de gases de efecto invernadero. En los últimos 50 años, las emisiones de gases con efecto invernadero (GEI) provenientes de la agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU, por sus siglas en inglés) se han casi duplicado, y las previsiones indican que seguirán aumentando hasta el año 2050 (FAO, 2016). Las emisiones que provienen del uso de fertilizantes químicos y otros insumos industriales representan gran parte de las emisiones generadas por la agricultura (que representan cerca del 12% de las emisiones globales). Estas emisiones aumentan al 25-30% cuando la agricultura industrial invade sabanas, cenagales y bosques para producir unas pocas materias primas agrícolas (Rottach et al., 2017). Es por esto que agricultores, industrias agroalimentarias y consumidores deben compartir la responsabilidad de mitigar estos efectos y plantear nuevas estrategias agrícolas que tengan en cuenta la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental. Solo el uso de nitrato de amonio como fertilizante en el cultivo de trigo, para la producción de pan, representa alrededor del 40% del impacto ambiental generado

por las emisiones de gases de efecto invernadero. Estos hallazgos revelan el uso insostenible de fertilizantes de síntesis química en la producción de pan e ilustran la necesidad de que los diferentes actores de la cadena de suministro asuman la responsabilidad compartida para lograr una producción sostenible de alimentos (Goucher et al., 2017). A modo de ejemplo se puede mencionar el caso del nitrógeno obtenido por síntesis química que representa el 75% de todos los fertilizantes minerales. Dado que se estima que se aplica el doble de nitrógeno de lo que las plantas absorben, gran cantidad del N aplicado se libera a la atmósfera como óxido nitroso, un gas con efecto invernadero (GEI) y con un potencial de calentamiento global 310 veces mayor que el dióxido de carbono. También trae aparejado un incremento en el contenido de nitratos en el agua potable y en los ríos. De acuerdo a un artículo de Lynch (2002) se han encontrado altos niveles de nitrógeno en algunas zonas de cultivo y acumulaciones de nitratos y nitritos en concentraciones nocivas para la salud en plantas de lechuga y espinaca. Queda claro entonces que la excesiva utilización de productos de síntesis química contamina suelos, cursos de agua y acuíferos con el consecuente impacto sanitario y ambiental.

La falta de sustentabilidad en el actual modelo agrícola junto con una mayor conciencia ambiental están llevando a un cambio de paradigma sobre la producción agraria. Es por ello que existe una tendencia creciente a implementar métodos consensuados y normados para la producción de alimentos sanos, inocuos y de buena calidad nutricional, como las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA, creadas hace más de dos décadas) y la agricultura climáticamente inteligente (Climate-Smart Agriculture, CSA), que apuntan a reemplazar de manera gradual los productos de síntesis química por los orgánicos, los que, a su vez, estimulan las actividades de los organismos beneficiosos que habitan el suelo (Mallory y Griffin, 2007). Algunos de los enfoques agrícolas que permiten mejorar la producción de los cultivos de manera sustentable son la agroecología, la agricultura de conservación, la agricultura orgánica, la agricultura de labranza cero y la agroforestería o agrosilvicultura (sistema productivo que integra árboles, ganado y pastos en una misma unidad productiva). Dichos enfoques se sostienen en la necesidad de generar un cambio profundo en un modelo productivo que resulta insostenible por el impacto ambiental que genera, por el efecto nocivo sobre la salud e inclusive por la presión generada a través de la demanda de productos alimenticios con un mayor grado de inocuidad, de mejor calidad alimentaria y ajustado a los estándares exigidos en el mercado internacional.

Muchas organizaciones internacionales como la FAO y el Banco Mundial consideran imperiosa la transición a una "agricultura climáticamente inteligente" para lograr un suministro adecuado de alimentos para los 9000 millones de habitantes que se estiman para dentro de 30 años. Para que esta transición se de a nivel global es necesario un marco de gobernanza unificado, para difundir métodos y tecnologías agrícolas que aumenten la productividad de un cultivo dado y que, al mismo tiempo, construyan resiliencia al cambio climático y generen una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero

(Taylor, 2018). Si bien la CSA se enfoca en soluciones técnicas rápidas y basadas en el uso de determinados insumos de base tecnológica, o en cómo aplicar ingeniería genética a plantas para que estas resistan condiciones climáticas más extremas, no tiene en cuenta los contextos agroecológicos y sociales específicos de los países en vías de desarrollo. Por ejemplo, las plantas transgénicas sólo generan rindes óptimos cuando su cultivo se combina con el uso de pesticidas químicos y fertilizantes sintéticos, lo que hace que esta opción no sea sostenible para la mayoría de los productores de bajos recursos. También se aleja de lo que debería ser el foco de la investigación y la innovación agrícola: mejorar la resiliencia de los sistemas que incluyen el uso de semillas locales y que desde hace siglos, constituye el eje de la agro-biodiversidad (Rottach et al., 2017).

Según la FAO y la Organización Mundial de la Salud (OMS), las BPA "consisten en la aplicación del conocimiento disponible en la utilización sostenible de los recursos naturales básicos para la producción, en forma benévola, de productos agrícolas alimentarios y no alimentarios, inocuos y saludables, a la vez que se procura la viabilidad económica y la estabilidad social" (Red de Buenas Prácticas Agrícolas, 2015). En Argentina existe una red BPA creada para contar con un mecanismo de intercambio de información, diálogo y cooperación entre sus miembros y así abordar de forma integral las distintas dimensiones de la temática. Entre las organizaciones fundacionales de la red se encuentran el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Apresid, ArgenBio, Aacrea, Asagir, ASA, la Bolsa de Cereales porteña, Carbio, Casafe y Fertilizar. En el marco de la red, se desarrolló un documento que brinda recomendaciones para los decisores políticos que deseen legislar regulaciones sobre el manejo y la aplicación de los productos fitosanitarios en sus departamentos, municipios o partidos.

La necesidad de establecer un cambio profundo, basado en un modelo diferente de producción, se ajusta a hechos concretos y demostrables que, de esta manera, van logrando generar un consenso amplio dentro del sector productivo y exigen un trabajo mancomunado entre todos los eslabones de la cadena de producción y consumo.

El inicio en la construcción de un modelo de producción sustentable y ajustado a la coyuntura actual no podría haberse generado sin la acumulación de antecedentes respaldatorios y de base científica que dan cuenta de los efectos deletéreos producidos por las prácticas de la agricultura tradicional.

Bioinsumos

La tendencia de la agricultura mundial y también de Argentina de ir cambiando a un manejo sustentable de los cultivos a fin de preservar el ambiente y la salud de la población, ha generado el surgimiento de nuevas tecnologías entre las cuales los bioinsumos están adquiriendo cada vez más relevancia (Gramuglia, 2014). El término bioinsumos alude a todos aquellos productos biológicos que consisten en o han sido producidos a partir de microorganismos (bacterias,

hongos y otros), artrópodos o extractos de plantas, y que están destinados a ser aplicados como insumos en la producción agroalimentaria, agroindustrial y agroenergética (MAGyP, 2014). En las formulaciones de bioestimulantes se han utilizado diversas materias primas como ácidos húmicos, hormonas, extractos de algas y bacterias promotoras del crecimiento vegetal (Vasconcelos, 2019). El uso de bioinsumos (biofertilizantes, bioestimuladores y bioplaguicidas) a nivel agronómico va teniendo cada vez mayor aceptación por ser una alternativa económica y amigable con el ambiente. Los bioestimulantes se integran cada vez más en los sistemas de producción con el objetivo de modificar los procesos fisiológicos en las plantas para optimizar la productividad (Mamani de Marchese y Filippone, 2018). A su vez, son productos que reducen la necesidad de uso de fertilizantes y aumentan el crecimiento y la resistencia de las plantas a las sequías. Son eficientes en pequeñas concentraciones, favoreciendo el buen desempeño de los procesos vitales de la planta, permitiendo altos rendimientos y la obtención de productos de buena calidad, ya que mejoran la eficiencia nutricional y la tolerancia a diferentes factores de estrés abiótico.

Los bioinsumos han recibido considerable atención, tanto de la comunidad científica como de las empresas comerciales, especialmente en las últimas dos décadas y media. Existen resultados de numerosas investigaciones que muestran un efecto promotor del crecimiento vegetal como así también un mejor crecimiento de las plantas en condiciones de estrés como por ejemplo el salino (Bhakuni y Rawat, 2005; Khan et al., 2011; Calvo et al., 2014; Salcedo et al., 2020; García-Poza et al., 2020)

Si bien en el manejo tradicional de la agricultura se puede prevenir el estrés abiótico optimizando las condiciones de crecimiento de las plantas mediante el suministro de agua, nutrientes y reguladores del crecimiento (auxinas, citoquininas, giberelinas, estrigolactonas, brasinoesteroides), el uso de bioestimulantes ofrece un enfoque potencialmente novedoso para la regulación o modificación de procesos fisiológicos en las plantas, estimular el crecimiento, mitigar las limitaciones inducidas por el estrés y aumentar el rendimiento. Es importante discernir si los efectos de los bioestimulantes sobre la productividad de las plantas son el resultado de una respuesta directa o de una respuesta indirecta por la acción del bioestimulante en el suelo y el microbioma de la planta, con posteriores efectos sobre la productividad de las plantas. Definir si los efectos bioestimulantes son directos o mediados por microorganismos será fundamental para el desarrollo de estas tecnologías (Yakhin et al., 2017).

Muchos microorganismos que forman parte del rizo microbioma del suelo así como los compuestos que secretan, cumplen un rol clave en la estimulación del crecimiento de la planta así como en la modulación de la respuesta vegetal frente a diferentes tipos de estrés. Dicho grupo de microorganismos se encuentran catalogados como PGPM (*Plant Growth-Promoting Microorganism*) y constituyen una alternativa sustentable de bioestimulación y bio fertilización de plantas, cuando se aplican en diferentes cultivos. Aunque la utilización de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en in-

glés plant growth promoting rhizobacteria) data de largos años, la revolución agroecológica que se encuentra en boga, hace que estas bacterias hayan adquirido una mayor relevancia. Las PGPR ejercen su acción mediante mecanismos directos e indirectos. Dentro de los mecanismos directos se destacan la fijación biológica del nitrógeno, la producción de fitohormonas como el ácido indol acético, la solubilización de fosfatos, la solubilización de macronutrientes como potasio, así como la producción de sideróforos y moléculas surfactantes entre otros. Los mecanismo indirectos están relacionados con acciones de biocontrol de microorganismos patógenos beneficiando de esta manera el desarrollo de las plantas (revisión de Backer et al. 2018). Gracias a los diversos mecanismos de acción que poseen las PGPR es que muchos de estos microorganismos y/o sus derivados se han utilizado en formulaciones de uso agrícola de manera de reducir el uso de fertilizantes sintéticos. En el caso del cultivo de cannabis se han usado para control de hongos fitopatógenos, ácaros, áfidos, trips, etc.

La producción de insumos agrícolas a base de microorganismos comenzó a principios del siglo 20 con la comercialización de rizobios para la inoculación de leguminosas. Con el paso de los años también se comenzaron a producir inoculantes con cepas de los géneros *Bacillus, Pseudomonas y Azospirillum*. Hongos del género *Trichoderma* también han sido ampliamente usados en agricultura como agentes de biocontrol. Estos hongos son simbiontes vegetales que mejoran la salud de la planta y le confieren tolerancia contra estrés abiótico y fitopatógenos mediante la secreción de moléculas efectoras y metabolitos secundarios (Vinale et al 2020 y referencias incluidas).

Dentro de los bioestimulantes naturales, otro de los productos 'redescubiertos' son las algas. Ya hace más de una década que se comercializan productos elaborados a partir de extractos de algas marinas y microalgas, como así también existen proyectos de cooperación tecnológica para la producción de biofertilizantes de última generación a partir de algas y microalgas, empleando procedimientos novedosos de obtención y formulación. Estos bioestimulantes actúan como excepcionales estimuladores del crecimiento vegetal. Al ser aplicados a los cultivos de frutas, hortalizas y flores, producen mayores rendimientos, dado que muchos de sus compuestos ayudan a resistir mejor el ataque de plagas y otras situaciones adversas. Los extractos de algas contienen un amplio rango de componentes minerales y orgánicos, que incluyen complejos de polisacáridos únicos, como laminarinas, fucoidanos y alginatos, y hormonas de crecimiento vegetal que no se encuentran presentes en plantas terrestres (Sivasankari et al., 2006; Rioux et al., 2007; Khan et al., 2012), como también aminoácidos y oligoelementos bioasimilables en su forma natural que activan las resistencias naturales de las plantas y favorecen la asimilación de nutrientes y componentes activos (Bhakuni y Rawat, 2005). El concepto de que los beneficios de las algas y sus extractos se deben a sus macro o micronutrientes, ya no es sostenible. Extensos estudios sobre la composición química de varios extractos hechos con diferentes algas han revelado que el contenido de los típicos macronutrientes utilizados para la fertilización de plantas tales como nitró-

geno, fósforo y potasio fueron insuficientes cuando se utilizaron en ensayos a campo (Battacharya et al., 2015). Debe comprenderse la complejidad y riqueza de las diferentes biomoléculas que coexisten en los extractos algales, cuyo efecto positivo en un cultivo o en alguna matriz biológica, en algunos casos, dista de poder asociarse a un solo principio activo o a un conjunto de biomoléculas y, como se mencionó anteriormente, resulta de la compleja asociación entre su efecto bioestimulante y el sistema suelo-planta-agua-atmósfera. Se han demostrado diferentes mecanismos de acción de algunas de las biomoléculas que podrían estar relacionadas con las propiedades favorables y la actividad bioestimulante de los extractos de algas. Una de las algas marrones de mayor uso agrícola en la actualidad es *Ascophyllum nodosum* y se cree que su efecto estimulante podría deberse a la actividad tipo citoquinina que poseen algunas de sus biomoléculas, tal como se demuestra en un ensayo realizado en *Arabidopsis thaliana* tratada con extractos comerciales de algas al 0,3% y 0,5% (Khan et al., 2010).

Ya han pasado 60 años desde que se utilizó por primera vez un extracto comercial a base de algas para uso agrícola. Dicho extracto acuoso permitió la aplicación directa de constituyentes solubles de algas a órganos específicos de plantas, como hojas y raíces. Dado que los extractos de algas son beneficiosos para los suelos, sin elementos contaminantes para el medio ambiente e inocuos para la salud humana, su utilización como fertilizantes se encuentra en pleno crecimiento. Los extractos de algas han ido ganando una mayor aceptación como "bioestimulantes de plantas". En general y aun en bajas concentraciones, son capaces de inducir rearreglos en respuestas fisiológicas que redundan en la promoción del crecimiento, el mejoramiento en la floración o en los rindes, y también en un aumento de la calidad de los productos, mejorando el contenido nutricional de productos comestibles, así como el tiempo de vida útil en góndola. Además, existen reportes de usos de diferentes extractos como mejoradores de la tolerancia de plantas frente a un amplio rango de factores de estrés abiótico, entre ellos, salinidad, sequía y exposición a temperaturas extremas. También se ha demostrado que tienen efectos insectífugos, y, al ser naturales, son aptos para la agricultura ecológica (Calvo et al., 2014).

Las algas *Ascophyllum nodosum* forman parte de un gran número de formulaciones bio minerales (bioestimulantes y biofertilizantes) aplicadas en diferentes cultivos tales como el cannabis, trigo, canola, maíz y girasol entre otros. En paralelo se ha estudiado el uso de otras algas alternativas para su aplicación en cultivos.

En Argentina, ha avanzado de manera exponencial el crecimiento de una macroalga parda, denominada *Undaria pinnatifida*, originaria de Asia que ha invadido las costas de la Patagonia. Sobre la base de sus rangos térmicos de tolerancia podría invadir las costas de Buenos Aires y potencialmente también las de Uruguay. Considerando su amplia distribución actual, su alta fertilidad y la persistencia de sus estructuras reproductivas, la erradicación de *Undaria* de las costas argentinas se considera imposible (Dellatorre et al., 2012). En este sentido, la búsqueda y la investigación de los potenciales usos de *Undaria pinnatifida*

podrían impulsar la generación de un nuevo mercado local a través de la producción y explotación comercial de biomasa de algas para su utilización como biofertilizante, entre otras aplicaciones ya descritas (Dellatorre et al., 2012). Recientemente se ha reportado que la suplementación con *Undaria* de suelos empobrecidos promueve el crecimiento de plantas de tomate durante sus primeras etapas de desarrollo, evidenciado con aumentos en la biomasa vegetal y el contenido de clorofila, así como en la restauración del estado redox de la planta. Este efecto podría estar relacionado con la presencia en el extracto de *Undaria* de nutrientes vegetales, incluidos minerales y vitaminas, y fitohormonas como auxinas, citoquininas y giberelinas. Además, se detectó actividad antioxidante, que también puede contribuir a reducir la exposición de las raíces a compuestos oxidantes (Salcedo et al., 2020).

Como producto de una necesidad planteada desde la seguridad alimentaria, por el consenso logrado en relación con la implementación de BPA, CSA y por los estándares exigidos en términos de calidad final de muchos productos alimenticios, año tras año se suman trabajos que buscan dirimir interrogantes en cuanto a las formas de aplicación, mecanismos biológicos involucrados y los potenciales beneficios que ofrecen las algas y sus derivados, como una alternativa más en el campo de la agricultura sustentable.

Cannabis y bioinsumos

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) las hierbas medicinales tradicionales son plantas o partes de plantas que son utilizadas para el tratamiento de enfermedades a escala local o regional con un mínimo o nulo procesamiento industrial (Tilburt JC, 2008). Estas plantas son una rica fuente de compuestos que se pueden utilizar para el desarrollo de fármacos. También pueden extraerse sabores, aromas y fragancias, conservantes, aditivos alimentarios, cosméticos, pigmentos naturales y compuestos bioactivos. Las partes de las plantas medicinales que se pueden utilizar son: semillas, raíz, hoja, fruto, piel, flores o incluso toda la planta (Jamshidi-Kia, 2018).

De acuerdo a datos de la FAO y la OMS más de dos tercios de la población mundial utiliza plantas medicinales para atender sus dolencias psicofísicas. En Argentina, se estima que el 90% de la población utiliza al menos alguna planta medicinal y que un millar de especies medicinales son utilizadas en todo el país (Chaves et al., 2014).

Por su parte, el cannabis es una planta que ha sido cultivada durante miles de años por sus propiedades medicinales y recreativas. Con la legalización del cultivo de esta planta en varios países, ha habido un crecimiento de su demanda, lo que ha llevado a un aumento de su cultivo. Al tratarse de una planta de uso medicinal, la necesidad de producir materia prima inocua y de calidad, exige estrategias de cultivo que ponderen no solo el rendimiento sino la calidad de la misma, principalmente para adecuarse al marco normativo y a los estándares de calidad exigidos por organismos de control tales como la ANMAT (Administración Nacional de Medicamentos y Tecnología).

Durante la fabricación de productos farmacéuticos, y otros relacionados con la salud, es necesario realizar una óptima revisión al proceso de la producción aplicando normas establecidas para garantizar al consumidor la calidad de los productos que consume (Almache Chiliquinga et al., 2021). En este sentido, el cumplimiento del control de calidad durante todo el proceso de producción de un fitomedicamento desemboca en un concepto denominado trazabilidad, que en la actualidad es una práctica común e imprescindible para conocer de dónde proviene cualquier producto terminado, lo que incluye a los productos elaborados a base de plantas medicinales (Huanca et al., 2020). Las exigencias en relación a la inocuidad de dichos productos ha dado un mayor lugar al uso de bioinsumos para la agricultura en reemplazo de las formulaciones químicas utilizadas como fertilizantes y plaguicidas.

En recientes publicaciones, se ha encontrado que algunos microorganismos asociados a diferentes tejidos de la planta de cannabis, o como parte de la rizósfera, aportan beneficios a la salud y al crecimiento de la planta, promoviendo su crecimiento o como controladores de fitopatógenos. Por ejemplo, Kusari et al. (2012) aislaron bacterias endófitas de diferentes variedades de cannabis y encontraron que tenían propiedades antifúngicas y de promoción del crecimiento vegetal. Otro estudio realizado por Houdkova et al. (2020) mostró que los hongos endófitos mejoraron la resistencia de las plantas de cannabis al estrés abiótico y mejoraron la producción de cannabinoides; mientras que la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares mejoró la producción de cannabinoides (Seemakram et al., 2022). Además de los endófitos, otros microorganismos epífitos o de la rizósfera pueden ser utilizados para mejorar el cultivo de cannabis. Sin embargo, hasta la fecha, hay pocos trabajos disponibles sobre los beneficios potenciales de la inoculación con PGPR en rendimiento de la biomasa, el crecimiento, o sobre efectos de biocontrol contra hongos fitopatógenos y otras plagas, así como en la producción o acumulación de metabolitos secundarios en cáñamo industrial. En un trabajo reciente, se ha demostrado que la inoculación de un consorcio de PGPM, formado por *Azospirillum brasilense, Gluconacetobacter diazotrophicus, Burkholderia ambifaria y Herbaspirillum seropedicae*, mejoró el crecimiento de Cannabis sativa 'Finola' (un cultivar de cáñamo) y el estado fisiológico de la planta, posiblemente relacionado con una acumulación de metabolitos secundarios (Pagnani et al., 2018). La utilización de un consorcio de bacterias solubilizadoras de fosfato incluyendo la Pseudomonas putida (Baas et al., 2016) aumentó en un 16,5% el rendimiento de inflorescencias y aceleró la maduración de plantas de marihuana en una producción comercial (Conant et al., 2017). Comeau et al. (2021) observaron que la utilización de un consorcio *Pseudomonas-Bacillus* promovió el crecimiento de cáñamo en mayor medida que cuando se inoculaba con ambas especies bacterianas por separado. También se ha visto que hongos como *Trichoderma, Glomus, y Rhizophagus* tienen un efecto benéfico sobre el crecimiento, la captación de fósforo y la calidad de las plantas de cáñamo (Citterio et al., 2005; Kakabouki et al., 2021a,b). En el Cuadro 1 se resumen algunos resultados obtenidos por inoculación de diferentes variedades de cannabis con microorganismos

promotores de crecimiento vegetal (PGPM), micorrizas o trichoderma.

Cuadro 1: aplicaciones realizadas con aislamientos microbianos utilizados como bioinsumos, sobre cultivos de cannabis y los efectos producidos en cada caso.

Bioinsumo	Aplicación	Efecto en Cannabis
Micorrizas		
Rhizophagus irregularis Kakabouki el al, 2021a	120 esporas fúngicas por L de solución nutritiva	Aumento significativo de la longitud de raíz (34 %), del peso seco de parte aérea (21 %), tasa de sobrevida (5 %), contenido de P (24 %) y DQI (12 %).
Rhizophagus irregularis, Ri Sun et al., 2022	No menciona la forma de aplicación	La simbiosis Ri-cáñamo mejora la adaptación al estrés por Cd y promueve el crecimiento de las plantas mediante la regulación de los parámetros de intercambio de gases fotosintéticos y los parámetros de fluorescencia de la clorofila de las plantas.
Rhizophagus prolifer PC2-2 y *R. aggregatus* BM-3 g3 Seemakram et al., 2022	Inoculación de 200 esporas por maceta en el primer día de trasplante en una zona adyacente a la raíz	La inoculación con *R aggregatus* BM-3 g3 promueve el crecimiento del cáñamo y aumenta los contenidos de cannabinoides más que el uso de fertilizantes sintéticos. La inoculación con *R. prolifer* PC2-2 produce los mismos efectos que el fertilizante químico conrespecto a la biomasa de la planta y a las concentraciones de cannabinoides.
PGPR		
Bacillus y *Pseudomonas* (*Pseudomonas synxantha* LBUM223, *Pseudomonas protegens* LBUM825, *Bacillus velezensis* LBUM279, LBUM1082, *Bacillus subtilis* LBUM979) Comeau et al, 2021	Inoculación en el momento del trasplante en la base del tallo. Las bacterias se inocularon solas o combinadas en concentración 10^8CFU/ml	Aumento significativo del rendimiento de *C. sativa* (hasta un 70%) cuando se inocula con tres consorcios Pseudomonas spp./Bacillus spp., pero no con tratamientos de inoculación única. El efecto promotor del crecimiento se observó en dos sustratos (Promix y Canna coco). El análisis genómico basado en marcadores destacó a Bacillus spp. como principal modulador de la diversidad del microbioma de la rizosfera y *Pseudomonas* spp. fuertemente aso-

		ciado con la promoción del crecimiento de las plantas.
Bacillus y Pseudomonas Balthazar et al, 2022	Doce días después de la siembra las partes aéreas de las plantas de cannabis fueron asperjadas con 5 ml de suspensiones bacterianas, recibiendo 5×10^5 UFC por planta	*Bacillus velezensis* LBUM279, FZB42, LBUM1082, *Bacillus subtilis* LBUM979, *P. synxantha* LBUM223 y *P. protegens* Pf-5 controlaron significativamente el desarrollo de moho gris en las hojas de cannabis.
Mucilaginibacter, Bacillus y *Pseudomonas* Lyu et al, 2023	La inoculación se realizó después del transplante: en el día 1 (etapa vegetativa) o día 36 (etapa de floración temprana). Se vertieron 10 ml de cultivo bacteriano fresco (1×10^8 UFC mL^{-1}) en la base de la planta	En la etapa vegetativa, la inoculación con *Mucilaginibacter* sp. aumentó el peso seco de la flor (24 %), el CBD total (11,1 %) y el THC (11,6 %); Pseudomonas sp. Aumento el peso seco de tallo (28 %), CBD total (7,2 %) y THC (5,9 %); y Bacillus sp. aumentó el THC un 4,8%. En al etapa de floración la inoculación con Mucilaginibacter sp. y Pseudomonas sp. Aumentaron un 23 y 18% la acumulación de terpenos.
Azospirillum brasilense, Gluconacetobacter diazotrophicus, Herbaspirillum seropedicae y *Burkholderia ambifaria* Pellegrini et al, 2021	En el experimento de preemergencia, la inoculación bacteriana se obtuvo remojando las semillas durante 20 min bajo agitación constante en la solución de consorcio (10^{10} UFC mL^{-1}) preparado con cantidades iguales de *B. ambifaria, G. diazotrophicus y H. seropedicae.* En experimentos de postemergencia, se inocularon plántulas con las primeras hojas desplegadas después del trasplante con una solución de consorcio de 10^6 UFC mL^{-1} depositada directamente en la base de cada plántula.	Todas las bacterias excepto *Azospirillum* presentaron actividad antagónica de *Fusarium Oxysporum* f. sp. Cannabis in vitro (inhibición in vitro > 50%). El consorcio *G. diazotrophicus*, *H. seropedicae* y *B. ambifaria* contrarrestó la infección por Fusarium tanto en preemergencia como en postemergencia
Mammoth P (*Enterobacter cloacae, Citrobacter freundii, Pseudomonas putida* y *Comamonas testosteroni*) Conant et al, 2017	Inoculación con Mammoth PTM en plantas establecidas.	Aumentos significativos (16,5 %) en la producción de cogollos en *Cannabis sativa*. Aumentos en la altura de la planta y en el área basal del tallo y aceleró la

		maduración de plantas de marihuana en una producción comercial.
Bacillus sp Scott y Punja, 2020	Aplicación foliar en plantas de Cannabis sativa L. infectadas por *Golovinomyces cichoracearum*	Los productos de biocontrol Rhapsody ASO y Stargus (que contienen *Bacillus* sp.) suprimieron parcialmente el mildiú polvoriento.
Bacillus spp. Punja y Ni, 2021	Aplicación en inflorescencias desprendidas de *Cannabis sativa* L. 48 h antes de la inoculación de *B. cinerea*	Reducción significativa del desarrollo de la pudrición del cogollo.
Consorcio *Azospirillum brasilense, Gluconacetobacter diazotrophicus, Herbaspirillum seropedicae, Burkholderia ambifaria* Pagnani et al., 2018	Las semillas se inocularon por inmersión durante 1 h en la solución de inóculo de 10^6 cél mL^{-1} y luego se lavaron en agua esterilizada.	Los PGPR favorecieron el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como la acumulación de metabolitos secundarios de las plantas y, en consecuencia, la capacidad antioxidante.
Trichodermas		
Trichoderma harzianum Kakabouki et al, 2021	Inoculación de *Trichoderma harzianum* con una dosis baja y alta del hongo (T1, 2 x 10^{12} y T2, 4 x 10^{12} esporas kg^{-1}). Aplicación por fertirriego 10 y 30 días después de la siembra	La densidad de raíces de ambas variedades (*Cannabis sativa* Fedora 17 y Felina) fue mayor que en las plantas sin inocular registrándose valores superiores en Fedora 17. La colonización del sistema radicular por Hongos Micorrízicos Arbusculares y la emisión de CO_2 del suelo fueron mayores después de la inoculación de *Trichoderma harzianum*. Los valores más altos de altura de planta y peso seco se notaron para T2, especialmente en la variedad Felina. *Trichoderma harzianum* influyó positivamente en las características de las inflorescencias como su número, peso fresco, humedad y compacidad en ambas variedades. *Trichoderma harzianum* aumentó el contenido de cannabidiol (CBD), especialmente en el tratamiento T2.
Trichoderma asperellum y *Gliocladium catenulatum*	Aplicación en inflorescencias desprendidas de *Can-*	Reducción significativa del desarrollo de la pudrición del

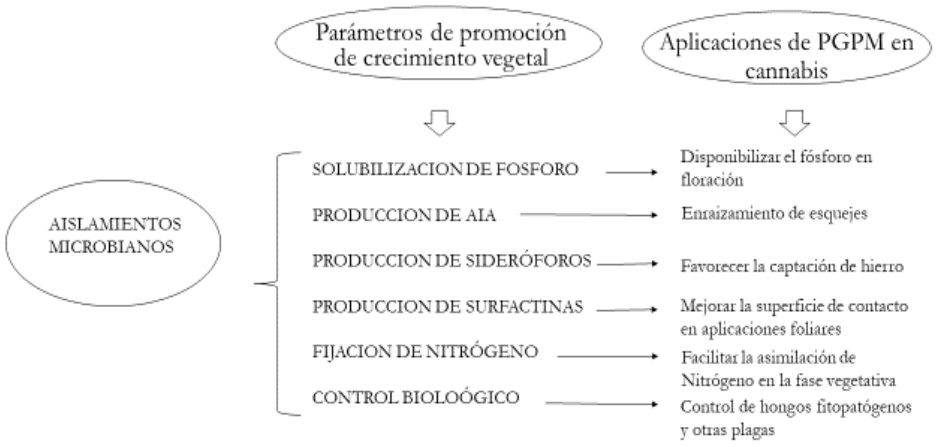
Punja y Ni, 2021	*nabis sativa* L. 48 h antes de la inoculación de *B. cinerea*	cogollo.

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, los cultivos de cáñamo están amenazados por ataques de virus, bacterias y hongos que penetran a través de la superficie de hojas, tallos y raíces; se esparcen dentro los tejidos; y colonizan toda la planta (Philippot et al., 2013). En trabajos realizados sobre aislamientos fúngicos en cáñamo, se demostró que *F. oxysporum* f. sp. vasinfectum, que atacan a otras plantas como *Capsicum annuum y Medicago sativa* y *F. oxysporum* f. sp. cannabis causaron patogenicidad en el cáñamo. El marchitamiento producido por Fusarium constituye un gran problema en este cultivo en todo el mundo porque la propagación del hongo no puede ser restringida por medidas estándares de control biológico. En la literatura, se ha descrito el biocontrol de este hongo con bacterias como *Burkholderia cepacia*, *Pseudomonas fluorescens* y *Streptomyces griseoviridis* y los hongos benéficos *Trichoderma lignorum* y *Glomus intraradices* (Mc Partland et al., 2004). Balthazar et al., (2022) demostraron que seis cepas de Bacillus lograron controlar el desarrollo del moho gris en hojas de cannabis. Por su parte, un consorcio compuesto por *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum seropedicae* y *Burkholderia ambifaria* (que producen una inhibición in vitro de *Fusarium* de alrededor del 50%) lograron contrarrestar la infección por este hongo de cannabis tanto cuando fueron inoculadas antes como después de la germinación (Pellegrini et al., 2021).

En el cuadro 2, se exhiben las potenciales aplicaciones biotecnológicas, de aislamientos microbianos asociados a la planta de cannabis y a su ecosistema, en función de diferentes parámetros de promoción de crecimiento vegetal.

Cuadro 2: potenciales aplicaciones de aislamientos microbianos de cannabis



A pesar de los avances tecnológicos en el cultivo de cannabis, la proporción de cannabinoides, o más específicamente, de cannabidiol (CBD) y tetrahidrocannabinol (THC) fluctúan en gran medida dependiendo de varios factores, incluyendo el sexo de los padres, genotipos, prácticas de cultivo y estrés biótico o abiótico (Ahmed et al., 2021). Entre los avances tecnológicos sobre bioinsumos aplicados en plantas de cannabis, se encuentran diferentes microorganismo aislados, con propiedades de promoción de crecimiento vegetal y que aplicados sobre las plantas, han demostrado tener incidencia (entre otros parámetros), sobre el perfil de cannabinoides obtenido en las distintas etapas del cultivo (Lyu, D., et al 2023). La utilización de bioinsumos de manera adecuada, puede mejorar la calidad y la concentración de cannabinoides en plantas de cannabis. Sin embargo, es importante tener en cuenta que dicha concentración está determinada por diversos factores genéticos y ambientales, además de verse influenciada por la correcta utilización de bioinsumos. Por lo tanto, en un manejo integral del cultivo es necesario conocer y poner a punto todas las variables que inciden en los procesos de producción, para que estos resulten trazables y a su vez para que permitan generar un producto de calidad, con perfiles y concentraciones de cannabinoides estables, sobre todo cuando la finalidad es obtener plantas para uso medicinal.

La composición microbiana en el suelo depende de interacciones complejas entre el tipo de suelo, la ubicación de la zona de raíces y las especies de plantas (Marchsner., *et al* 2001). Comprender el rol que cumplen los desarrollos de origen biológico en el ecosistema del suelo es crucial para poder garantizar una correcta aplicación, asegurar su eficacia y para poder optimizar su uso. A pesar de que se han comenzado a publicar trabajos en los que se describen algunos microorganismos y su relación con la planta de cannabis y su entorno, es necesario comprender y profundizar el conocimiento sobre los diferentes roles que cumple la microbiota en su asociación con la planta.

Conclusión:

Entendiendo la aplicación de bioinsumos como parte de una estrategia de producción sostenible y trazable en proyectos productivos de cannabis, es importante realizar estudios que permitan generar un mayor conocimiento sobre los potenciales usos y aplicaciones de estos productos. No solo es importante entender cómo ejercen su efecto benéfico sobre las plantas, sino también evaluar la estabilidad, la cadena de producción, el escalado y en definitiva la transferencia de dicha tecnología para que su uso sea accesible en el mercado de los fertilizantes y bioestimulantes.

Como desafíos a futuro y en proyección sobre las potenciales aplicaciones agronómicas de nuevos aislamientos microbianos, el avance en el conocimiento sobre las diferentes poblaciones microbianas endófitas, epífitas y rizosféricas que habitan el ecosistema de la planta, resulta clave para el desarrollo de nuevos bioinsumos. Por otra parte, es necesaria la puesta a punto sobre todo la relación dosis-respuesta, cuando son aplicados en ensayos a campo,

dado que en estos casos, las condiciones ambientales juegan un papel determinante en la eficacia agronómica de dichos productos.

Otro aspecto a considerar, es la estabilidad y la inocuidad en la manipulación de los bioinsumos aplicados en ensayos a campo, dado que muchos microorganismos geófilos, pueden dejar de exhibir propiedades de promoción de crecimiento vegetal al cambiar las condiciones ambientales o bien, resultar patógenos para humanos o animales. Por otra parte, al ser productos biológicos, muchos van perdiendo su eficacia con el correr del tiempo y dependiendo de las condiciones de almacenamiento y de la matriz en la que se encuentren, pueden perder por completo su función específica o viabilidad. Es por ello, que una alternativa a las soluciones líquidas, que suelen tener períodos de caducidad menor a los seis meses, son las formulaciones en polvo y que sólo serán factibles de realizarse cuando los microorganismos puedan desarrollar formas de resistencia que le permitan sobrevivir sin disponibilidad de agua o las condiciones propias de los procesos productivos utilizados en el escalado de las formulaciones.

Referencias

Ahmed, B., y Hijri, M. (2021). Potential impacts of soil microbiota manipulation on secondary metabolites production in cannabis. *Journal of Cannabis Research*, 3(1), 1-9.

Almache Chiliquinga, G. D. (2021). Revisión de las diferencias en la Norma BPM para medicamentos entre el informe OMS: 32 y 37 (Bachelor's thesis, Quito: UCE).

Bhattacharyya, P. N., y Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 1327–1350.

Baas, P., Bell, C., Mancini, L., Lee, M., Conant, R., y Wallenstein, M. (2016). Phosphorus

mobilizing consortium Mammoth PTM enhances plant growth. *PeerJ* 4, e2121. doi: 10.7717/peerj.2121.

Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S., y Smith, D. L. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 23(9), 1473. doi: 10.3389/fpls.2018.01473. PMID: 30405652; PMCID: PMC6206271.

Balthazar, C., Novinscak, A., Cantin, G., Joly, D. L., y Filion, M. (2022). Biocontrol activity of Bacillus spp. and Pseudomonas spp. against Botrytis cinerea and other cannabis fungal pathogens. *Phytopathology*, 112(3), 549-560.

Bhakuni, D. S., y Rawat D. S. (2005). Bioactive Marine Natural Products. Springer Dordrecht.

Calvo, P., Nelson, L., y Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383, 3-41.

Chaves, A. G., Brunetti, P. C., Massuh, Y., Ocaño, S. F., Torres, L. E., y Ojeda, M. S. (2014). Variabilidad entre poblaciones silvestres de Baccharis crispa Spreng. de la Provincia de Córdoba, Argentina. *Phyton*, 83, 145-153.

Citterio, S., Prato, N., Fumagalli, P., Aina, R., Massa, N., Santagostino, A., Sgorbati, S., y Berta, G. (2005). The arbuscular mycorrhizal fungus Glomus mosseae induces growth and metal accumulation changes in Cannabis sativa L. *Chemosphere*, 59, 21–29. doi: 10.1016/j.chemosphere.2004.10.009

Comeau D., Balthazar C., Novinscak A., Bouhamdani N., Joly D. L., y Filion M. (2021). Interactions between Bacillus spp., Pseudomonas spp. and Cannabis sativa promote plant growth. *Frontiers in Microbiology*, 12, 715758. doi: 10.3389/fmicb.2021.715758. PMID: 34616381; PMCID: PMC8488376.

Conant, R., Walsh, R., Walsh, M., Bell, C., y Wallenstein, M. (2017). Effects of a microbial biostimulant, Mammoth PTM, on Cannabis sativa bud yield. *Journal of Horticulture*, 4, 191. doi: 10.4172/2376-0354.1000191.

Crouch, I. J., y Van Staden, J. (1993). Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. *Plant Growth Regulation*, 13, 21-29.

Dellatorre, F. G., Amoroso, R. O., y Baron, P. J. (2012). El alga exótica Undaria pinnatifida en Argentina: Biología, distribución y potenciales impactos. Editorial Académica Española.

FAO. (2016). Food Security Statistics. FAOSTAT. Rome: FAO. Recuperado de http://www.fao.org/economic/ess/food-security-statistics/food-security-statistics-by-country/en/ (fecha de consulta 20 de junio de 2016).

FAO Circular de Pesca. No. 968. Roma, FAO. 2002. 30p.

Goucher, L., Bruce, R., Cameron, D. D., Koh, S. L., y Horton, P. (2017). The environmental impact of fertilizer embodied in a wheat-to-bread supply chain. *Nature Plants*, 3(3), 1-5.

García-Poza, S., Leandro, A., Cotas, C., Cotas, J., Marques, J. C., Pereira, L., y Gonçalves, A. M. (2020). The Evolution Road of Seaweed Aquaculture: Cultivation Technologies and the Industry 4.0. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 6528.

Gramuglia, P. (2014). Bioinsumos en Argentina: hacia la sustentabilidad ambiental. Anuario en Relaciones Internacionales del IRI, 2014.

Houdkova, M., y Kokoska, L. (2020). Volatile antimicrobial agents and in vitro methods for evaluating their activity in the vapour phase: A review. *Planta Medica*, 86(12), 822-857.

Huanca, A. C. M., y Mamani, E. M. P. (2020). Influencia de la calidad en la competitividad de las plantas medicinales en los mercados de la provincia de Tacna. *Avances*, 22(4), 563-575.

Jäger, M. (Ed.). (2016). Gobernabilidad, percepción, control y efectos del uso de agroquímicos en la región metropolitana de Buenos Aires. Presunta contaminación por el uso inadecuado de agroquímicos. Edición Universidad Nacional de La Matanza.

Jamshidi-Kia, F., Lorigooini, Z., y Amini-Khoei, H. (2018). Medicinal plants: Past history and future perspective. *Journal of Herbmed Pharmacology*, 7(1).

Kakabouki, I., Mavroeidis, A., Tataridas, A., Kousta, A., Efthimiadou, A., Karydogianni, S., Katsenios, N., Roussis, I., y Papastylianou, P. (2021a). Effect of Rhizophagus irregularis on growth and quality of Cannabis sativa seedlings. *Plants*, 10(7), 1333. doi: 10.3390/plants10071333

Kakabouki, I., Tataridas, A., Mavroeidis, A., Kousta, A., Karydogianni, S., Zisi, C., Kouneli, V., Konstantinou, A., Folina, A., Konstantas, A., y Papastylianou, P. (2021b). Effect of colonization of *Trichoderma harzianum* on growth development and CBD content of hemp (*Cannabis sativa* L.). *Microorganisms*, 9(3), 518. doi: 10.3390/microorganisms9030518.

Khan, A. S., Ahmad, B., Jaskani, M. J., Ahmad, R., y Malik, A. U. (2012). Foliar application of mixture of amino acids and seaweed (*Ascophylum nodosum*) extract improve growth and physicochemical properties of grapes. *International Journal of Agriculture and Biology*, 14(3), 383-388.

Khan, W., Hiltz, D., Critchley, A. T., y Prithiviraj, B. (2010). Bioassay to detect Ascophyllum nodosum extract-induced cytokinin-like activity in Arabidopsis thaliana. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 409-414.

Lyu, D., Backer, R., Berrué, F., Martinez-Farina, C., Hui, J. P., y Smith, D. L. (2023). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) with microbial growth broth improve biomass and secondary metabolite accumulation of Cannabis sativa L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(19), 7268-7277.

Lynch, J. M. (2002). Resilience of the rhizosphere to anthropogenic disturbance. *Biodegradation*, 13, 21- 27.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. 2014. Comisión nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA). Ámbito de actuación, reglamento interno y normativa conexa

Mallory, E. B., y Griffin, T. S. (2007). Impacts of soil amendment history on nitrogen availability from manure and fertilizer. *Soil Science Society of America Journal*, 71(3), 964-973.

Mamani de Marchese, A., y Filippone, M. P. (2018). Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*.

Marschner, P., Yang, C. H., Lieberei, R., y Crowley, D. E. (2001). Soil and plant specific effects on bacterial community composition in the rhizosphere. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(11), 1437-1445.

McPartland, J. M., y Hillig, K. W. (2004). Cannabis clinic Fusarium wilt. *Journal of Industrial Hemp*, 9(2), 67-77.

Pagnani, G., Pellegrini, M., Galieni, A., D'Egidio, S., Matteucci, F., Ricci, A., Stagnari, F., Sergi, M., Lo Sterzo, C., Pisante, M., y Del Gallo, M. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in *Cannabis sativa* 'Finola' cultivation: An alternative fertilization strategy to improve plant growth and quality characteristics. *Industrial crops and products*, 123, 75-83.

Pellegrini, M., Ercole, C., Gianchino, C., Bernardi, M., Pace, L., y Del Gallo, M. (2021). Fusarium oxysporum f. sp. cannabis isolated from *Cannabis sativa* L.: In vitro and in planta biocontrol by a plant growth promoting-bacteria consortium. *Plants*, 10(11), 2436.

Philippot, L., Raaijmakers, J. M., Lemanceau, P., y van der Putten, W. H. (2013). Going back to the roots: The microbial ecology of the rhizosphere. *Nature Reviews Microbiology*, 11, 789–799.

Polo, K. L. (2017). Seguridad alimentaria y alimentos transgénicos. *Observatorio Medioambiental*, 20, 59-75.

Punja, Z. K., y Ni, L. (2021). The bud rot pathogens infecting cannabis (Cannabis sativa L., marijuana) inflorescences: symptomology, species identification, pathogenicity and biological control. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 43, 827–854. doi:
10.1080/07060661.2021.1936650.

Red de Buenas Prácticas Agrícolas. Buenas prácticas agrícolas: Lineamientos de base. (2015). Recuperado de: https://www. casafe. org/pdf/2015/BUENAS-PRACTICAS- AGRICOLAS/Buenas PracticasAgricolas-LineamientosdeBase. Pdf.

Rioux, L. E., Turgeon, S. L., y Beaulieu, M. (2007). Characterization of polysaccharides extracted from brown seaweeds. *Carbohydrate Polymers*, 69(3), 530-537.

Rottach, P., Kotschi, J., Schrimpf, B., y Zaumseil, E. (2017). Los participantes Hacia una agricultura a pequeña escala resiliente al clima Alternativas a la "agricultura climáticamente inteligente". Resultado de tres talleres realizados en África, Asia y América Latina.

Salcedo, M. F., Colman, S. L., Mansilla, A. Y., Martínez, M. A., Fiol, D. F., Alvarez, V. A., y Casalongué, C. A. (2020). Amelioration of tomato plants cultivated in organic-matter impoverished soil by supplementation with Undaria pinnatifida. *Algal Research*, 46, 101785.

Savci, S. (2012). An Agricultural Pollutant: Chemical Fertilizer International. *Journal of Environmental Science and Development*, 3, 77-80.

Scott, C., y Punja, Z. K. (2021). Evaluation of disease management approaches for powdery mildew on Cannabis sativa L. (marijuana) plants. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 43(3), 394-412, DOI: 10.1080/07060661.2020.1836026

Seemakram, W., Paluka, J., Suebrasri, T., Lapjit, C., Kanokmedhakul, S., Kuyper, T. W., Ekprasert, J., y Boonlue, S. (2022). Enhancement of growth and Cannabinoids content of hemp (Cannabis sativa) using arbuscular mycorrhizal fungi. *Frontiers in Plant Science*, 13, 845794. doi: 10.3389/fpls.2022.845794

Sivasankari, S., Venkatesalu, V., Anantharaj, M., y Chandrasekaran, M. (2006). Effect of seaweed extracts on the growth and biochemical constituents of Vigna sinensis. *Bioresource technology*, 97(14), 1745-1751.

Sun, S., Feng, Y., Huang, G., Zhao, X., y Song, F. (2022). Rhizophagus irregularis enhances tolerance to cadmium stress by altering host plant hemp (Cannabis sativa L.) photosynthetic properties. *Environmental Pollution*, 314, 120309. doi: 10.1016/j.envpol.2022.120309.

Taylor, M. (2018). Climate-smart agriculture: what is it good for?. *The Journal of Peasant Studies*, 45(1), 89-107.

Tilburt, J. C., y Kaptchuk, T. J. (2008). Herbal medicine research and global health: an ethical analysis. *Bull World Health Organ*, 86(8), 594-9.

Vasconcelos, A. C. F. D. (2019). Indicadores de vulnerabilidade socioambiental: proposição de framework e aplicação na cidade de Natal-RN.

Vinale, F., y Sivasithamparam, K. (2020). Beneficial effects of Trichoderma secondary metabolites on crops. *Phytotherapy Research*, 34(11), 2835-2842. doi: 10.1002/ptr.6728.

Yakhin, O. I., Lukyanov, A. A., Yakhin, I. A., y Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7, 2049.