



**APLICABILIDAD DE LAS MICROALGAS *Chlorella vulgaris sp* y *Scenedesmus sp*
EN CONSORCIOS ALGA/BACTERIA COMO BIOFERTILIZANTE**

YENNY YOHANA MENESES GALVIS

Código 11230627943

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Ambiental

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2022

**Aplicabilidad de las microalgas *Chlorella vulgaris* sp. y *Scenedesmus* sp. en consorcios
alga/bacteria como biofertilizante**

YENNY YOHANA MENESES GALVIS

**Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental**

**Director (a):
Ingeniero Andrés Julián Martínez Rojas**

**Línea de Investigación:
Biotecnológica**

**Universidad Antonio Nariño
Programa Ingeniería Ambiental
Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil
Bogotá, Colombia.**

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____ ,

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____ .

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Bogotá 2022.

Tabla de Contenido

Lista de Figuras.....	7
Lista de Tablas	8
1 Resumen.....	9
2 Abstract.....	11
3 Introducción	12
4 Objetivos	14
4.1 Objetivo general.....	14
4.2 Objetivos específicos	14
5 Justificación.....	15
6 Metodología	16
6.1 Fase I: obtención de información.....	16
6.2 Fase II: combinar y agrupar palabras clave	16
6.3 Fase II: análisis y clasificación de la información recolectada	16
7 Estado del arte	17
8 Marco teórico	21
8.1 Microalgas	21
8.2 Biofertilizantes.....	22
8.3 Tipos de Biofertilizantes	24
8.4 Ventajas de los consorcios utilizados como biofertilizantes	25
8.5 Cultivos y cocultivos de microorganismos	26
8.6 Consorcio microbiano	26
8.7 Microorganismos que desarrollan consorcios	27
8.8 Importancia de utilizar microorganismos (microalgas) en el crecimiento de las plantas 27	27
8.9 Beneficios de la aplicación de consorcios en el suelo	28
9 Desarrollo.....	30
9.1 Obtención de la información	30
9.2 Aplicación ecuación de búsqueda.....	30
9.3 Parámetros de cultivo favorables para un cultivo de microalgas	32
9.4 Bacterias que forman consorcio con microalgas	34
9.5 Aplicabilidad de las microalgas en la recuperación de los suelos	35
9.6 Consorcios microbianos alga/bacterias como biofertilizantes	37
9.7 Especies de microorganismos que aportan mejores nutrientes al suelo.....	39
10 Recomendaciones	43
11 Conclusiones	44
12 Referencias	45
13 Glosario.....	49

PRELIMINARES

Lista de Figuras

FIGURA1 <i>ECUACIÓN DE BÚSQUEDA</i>	31
FIGURA2 <i>RESULTADOS BÚSQUEDA EN SCOPUS</i>	31
FIGURA3 <i>CULTIVO DE MICROALGAS CON LOS PARÁMETROS NECESARIOS.</i>	34
FIGURA 4 <i>MICROALGA CHLORELLA SP.</i>	40
FIGURA 5 <i>MICROALGA SCENEDESMUS SP.</i>	40
FIGURA6 <i>BACTERIA AZOSPIRILLUM SP.</i>	41
FIGURA7 <i>METODOLOGÍA PARA UN CONSORCIO DE MICROORGANISMOS ALGA/BACTERIA.</i>	42

Lista de Tablas

TABLA1 <i>MICROORGANISMOS Y SUSTANCIAS QUE LIBERAN AL SUELO</i>	25
TABLA2 <i>DESVENTAJAS DE LOS FERTILIZANTES Y VENTAJAS EN LA UTILIZACIÓN DE CONSORCIOS MICROBIANOS</i> <i>ALGA/BACTERIAS</i>	28
TABLA3 <i>IDENTIFICACIÓN DE PALABRAS CLAVE A PARTIR DE INFORMACIÓN DE ARTÍCULOS RELACIONADOS CON EL TEMA</i> <i>(CONSORCIOS ALGA/BACTERIAS COMO BIOFERTILIZANTE) EN BASES DE DATOS</i>	30
TABLA4 <i>BACTERIAS QUE FORMAN CONSORCIO CON LAS MICROALGAS CHLORELLA VULGARIS SP./SCENEDESMUS SP.</i>	35
TABLA5 <i>MICROALGAS QUE AL ESTAR PRESENTES EN CONSORCIO BRINDAN BENEFICIOS A LOS CULTIVOS</i>	37
TABLA6 <i>CONSORCIOS MICROBIANOS DE ALGA/BACTERIAS COMO BIOFERTILIZANTES</i>	38

1 Resumen

Las diferentes prácticas en los cultivos para el control de plagas, la disponibilidad de nutrientes, la aceleración y el crecimiento del fruto implican tratamientos físicos, químicos (fertilizantes) y biológicos (microorganismos); las cuales han evolucionado con el paso del tiempo. Aunque este último no ha sido explorado, con ayuda de los avances biotecnológicos, se puede observar que tiene más sostenibilidad y efectividad en su uso para el suelo, además, ayuda al cuidado de los ambientes naturales.

En ese sentido, los fertilizantes (la aplicación de sales inorgánicas al suelo) son un tratamiento químico que ofrece una gran alternativa de desarrollo en la economía agrícola, dado que sus características aceleran y aumentan la productividad de los suelos. Estos son llevados por medio de una mezcla, por lo general, con agua, la cual ayuda a sus componentes, como nitrógeno, fósforo y potasio; de esta forma llegan más rápido a la planta para cubrir su requerimiento. Los fertilizantes químicos nos ofrecen una variedad de ventajas para ajustar los nutrientes, pero su uso no controlado causa problemas como la degradación de suelos, la contaminación de aguas y el crecimiento exagerado de frutos en algunos cultivos, lo que vuelve la tierra poco productiva y sostenible.

La aplicación de biofertilizantes como tratamientos biológicos utiliza, sobre todo, microorganismos (bacterias, hongos y algas) por su variedad de aportes, en particular, ofrecen estudios en consorcios como biofertilizantes. Por otro lado, es un producto que contiene microorganismos, es amigable con el medioambiente y ayuda en el crecimiento y desarrollo de la planta. Al entrar en la rizosfera de esta última permiten una mayor absorción de nitrógeno, fósforo, potasio y minerales que se aplican en grandes volúmenes (Ritika y Utpal, 2014; Win et al., 2018).

Por tal motivo, esta investigación busca evaluar la aplicabilidad de las microalgas del género *Chlorella vulgaris sp.* y *Scenedesmus sp.*, disponibles en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Antonio Nariño en consorcios alga/bacterias, para proponer un posible consorcio como biofertilizante que sustituya los fertilizantes químicos.

La revisión bibliográfica se hizo en bases de datos de alto impacto como Scopus. Asimismo, se emplearon para seleccionar los artículos, palabras clave en la búsqueda durante los últimos ocho años. Como resultado, se identificaron las principales variables de las microalgas para tener presente en la formación de los consorcios (alga/bacteria).

Palabras clave: microalgas, biofertilizante, consorcios.

2 Abstract

Different crop practices for pest control, nutrient availability, acceleration and fruit growth involve physical, chemical (fertilizers) and biological (microorganisms) treatments, which have evolved over time. Although the latter has not been explored, with the help of biotechnological advances, it can be observed that it has more sustainability and effectiveness in its use for the soil, in addition, it helps the care of natural environments.

In this sense, fertilizers (the application of inorganic salts to soil) are a chemical treatment that offers a great development alternative in the agricultural economy, as their characteristics accelerate and increase soil productivity. These are carried by means of a mixture, usually with water, which helps its components, such as nitrogen, phosphorus and potassium; in this way they reach the plant faster to meet its requirement. Chemical fertilizers offer us a variety of benefits to adjust nutrients, but their uncontrolled use causes problems such as soil degradation, water pollution and overgrowth of fruit on some crops, making the land unproductive and sustainable.

The application of biofertilizers as biological treatments mainly uses microorganisms (bacteria, fungi and algae) for their variety of contributions, in particular, they offer studies in consortia as biofertilizers. On the other hand, it is a product that contains microorganisms, is environmentally friendly and helps in the growth and development of the plant. Entering the rhizosphere of the plant allows greater absorption of nitrogen, phosphorus, potassium and minerals that are applied in large volumes (Ritika and Utpal, 2014; Win et al., 2018).

For this reason, this research aims to evaluate the applicability of microalgae of the genus *Chlorella vulgaris* sp. and *Scenedesmus* sp. available in the Environmental Engineering Laboratory of Antonio Nariño University in algae/bacteria consortia, to propose a possible consortium as a biofertilizer to replace chemical fertilizers.

The bibliographic review was done on high-impact databases such as Scopus. It was also used for the selection of articles, key words in the search for the last eight years. As a result, the main variables of the microalgae were identified to take into account in the formation of the consortia (algae/bacteria).

3 Introducción

La utilización de consorcios (alga/bacteria) ayuda en el acondicionamiento del suelo e intercambio de nutrientes benéficos para el crecimiento de la planta, sin importar las condiciones ambientales o el tipo, dado que estos se pueden adaptar a distintos ambientes por sus características metabólicas. En la naturaleza, se presenta una infinidad de consorcios formados por organismos fotótrofos y quimiótrofos. En una investigación llevada a cabo por la Universidad de los Andes (Mora, 2015) se indicó que hay reportes donde las *Chlorella vulgaris* se han beneficiado en diversos consorcios, porque logran optimizar e incrementar el crecimiento de las microalgas, cambiar tanto el tamaño de las células como el pigmento de la microalga se hace mayor. De este modo, su capacidad fotosintética crea una relación simbiótica con la bacteria, lo que es importante para los nutrientes en el suelo.

De igual forma, los consorcios de microalgas-bacterias son una de las relaciones simbióticas y de mutualismo que presenta varias ventajas, en distintos sectores como el de la energía, la economía y el medioambiente (Yong et al., 2021). Por este motivo, hay que identificar y proponer un posible biofertilizante a partir de un consorcio alga/bacteria, a través de una búsqueda bibliográfica para el desarrollo y mejoramiento de la recuperación de los suelos que perdieron su fertilidad. Además, se busca dar a conocer una alternativa en la utilización de microorganismos como las microalgas, que se adaptan y benefician a la comunidad presente en el suelo y al crecimiento de la planta, lo cual ayuda a la disponibilidad de los nutrientes.

Con la intención de llevar a buen término el presente estudio, primero, se hizo una revisión bibliográfica de investigaciones en bases científicas que abordan el empleo de microorganismos en consorcios, en especial, los que utilizan las microalgas *Chlorella vulgaris* sp. y *Scenedesmus* sp., sus propiedades fotosintéticas más sobresalientes, al igual que su crecimiento y comportamiento en ciertas condiciones ambientales. En segundo lugar, se recolectó la información pertinente para elaborar una base de datos con ciertas variables –como la temperatura–, con el fin de analizar y enfocar los objetivos propuestos en beneficio de todos los que participan en el proceso del suelo. Por último, con la información analizada y seleccionada, teniendo en cuenta las variables propuestas, se interpretaron los resultados, en

donde se resalta la posibilidad de implementar un cultivo alga-bacteria y su uso como biofertilizante.

4 Objetivos

4.1 Objetivo general

Evaluar la aplicabilidad de las microalgas *Chlorella vulgaris sp.* y *Scenedesmus sp.* en consorcios alga/bacterias como biofertilizante, a través de un análisis bibliográfico en bases de datos de alto impacto.

4.2 Objetivos específicos

- Identificar parámetros de cultivo favorables para las microalgas de estudio.
- Identificar grupos de bacterias que puedan formar consorcios con las microalgas *Chlorella vulgaris sp.* y *Scenedesmus sp.*
- Analizar investigaciones acerca del uso de consorcios como biofertilizantes.
- Identificar qué especies de microorganismos aportan mejores nutrientes en el suelo.

5 Justificación

Hoy día, los consorcios microbianos han tomado más valor, por lo que se ha avanzado en estudios para favorecer el equilibrio entre los recursos naturales, el medioambiente y el hombre. El recurso suelo es natural, además, se considera no renovable y su distribución en el planeta ha tenido determinadas variaciones que cambian sus propiedades; sobre todo, por la actividad del ser humano está dejando una sobreexplotación demográfica. Igualmente, debido al uso de fertilizantes químicos, algunos de los cambios observados en el suelo son la erosión, salinidad y acidificación.

Por otro lado, en el suelo se encuentra una gran cantidad de bacterias; un cautivador grupo de microorganismos que cumplen con el proceso de descomponer los materiales orgánicos que se encuentran en los ciclos del carbono y nitrógeno; sin embargo, para ello, necesita disponer de ciertos con la intención de ayudar a que crezcan las plantas y los cultivos. En la estimulación microbiana para el suelo se encuentra un grupo llamadas bacterias promotoras de crecimiento vegetal, que se vinculan con las microalgas, microorganismos fotosintéticos que contribuyen en la disponibilidad de nutrientes y mejoran el rendimiento de los cultivos sin degradar los suelos. La utilización de microalgas no es nueva, viene de los antepasados, quienes las usaban para diversos fines. Es una base de la cadena alimenticia de los peces; pueden vivir en cualquier lugar del planeta en condiciones extremas y adaptarse, con ayuda de otros microorganismos, a una relación simbiótica de beneficio mutuo.

Esta investigación propone un posible consorcio alga/bacteria como biofertilizante, pues emplea las microalgas *Chlorella vulgaris sp.* y *Scenedesmus sp.* disponibles en el laboratorio de la universidad. Esto con la finalidad de encontrar una estrategia que contribuya al cuidado y la preservación del suelo, el cual ha perdido su fertilidad, crecimientos dinámicos y nutrientes. Por otro lado, esta revisión bibliográfica brinda oportunidades para próximos estudios en el área de sostenibilidad ambiental, porque contribuye a un beneficio social y económico para la comunidad.

6 Metodología

La metodología usada en la investigación es de tipo documental, pues es la búsqueda, la recopilación y el análisis de otros estudios, en fuentes o herramientas de alto impacto. El trabajo se enfoca en las siguientes fases para el desarrollo de los objetivos propuestos.

6.1 Fase I: obtención de información

En esta fase se selecciona e identifica la información en bases de datos; se recomienda que sean artículos científicos, tesis y revisiones que traten la temática en estudio. Se limita la información recolectada desde el 2014 hasta la fecha. De igual forma, se utilizan palabras clave como criterio de búsqueda para contribuir a la investigación. Por último, a partir de estas, se construye y estructura el tema de estudio, que se ajusta según la selección de artículos, de acuerdo con los objetivos propuestos en la investigación.

6.2 Fase II: combinar y agrupar palabras clave

En esta fase se agrupan el conjunto de palabras clave de la fase anterior en la ecuación de búsqueda. En esta, se emplearon los conectores booleanos (OR - AND - ()). Posteriormente, la búsqueda se seleccionó por título, palabras clave y resumen.

6.3 Fase II: análisis y clasificación de la información recolectada

En este punto se clasifica la información a partir de los estudios seleccionados, para encontrar la aplicabilidad de las microalgas en consorcios alga/bacterias como biofertilizante. Para ello, se tienen en cuenta los parámetros óptimos para un cultivo de microalga a utilizar, el tipo de bacterias empleadas, la aplicabilidad de las microalgas en la recuperación de suelos y los consorcios microbianos de alga/bacterias como biofertilizantes.

7 Estado del arte

Para disminuir el empleo de los fertilizantes químicos y tener opciones en el uso del suelo, los biofertilizantes son una opción para integrarse en los tratamientos, con el fin de mejorar los cultivos brindándoles nutrientes. Esto es plausible si se propone un posible consorcio microbiano alga/bacteria para utilizar en cultivos y optimizar el producto final. Como alternativa en cultivos de tomate y pepino, se encontró un estudio realizado por Bumandalai (2019) sobre el efecto de la microalga *Chlorella vulgaris* como biofertilizante en la germinación de semillas realizado en el laboratorio. Como fase inicial, las semillas fueron adquiridas de una pequeña tienda en Mongolia y la cepa de la microalga se obtuvo de la Colección de Cultivos de Microalgas del Instituto de Biología General y Experimental.

Luego, en el laboratorio, se aisló y cultivó la cepa de la microalga durante tres, seis, nueve y doce días en un medio de cultivo estándar. Para realizar el experimento, se utilizó una muestra control que contenía 3 ml de medio de cultivo estéril, al cual se le adicionó las semillas de tomate y pepino. A las siguientes muestras, ya con las semillas, se les agregó 2 ml de la suspensión del alga cultivada en los días tres, seis, nueve y doce a una temperatura de 18 ± 2 °C, con una proporción de 8:16 luz y oscuridad por una semana.

Como resultado del experimento, se analizaron los valores medios de longitudes de brotes y raíces por planta. Para el tomate, la longitud fue alta en el día nueve en comparación con la muestra control, el crecimiento de la raíz fue gradual en los días tres, seis y nueve. Mientras que, para el pepino la longitud fueron 2:1 y 2:4, más larga en el día doce en comparación con la muestra control. Además, el resultado del estudio mostró un crecimiento significativo del brote y la raíz de la planta en donde la microalga ayudó en la estimulación como fuente principal de biofertilizante.

En otro contexto, Roshidi et al. (2021) analizaron la producción de una nueva generación de biofertilizantes que utiliza un recubrimiento ecológico a base de biomasa y biopolímeros derivados de la pectina de la cáscara de durián. Los autores analizaron la pectina para elaborar una matriz biopolimérica que produzca un fertilizante de liberación lenta adicionado con residuos de biomasa de la microalga *Scenedesmus sp.* El objetivo era caracterizar la pectina de la

cáscara de durián y formar una matriz inmovilizada para encapsular la microalga. Por otro lado, también analizaron la eficiencia de la matriz formada como biofertilizante, a través de la observación del crecimiento de las plantas.

Como primer momento, se hizo la extracción de la pectina agitando el polvo de cáscara de durián seco (900 g) en una solución acuosa ácida suave. Luego, se caracterizó la pectina por titulación. Después, se realizó la formación del biofertilizante por inmovilización de la microalga con pectina de la cascara de durián, esto se hizo en una solución de alginato de sodio, después de dos horas se formaron las perlas de pectina. Igualmente, realizaron una prueba morfológica a las perlas de pectina dentro de un desecador para evitar la humedad hasta su uso. La morfología se obtuvo mediante microscopía electrónica de barrido (SEM, COXEM EM-30AX, Corea). La eficiencia del biofertilizante se probó al monitorear el crecimiento de una planta vegetal en dos tratamientos, con y sin aplicación del biofertilizante, con tres repeticiones en las mismas condiciones ambientales durante el crecimiento de la planta. El experimento se evaluó durante 18 días y se analizó la altura principalmente.

Los resultados muestran que tanto las plantas tratadas como las no tratadas comenzaron a germinar al día sexto de tratamiento con solo pequeñas diferencias en altura, donde la planta tratada con biofertilizante obtuvo 0,46 cm y la planta control tuvo 0,37 cm. Las diferencias en la altura se mostraron en el día 12 con 4,90 cm. La altura máxima se alcanzó el día 18, que muestra 7,17 cm para la planta tratada y 5,17 cm para el testigo. El patrón de crecimiento evidenciado por ambas plantas indica que la tratada con el biofertilizante tiene una tasa de crecimiento mucho más rápida en comparación con la planta control. Por lo tanto, con base en los resultados obtenidos, se encontró que la encapsulación de *Scenedesmus sp.* con pectina de la cáscara de durián tiene un gran potencial para actuar como biofertilizante y mejora el crecimiento de estas.

La microalga *Chlorella vulgaris* fue utilizada en un estudio por Kublanovskaya et al. (2019), en donde observaron los efectos de la aplicación de biomasa de la microalga en el cultivo de frijol para evaluar su rendimiento, actividad biológica y el microbioma del suelo. En la mayoría de los suelos están presentes elementos como el fósforo (P), pero no siempre en su forma adecuada para utilizarlo por los microorganismos que desarrollan la planta. Por lo cual, muchas veces, se emplean los fertilizantes fosforados para garantizar su disponibilidad, pero

estos causan un problema e impacto adverso en el medioambiente. Una solución prometedora es el uso de biomasa de microalgas rica en fósforo como biofertilizante sobre el microbioma del suelo, durante los cultivos, en este caso, sobre el cultivo de frijol, que era objetivo de la investigación realizada.

Mediante muestras de suelo de la rizosfera, se realizaron unos biopreparados como tratamiento único y se combinó con la biomasa de la microalga bajo las mismas condiciones en un tiempo determinado, donde se evaluó el rendimiento del cultivo de frijol; cuyo resultado fue igual al de los fertilizantes tradicionales, no afectó la actividad biológica del suelo. Al contrario, aumentó, se mantuvo el nivel de desnitrificación y no aumentó la expulsión de los gases efecto invernadero. En conclusión, la posibilidad de sustituir parcialmente los fertilizantes químicos con biofertilizantes de fósforo, derivados de biomasa de microalgas, en cultivos de frijol es adecuada y alternativa para el beneficio del microbioma y los cultivos menos tóxicos, beneficiando al ser humano y el ambiente.

El objetivo del estudio realizado con el tema *Evaluación de Microalgas como Fertilizante Microbiano*, para 2015, ayudó a analizar el efecto de las microalgas líquidas sobre la germinación y altura de las plantas de maíz y trigo en macetas. Los autores para el experimento utilizaron la microalga *Chlorella vulgaris* aislada de un lago de la región. Las cultivaron a una temperatura de 25-+ 1 °C y una radiación fotosintéticamente activa, por lo que dejaron que el aire seco filtrado burbujeara los recipientes para proporcionarle dióxido de carbono. A continuación, se les aplicó a las dos plantas el biofertilizante en cuatro dosis diferentes:

Maceta 1: control/sin biofertilizante

Maceta 2: adición de 0,50/l de biofertilizante

Maceta 3: adición de 1,00/l de biofertilizante

Maceta 4: adición de 1,50/l de biofertilizante

Este experimento fue realizado en un tiempo de 30 días, en donde se hizo un análisis de crecimiento de las plantas y se encontraron cambios de altura en las macetas 3 y 4 por las dosis aplicadas. De este modo, se concluyó que el empleo de biofertilizantes líquidos, a partir de

microalgas, es una opción de calidad para el suelo, pues ayuda a fortalecer los nutrientes para el desarrollo de los cultivos, lo que brinda buenas prácticas agrícolas.

En la búsqueda de alternativas para mejorar la fertilidad de los suelos, y bajar el uso excesivo de fertilizantes químicos, se encontró un estudio realizado en el 2021 en Corea, donde el principal objetivo de la investigación era analizar los efectos sinérgicos y el potencial (alga/bacteria) en la producción de hortalizas. Analizaron las interacciones microalgas-bacterias para aplicaciones como agentes biofertilizantes en los cultivos. En este sentido, le apostaron al consorcio alga/bacteria, promotora de crecimiento vegetal (PGPR) como el biofertilizante que ayuda a aumentar la cantidad de biodiversidad en la rizosfera. Las microalgas pueden producir una amplia gama de compuestos bioactivos, incluidas sustancias que fomentan el crecimiento de las plantas como las fitohormonas, aminoácidos, carotenoides y ficobilinas.

Estos compuestos contribuyen a una alta productividad en cultivos agrícolas al fomentar el crecimiento y conferirles resistencia contra patógenos con costos ambientales mínimos (Michalak y Chojnacka, 2014; Stirk et al., 2013). Para analizar el consorcio en el cultivo de hortalizas, usaron dos métodos de aplicación. Uno es el cocultivo de los microbios desde el principio y el otro consistió en preparar una mezcla que contiene extracto de microalgas/microalgas y bacterias obtenidas de cada cultivo puro (combinación). Se puede concluir que los sistemas de cocultivo/combinación de microorganismos pueden ser más eficaces para mejorar la diversidad microbiana en el suelo que fomenta los cultivos de hortalizas.

8 Marco teórico

En la actualidad, diversas investigaciones se han desarrollado acerca del empleo de microorganismos que tienen un impacto amigable con el medioambiente, el cual ayuda a mejorar el contenido nutricional del suelo y sus funciones de crecimiento y desarrollo de diversas especies vegetales; técnica que se debe aprovechar. En este contexto, se encontraron los cultivos de consorcios de alga/bacterias que, con ciertas variables, se puede llevar a cabo un cultivo óptimo y utilizarlo como biofertilizantes. Para esto se encontraron microorganismos como las siguientes.

8.1 *Microalgas*

Son microorganismos fotosintéticos de gran interés biotecnológico en desarrollo. Por otro lado, son de rápido crecimiento, se duplican en un periodo de uno a diez días, aproximadamente, por ser unicelulares; en síntesis, la generación de biomasa y crecimiento es mayor que las plantas superiores. También, tienen la capacidad de producir biomasa mediante luz y CO₂, con ayuda de agua. Pueden adaptar cómo se componen a nivel bioquímico para que se asemeje a características del cultivo donde van a crecer. Como son seres unicelulares fotoautótrofos dependientes sobre todo de la luz (Mendieta, 2021) y su disponibilidad con las respectivas longitudes de onda, se consideran fundamentales a la hora de realizar la fotosíntesis de manera óptima.

No obstante, cabe añadir que las diferentes longitudes de onda pertenecientes a la luz solar no se pueden asimilar de un mismo modo en el proceso de fotosíntesis por los seres que la llevan a cabo, pues estos tienen unas moléculas (pigmentos) que tienen la función de asimilar unas longitudes de onda particulares de la luz. Por su parte, otros microorganismos, como las microalgas, tienen la habilidad de reflejarla. Así, estas solo emplean en la fotosíntesis un rango entre los 400 y 700 nm de longitudes de ondas, lo que se conoce como Radiación fotosintética activa (PAR). En ese sentido, el PAR de las microalgas se compone de los espectros de luz verde (529-497 nm), azul (450-475 nm) y roja (620-700 nm). Ahora, a partir del conocimiento de la relación de la longitud de onda de la luz y la fotosíntesis en las microalgas, es posible innovar en los métodos para controlar y hacer crecer a nivel celular dichos organismos (Mendieta, 2021).

Las microalgas representan múltiples ventajas, su uso y aplicabilidad está en progreso, aunque como biofertilizante es poco conocido, tal vez por el costo asociado a la producción de biomasa y su utilización. Sin embargo, el crecimiento y la evaluación de las microalgas para hacer consorcios se puede ejecutar desde aguas y suelos contaminados gracias a facultad para remover nutrientes, metales pesados y absorción de contaminantes al metabolizarlos, por un proceso de fitorremediación.

Por otra parte, algunos géneros de microalgas (como *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Dunaliella* y *Chlamydomonas*) se caracterizan por recolectar hasta la mitad de su peso celular seco de azúcares, por ejemplo, el almidón. En consecuencia, en la actualidad, los microorganismos en mención se encuentran en el centro de diversos estudios que buscan desarrollar alternativas de biocombustibles que se generen de carbohidratos provenientes del proceso de fotosíntesis de las microalgas (Cárdenas et al., 2021).

8.2 *Biofertilizantes*

Varias investigaciones vienen desarrollando el empleo de consorcios de microorganismos como biofertilizantes para ayudar a mejorar el contenido nutricional del suelo y sus funciones de crecimiento. Es una técnica que puede ser empleada en una variedad de cultivos para mejorar su rendimiento. Los biofertilizantes son una alternativa que se debe aprovechar, en especial si la formación viene a partir del mismo suelo. Para el siglo XX, con el desarrollo de la agricultura, se empleaba y daban diferentes expectativas en la utilización en un futuro de los biofertilizantes.

Empero, a partir de 1945, surgió un proceso industrial y urbano vertiginoso que condujo a un gran incremento en la demanda de materias primas y comestibles. En este contexto, la utilización de fertilizantes que permitían una producción ágil ante las necesidades tuvo su extenso uso en diferentes superficies (Duxbury, 1994, como se citó en Grageda-Cabrera et al., 2012). Así mismo, se ha visto que durante cerca de un siglo se elaboraron inoculantes de manera comercial, a partir de *Rhizobium sp.* De esta forma, desde la década de los setenta, como consecuencia de la crisis de energía, se comenzaron a investigar a mayor profundidad los biofertilizantes, con lo que se llegó a avances en corto tiempo en ciertos países de Europa y Asia;

en tanto se mostraron pocos resultados en Latinoamérica (Okon y Labandera-González, 1994, como se citaron en Grageda-Cabrera et al., 2012).

Cabe añadir que, hoy por hoy, es posible encontrar una multiplicidad de biofertilizantes que desempeñan distintas finalidades y que atienden los tipos de cultivos. Por lo regular, los biofertilizantes que tienen mayor difusión están compuestos por hongos micorrícicos y bacterias (Grageda-Cabrera et al., 2012). Un biofertilizante es una preparación de microorganismos que ayudan en los procedimientos que se llevan a cabo en el suelo, además, mejora la asimilación de los nutrientes en las plantas; su utilización ha tomado gran importancia al reemplazar los fertilizantes químicos, debido a que causan daños al ambiente.

Por otro lado, Vessey (2003) describió los biofertilizantes como aquellas sustancias compuestas por microorganismos vivos que tienen la habilidad de fomentar que una planta crezca cuando se administra a la planta (en sus diferentes partes, incluidas las internas) o en el medio. Esto lo logra a partir de incrementar el suministro y la cantidad de nutrientes primarios a disposición para la planta huésped. Cabe agregar que existe una variedad de biofertilizantes, donde se destaca el abono, los compostajes y los que se componen de inoculantes microbianos o derivan de subproductos de orden agrícola y animal. Además, estas sustancias forman parte de una agricultura económica y sostenible, pues son una herramienta para emplear eficientemente los recursos de la naturaleza (Romero et al., 2018).

Ahora bien, se puede adjuntar como término asociado a los biofertilizantes, y se conoce que es bastante amplia, dado la principal característica de esta materia y se encuentra representado a partir de la aparición de microorganismos, compuestos por abonos verdes, estiércoles y todo tipo, que se producen a partir de una célula. Por tal motivo, es pertinente mencionar que los biofertilizantes son aquellas sustancias que tienen en su interior microorganismos o microbios; como son inoculados, tienen la posibilidad de vivir en asociación o mantener una relación simbiótica con la planta huésped, a la par que aporta en nutrientes y la protege (Vessey, 2003, como se citó en Grageda-Cabrera et al., 2012, p. 1264).

Con lo anterior y la presencia de microorganismos, se puede encontrar naturalmente en los suelos, pues los microorganismos comprenden distintos grupos más. No obstante, su población puede verse perjudicada por la manera en la que se manejan los suelos y la utilización

repetitiva de agroquímicos sencillos y compuestos que afectan la producción de estos y generan aspectos nocivos en los componentes del suelo (Caballero-Mellado et al., 1992; Grageda-Cabrera et al., 2012). En consecuencia, a partir de perspectivas biotecnológicas que sean amigables con el medioambiente, es probable producir productos de carácter químico y fertilizante alternos. En ese sentido, las bioformulaciones usadas para fomentar que las plantas crezcan aún es un tema que inspira la elaboración de investigaciones y el crecimiento en diversos ámbitos (O'Connor, 2019).

8.3 Tipos de Biofertilizantes

Dentro de la industria que maneja la agricultura en la conservación y el uso del suelo, se conoce que, para mantener un cultivo en algún tipo de suelo, es necesario implementar un tipo de biofertilizante, dado que los microorganismos con los que se consume logran la fertilidad del suelo de mejor manera para lo que se cosecha. Es por esto por lo que, Virgen y Molina (2013) dieron a conocer en la actualidad una serie de diferentes tipos de biofertilizantes que tiene varios tipos de componentes, los cuales son:

Solubilizadores de fósforo: son los microorganismos encargados de desdoblar el fósforo y hacerlo disponible en el suelo para la planta por diferentes procesos para su solubilización.

Fijadores de nitrógeno: son los microorganismos que crecen en los suelos de forma libre. Se encuentran dos grupos, las bacterias gram negativas como la *Rhizobium*, que absorbe nitrógeno atmosférico y establece un vínculo simbiótico con la planta y, en el otro grupo, las bacterias *Azotobacter sp.* y *Azospirillum sp.* fijadoras de nitrógeno, que viven en la rizosfera del suelo.

Captadores de fósforo: son los microorganismos presentes en las raíces de las plantas que ayuda en la absorción de nutrientes y a ser barrera contra microorganismos patógenos.

Promotores de crecimiento vegetal: son microorganismos que ayudan en el crecimiento y productividad para las plantas.

Tabla1*Microorganismos y sustancias que liberan al suelo*

Microorganismos	Sustancias que liberan
<i>Gibbella (Fusarium Moniliforme)</i>	Giberelina
<i>Giberelina</i>	Ácido indolacético
<i>Diplodia macrospora</i>	Auxinas
<i>Phomosis</i>	Auxinas
<i>Trichoderma</i>	Giberelinas

Nota. Adaptado de *Los Biofertilizantes en la Agricultura*, por Virgen y Molina, 2013, Intagri: <https://bit.ly/3L0Bavh>.

8.4 Ventajas de los consorcios utilizados como biofertilizantes

Los biofertilizantes, al ser una mezcla o preparación que se da a partir de microorganismos, ayudan a aumentar la población y biodiversidad en el suelo. Esto se realiza a través de la producción de fitohormonas o sustancias útiles/bioquímicos, las cuales posibilitan que se desarrolle la agricultura de un modo ecológico y sostenible (Kumar et al., 2018). Los microorganismos en el suelo son infinitos y están presentes en la raíz de la planta, además, tienen la habilidad de adaptarse a las condiciones y cambios en el medio y su movimiento está limitado a las sustancias. La interacción es vital para el crecimiento de la planta y su nutrición, cada uno aporta una sustancia en la tarea de mejorar los nutrientes disponibles del suelo para favorecer este proceso.

También, es conocido que los biofertilizantes pertenecen a un grupo de microorganismos capaces de adicionar, conservar y movilizar los nutrientes que se encuentran en los suelos, para darle un mejor aspecto a lo que se quiera lograr con estos, pues inducen su dirección de una manera eficiente, con el fin de optimizar la producción del cultivo (Goyal, 2002). Asimismo, entre los seres empleados en los biofertilizantes, se encuentran bacterias y cianobacterias; las segundas son procariontes fotosintéticas y desempeñan un rol central a la hora de incrementar la fertilidad en los suelos, en los que – por lo general – unos niveles inferiores de nitrógeno dificultan que las plantas crezcan. Cabe añadir que las cianobacterias pueden encontrarse libremente, vivir en una relación simbiótica con una planta o en consorcios –sistemas de mínimo dos organismos, donde

cada uno beneficia al otro–, por lo que conserva en óptimas condiciones el suelo y los cultivos (Brock, 1993).

8.5 *Cultivos y cocultivos de microorganismos*

Se pueden encontrar una variedad de cultivos y cocultivos de microorganismos para estudios en busca del ideal, que ayude a mejorar la vida microbiana en el suelo. Un cultivo que tiene una clase de microorganismos se conoce como cultivo puro. Los que trabajan con más de un microorganismo se denomina cocultivo, cultivo mixto o policultivos, que están en un mismo sitio y que crecerán juntos en una relación simbiótica.

8.6 *Consortio microbiano*

Los consorcios microbianos se caracterizan por ser “una asociación natural de dos o más microorganismos” (Abecasis, 2020, párr. 1). Sea cual sea su propósito, se componen de distintas variedades, las cuales trabajan en conjunto como un colectivo organizado en un sistema. En este, la totalidad de integrantes se ven beneficiados por las acciones realizadas, dado que mejoran sus componentes y aspectos de la superficie. Asimismo, la agrupación de muestra una serie de estilos de vida de índole sinérgica, en el que se fundamenta el crecimiento y el movimiento circular de nutrientes, debido a que tiene mayor eficacia en comparación con comunidades de carácter individual (López et al., 2007, como se citaron en Abecasis, 2020).

De la misma manera, los consorcios microbianos pueden llegar a desempeñar funciones complicadas que, a diferencia de las poblaciones individuales que no pueden, pues su vida en cooperatividad genera un incremento a la hora de resistirse a las fluctuaciones presentes en el medio, además de fomentar un equilibrio entre los integrantes, a medida que pasa el tiempo (Ochoa y Montoya, 2010).

Se conoce que estos consorcios poseen dos grandes características: la primera, es que la comunicación entre los microorganismos se da en el intercambio de sustancias y señales moleculares, cada uno siente la presencia del otro en el consorcio y esta puede ser positiva o negativa. Según esta comunicación, se da la división del trabajo en el consorcio, pues la producción total está supeditada a la coordinación de las distintas acciones que llevan a cabo los

individuos, dicho de otro modo, las poblaciones microbianas implicadas. En segundo lugar, se destaca la capacidad que tienen de ejecutar labores compuestas por una serie numerosa de pasos. De este modo, estas son completadas a fin término gracias a la conjugación de los pasos que desempeñaron las especies microbianas especializadas (Brener et al., 2008, como se citaron en Ochoa y Montoya, 2010).

8.7 *Microorganismos que desarrollan consorcios*

Dadas las diferentes interacciones entre las bacterias/microalgas o mejor conocido (Alga-bacteria) que son componentes básicos en los ecosistemas, pues apoyan procesos de transformación de materiales orgánicos y la aptitud a la hora de asimilar los nutrientes de hábitats acuáticos tanto de agua salada como dulce, hace que las fuentes de carbono del medio circulen para generar la recuperación de este. De esta manera, estos microorganismos son capaces de aumentar el crecimiento de la microalga, pues genera una serie de vitaminas y repercuten en algunas condiciones que lo fomentan y ayudan a recuperar el ecosistema de forma satisfactoria. Comparándolo, de igual forma, con las sustancias orgánicas derivadas, por ejemplo, del fitoplancton, de las que se componen las microalgas en ecosistemas naturales y las algas, pues estos componentes son utilizados por las bacterias como sustrato de crecimiento.

Las microalgas cumplen un papel fundamental para que las bacterias, en cuanto a su nivel ecológico, logren convertirse en transformadores de sustratos complejos en la forma que es más fácil de ser empleados por otros seres heterótrofos, que forma que el ciclo del carbono presente en el hábitat acuática continúe, el cual va ligado al suelo y se encuentra determinado por la generación y el uso del carbono. En ese sentido, en el ecosistema, es posible apreciar un vínculo íntimo de la producción primaria con las bacterias y microalgas (Riquelme, 2003, como se citó en Puentes, 2014).

8.8 *Importancia de utilizar microorganismos (microalgas) en el crecimiento de las plantas*

En los suelos, se presenta una competencia entre la producción y consumo de nutrientes; las microalgas ayudan con el incremento de la disponibilidad de estos en la superficie y en el control de patógenos, dado que enriquece los materiales orgánicos a partir de su habilidad para

retener agua y nutrientes agua y nutrientes esenciales que utiliza la planta para su desarrollo y crecimiento. Al utilizar los consorcios microbianos alga/bacterias en el suelo se puede mejorar la estructura del suelo, aumentar la vida microbiana, conservar la humedad, retención de nutrientes y la absorción de contaminantes, metales pesados, pesticidas, entre otros.

Tabla2

Desventajas de los Fertilizantes y Ventajas en la utilización de consorcios microbianos alga/bacterias

DESVENTAJAS DE USO DE FERTILIZANTES	VENTAJAS DE USO DE CONSORCIOS MICROBIANOS
1. Exceso y saturación de químicos en el suelo. 2. Alteración microbioma del suelo. 3. Cultivos de baja calidad 4. Acidificación 5. Contaminación de fuentes hídricas. 6. Suelos degradados.	1. Disponibilidad de nutrientes. 2. control de patógenos. 3. Cultivos óptimos. 4. Reducción de CO2 5. Desarrollo y crecimiento de la planta. 6. Suelos fértiles. 7. Interacción microbiana benéfica

Fuente. Adaptada por el autor

8.9 Beneficios de la aplicación de consorcios en el suelo

Algunos estudios desarrollados en el 2015 como el de Mora (2015) asegura que se presenta una gran afinidad a nivel físico entre la microalga y la bacteria, pues ambas deben encontrarse inmóviles en una matriz con transparencia, la cual necesita acatar ciertas condiciones: como que sea posible que entre la luz que el microorganismo requiere para hacer la fotosíntesis, además de tener un bastante reducido, de manera que se pueda llevar a cabo la propagación del oxígeno y los nutrientes. Igualmente, debe tener el peso y tamaño pertinente que evite la flotación y asegure que se sumerja en su totalidad dentro del medio de crecimiento.

Por otro lado, es preciso considerar cómo interactúan las poblaciones cuando se trabaja con cultivos de índole mixta, pues los microorganismos se relacionan de distintas formas. Por ejemplo, estas pueden tener un carácter negativo, de modo que un ser puede perjudicar a otro, como cuando compiten, existe antagonismo, amensalismo, parasitismo o depredación. Dichas

interacciones pueden surgir por eliminación de algún recurso, que se haya producido una toxina o un inhibidor, se genere una clase de competencia por el territorio o alimento, etc.

De manera similar, se encuentran las interacciones de carácter positivo, las cuales se evidencian cuando ambos seres se necesitan para crecer, en donde pueden establecer contacto físico o interactuar en situaciones puntuales para fomentar su desarrollo; los dos microorganismos cooperan y se estimula el crecimiento, aunque no es menester que ambos estén presentes para ello; por último, se pueden dar relaciones de comensalismo, en donde un ser obtiene un beneficio, mientras que el otro no se ve afectado ni favorecido.

Los consorcios son apropiados para el crecimiento de la planta, porque es un recurso del mismo suelo que lo alimenta y ayuda en sus funciones sin ser agresivo con el medioambiente. Esta interacción mutualista, que complementa su metabolismo y su unión, ayuda a sobrevivir en condiciones estresantes del medio a los microorganismos, que, con apoyo de diferentes mecanismos, mantienen el equilibrio suelo-planta. De ahí se producen en cadena los nutrientes necesarios para que se desarrolle y crezca, como aporte nutricional.

9 Desarrollo

9.1 Obtención de la información

Después de la revisión bibliográfica, sobre todo en Scopus, por medio de la utilización de palabras clave (alga/bacteria/consorcio/biofertilizante) se identificaron artículos relacionados con la investigación. Se relacionan las palabras clave con el tema en la Tabla 3.

Tabla3

Identificación de palabras clave a partir de información de artículos relacionados con el tema (consorcios alga/bacterias como biofertilizante) en bases de datos

Google académico	Science Direct	Scopus
Biofertilizante.	<i>Interaction.</i>	<i>Biofertilizer.</i>
Microalga.	<i>Bacterium.</i>	<i>Microalgae.</i>
Consorcio bacterias.	<i>Microalgae.</i>	<i>Culture</i>
Cultivos biomasa.	<i>Biofertilizer.</i>	<i>germination.</i>
Condiciones.	<i>Soils.</i>	<i>Applicability</i>
Crecimiento.	<i>Cultivation of.</i>	<i>biomass.</i>
		<i>Bacterium.</i>
		<i>Nutrients.</i>
		<i>cultivation of fertilization, interaction, soils, studies and alternative.</i>
		<i>Adaptable PGPR.</i>

Adaptada por el autor

9.2 Aplicación ecuación de búsqueda

La relación de las palabras clave identificadas y estructuradas para la investigación en la Figura 1.

Figura1

Ecuación de búsqueda

TÉRMINOS DE BÚSQUEDA							
SOILS							
BIOFERTILIZER							
ALGAE							
CROPS							
BACTERIUM							
"Consortium-alga-bacteria"							
PGPR							
"SOIL RESTORATION"							
ENVIRONMENT							
STUDIES							
Incluye hasta cinco sinónimos que correspondan a cada una de tus palabras clave.							
SOILS	BIOFERTILIZER	ALGAE	CROPS	BACTERIUM	"Consortium-alga-bacteria"	PGPR	"SOIL RESTORATION"
GROUP	FERTILIZER	SPECIES	CONSORTIUMS	MICROORGANISM	SELECTION	PROCESSES	CAPACITY
AREA	CHANGES	MICROALGAE	INCREASE	IDENTIFY	RECOVERY	EFFECTIVENESS	CONSERVATION
RECOVERY	INTERACTION	TERMS	TRAINING	AVAILABILITY	SUBSTITUTION	PLANTS	PROCESS
NUTRIENTS	GROWTH	APPLICABILITY	PRODUCTIVITY		CULTIVATION	CONDITIONS	
Excluye hasta cinco palabras que desees excluir. Por ejemplo, si tu palabra clave es "sustainable development"							
FUNGUS	LIPIDS	BIOGAS	SLUDGE	FERMENTATION			
FATTY ACIDS	AMMONIA	MEDICINES	DNA SEQUENCE	ARN			

Nota: Adaptada del grupo de Investigación de la Universidad

La anterior ecuación se aplicó en Scopus y se ajustó para obtener los resultados que más se identifican con el tema. Se excluyeron artículos que no tenían relación con la investigación.

Figura2

Resultados búsqueda en Scopus

Brought to you by Universidad Antonio Nariño

Scopus Search Sources Lists SciVal ? 🔔 🏠 Create account Sign in

175 document results

TITLE-ABS-KEY (algae AND bacterium AND consortiums) AND (EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Nonhuman") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Article") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Ammonia") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Chemistry") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Fungi") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Activated Sludge") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Fungus") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Animal") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Lipid") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Methane") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Fatty Acids") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Unclassified Drug") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Organic Carbon") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Activated... View all

[Edit](#) [Save](#) [Set alert](#)

Fuente: Adaptada de base de Scopus

9.3 *Parámetros de cultivo favorables para un cultivo de microalgas*

Como resultado de la investigación se analizaron 40 artículos, dentro de los cuales 25 artículos consideraban los principales parámetros favorables para el desarrollo de un cultivo de microalga como son:

Luz: es un parámetro óptimo para el desarrollo microalgal. Dependen de la intensidad de luminosidad y el fotoperiodo al que está expuesto el cultivo. La cantidad de luz es influenciada por el carbono, pues su cuantía es fija y puede afectar el crecimiento. La luz en el cultivo microalgal puede ser artificial o natural. La fotosíntesis microalgal se incrementa con la intensidad de la luz hasta que alcanza una velocidad máxima en su punto de saturación. De igual forma, el exceso de esta produce en el cultivo la fotoinhibición, que afecta los cambios bioquímicos. La intensidad en los cultivos debe garantizarse para tener una mejor producción algal. Además, la radiación fotosintéticamente activa, útil para las microalgas, se encuentra en el rango de 400 a 700 nm de la radiación luminosa, que corresponde al 50 % de la radiación solar y tiene una intensidad de 800 a 1000 W/m (Zhang et al., 2015).

Temperatura: el cultivo de microalgas aumenta con la temperatura y su promedio, para un buen rendimiento de biomasa de las microalgas en cultivos, se encuentra entre 16°C y 27 °C. Se debe tener cuidado de que si hay aumento de temperatura (35 °C) disminuya el rendimiento, pues no sería favorable para el uso que se quiere dar. Otro aspecto para considerar en el parámetro de temperatura es si está dentro de un sistema cerrado de cultivo que se puede controlar o un sistema abierto de cultivo que no es controlable. La temperatura óptima varía dependiendo la especie microalgal. Para las investigaciones analizadas y las que se utilizaron en los consorcios las especies *Chorellavulgaris* y *Scenedesmus* fue de 29 °C.

PH: es un parámetro para controlar durante el cultivo de microalgas, pues el pH establece la solubilidad de minerales y dióxido de carbono en el cultivo. Este se determina con ayuda de algunas variables, por ejemplo, la productividad del alga, el proceso de respiración, la basicidad, cómo se compone a nivel químico el cultivo, la eficacia microbiana y la solicitud del sistema de añadir dióxido de carbono (Martínez 2008, Park et al.2011a). Al igual que la temperatura del cultivo, la variedad de especies de microalgas tolera diferentes niveles de PH en el medio, esto

puede afectar su crecimiento. El pH óptimo se encuentra entre 6 – 8, pero para la microalga *Chlorella vulgaris* no es óptimo, dado que en ese rango hay disminución de la productividad. En cambio, en un pH de 4 se genera un rendimiento óptimo. En el caso de la microalga *Scenedesmus* su pH adecuado es de 8.

CO₂: la presencia de dióxido de carbono en los cultivos microalgales mejora la productividad y controla el pH. Las microalgas, en su crecimiento autótrofo, realizan la fotosíntesis de oxígeno y fijan el dióxido de carbono. De ahí, un porcentaje de carbono fijado es utilizado para las células y el crecimiento, mientras que la otra parte se almacena en varias formas según el tipo de microalga. Las microalgas requieren de 1,8 a 2,0 kg de CO₂ para producir 1 kg de biomasa. Dada esta relación estequiometría, la cantidad de este presente en el aire (0,03 %) no es suficiente para una alta productividad de cultivo. Así, para aumentar la eficiencia de la fotosíntesis, los medios con cultivos de microalgas deben complementarse con carbono, ya sea en forma de sales como bicarbonato o introduciendo aire enriquecido con CO₂.

Nutrientes: Este parámetro es importante para considerar en el momento de realizar un cultivo microalgal ideal, debido a que el contenido de nutrientes puede variar según la especie a cultivar. Un cultivo debe contener elementos como nitrógeno(N), fósforo(P) y carbono (C), que termina por ser el 50 % de la biomasa algal. Cada uno de estos se pueden encontrar de forma inorgánica como orgánica. Otros oligoelementos que debe contener el cultivo son Mg, S, Ca, Na, Cl, Fe, Zn, Cu, Mo, Mn, B y Co.

Otro factor que se debe tener en cuenta en los cultivos de microalgas para su desarrollo y crecimiento es la salinidad, pues las especies de microalgas de agua dulce poseen una limitada cantidad.

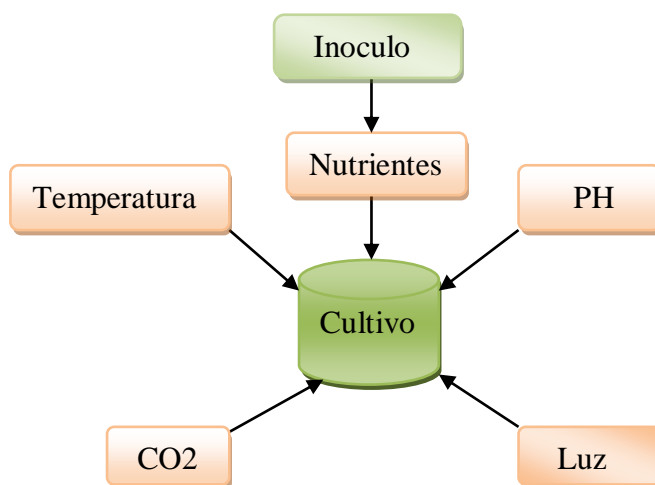
En el análisis de los 25 artículos de investigaciones, se puede observar que en los últimos cinco años se intensificaron las investigaciones de este tipo de microorganismos, sus beneficios y aplicaciones biotecnológicas sostenibles con el medioambiente. Al conocer las variables para un cultivo óptimo¹ de las microalgas podemos ver la importancia de ellas en tres aspectos; Captura

¹ Oligoelementos Mg(Magnesio), S(Azufre), Ca(Calcio), Na(Sodio), Cl(Cloro), Fe(Hierro), Zn(Zinc), Cu(Cobre), Mo(Molybdeno), Mn(Manganeso), B(Boro) y Co(Cobalto).

de dióxido de carbono, pueden ser productores primarios y algunas microalgas producen hormonas.

Figura3

Cultivo de Microalgas con los parámetros necesarios.



Fuente. Adaptada por el autor

9.4 Bacterias que forman consorcio con microalgas

La diversidad microbiana, encontrada en el suelo, ayuda a la disponibilidad de los nutrientes para su cuidado y desarrollo de la planta, pero al formar consorcios microbianos (Alga/bacterias) se utiliza la diversidad metabólica de los grupos asociados. Dentro de la bibliografía encontrada se observó que los grupos de bacterias más utilizados y que forman consorcios son:

Bacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal (PGPR por sus siglas en inglés: *Plant Growth Promoting Rhizobacteria*): son bacterias de vida libre que brindan una variedad de beneficios en la salud y crecimiento de la planta. Además, están vigentes en la rizosfera, superficie de la raíz de la planta, zona donde hay mayor interacción en los procesos biogeoquímicos (Velasco-Jiménez et al., 2020).

Bacterias fijadoras de nitrógeno: son bacterias que se desarrollan naturalmente o de forma simbiótica en asociación con la planta que fija el nitrógeno. Contribuyen a aumentar la

disponibilidad del nitrógeno en el suelo para el crecimiento de especies vegetales, entre estos se encuentran las especies *Azospirillum*, *Rhizobium* y *Bacillus*.

Methylobacterium spp: la mayoría se encuentran en la ficósfera. Pueden producir fitohormonas que ayudan al crecimiento de las plantas. También colonizan diferentes hábitats (suelo, agua, hojas y nódulos). En cultivos como de arroz, tomate y caña de azúcar estas bacterias han tenido un efecto positivo. En el caso de la microalga *C. vulgaris* y la metilobacteria en consorcios es bastante baja y no hay intercambio de metabolitos en su relación. Para la microalga *Scenedesmus*se observaron efectos distintos, en donde hubo un aumento significativo en la formación de biomasa cuando se cocultivó con metilobacterias después de siete días de incubación. Además, se pueden encontrar las especies de *M.extorquens*, *M. mesophilicum* y *M. goingingense*(Krug et al., 2020;).

En la tabla 5 encontramos un grupo de bacterias que se adaptan a las microalgas y pueden formar las asociaciones en el suelo para los consorcios microbianos.

Tabla4

Bacterias que forman consorcio con las microalgas Chlorella vulgaris sp./Scenedesmus sp.

Bacterias	Característica	Referencia
<i>Erythrobacter.</i>	Microorganismo promotor de crecimiento vegetal	Martín, N., Bernat, T., Dinasquet, J. et al (2021)
<i>Bacillus spp.</i>	Microorganismo promotor de crecimiento vegetal	Pérez (2015)
<i>Lactobacillus spp.</i>	Microorganismo promotor de crecimiento vegetal	
<i>Streptomyces.</i>	Microorganismo rizosférico que posee propiedades como promotores de crecimiento vegetal, pero que es poco estudiado	Condori-Pacsi et al. (2019)
<i>Pseudomonas sp.</i>		Barreiro (2019)
<i>Azospirillum sp.</i>	Microorganismo fijador de nitrógeno	
<i>Rhizobium sp.</i>	Microorganismo fijador de nitrógeno	
<i>M.extorquens</i>	Crecimiento de la planta e intercambio de nutrientes	Krug et al. (2020)
<i>M. mesophilicum</i>	Crecimiento de la planta e intercambio de nutrientes	Krug et al. (2020)
<i>M. goingingense</i>	Crecimiento de la planta e intercambio de nutrientes	Krug et al. (2020)

Adaptada por el autor

9.5 Aplicabilidad de las microalgas en la recuperación de los suelos

Las microalgas las podemos encontrar en cualquier ambiente, investigaciones recientes muestran los beneficios que las microalgas pueden hacer en un suelo degradado, logrando ver que son un puente acondicionador en él, para mejorar la productividad e impactar en la recuperación de terrenos para cultivos.

Ellas nos proponen una solución para varios usos, entre ellos encontramos:

Mejoramiento de la estructura del suelo.

Solubilización de nutrientes.

Control de Patógenos.

Fotosíntesis, fijación CO₂ Eficiente.

Producción de Hormonas.

Fijación de Nitrógeno.

Tratamiento de aguas contaminadas.

Su aplicabilidad y éxito del tratamiento dependen de la selección de la cepa a utilizar. Al llegar al suelo lo enriquecen y mejoran su fertilidad orgánica, al poderse adaptar, a diferentes condiciones ambientales y poder sobrevivir con pocos nutrientes.

En la agricultura las microalgas son fuente de nutrientes disponibles al estar presentes en la biomasa de la planta. En la tabla 6 encontramos investigaciones que utilizan las microalgas en cultivos de maíz y trigo o como fertilizante, en las cuales se pueden obtener beneficios para los cultivos y el suelo.

Tabla5

Microalgas que al estar presentes en consorcio brindan beneficios a los cultivos

Microalga	Cultivo	Beneficio	Referencia
<i>Chlorella vulgaris.</i>	Maíz.	Aumento del carbono orgánico del suelo. Mejora en la estabilidad de los agregados del suelo a escala micro y macro.	Yilmaz y Sónmez (2017)
<i>Chlorella vulgaris.</i>	Maíz y trigo.	Aumento de la tasa de germinación de las semillas y del crecimiento de las plantas.	Uysal et al. (2015)
<i>Scenedesmus</i> sp.	Fertilizante ecológico para el suelo.	Crecimiento de la planta.	Roshidi et al. (2021)
<i>Chlorella vulgaris.</i>	Maíz.	Disponibilidad de nutrientes y crecimiento de la planta de trigo.	Schreiber et al. (2018)
<i>Chlorella vulgaris</i>	Frijol negro.	Aumento de la longitud de la raíz y altura de la planta.	Dineshkumar et al. (2020)

Adaptada por el autor

9.6 Consorcios microbianos alga/bacterias como biofertilizantes

Los consorcios microbianos en el suelo aumentan la diversidad microbiana, al utilizar la asociación alga/bacteria nos da a conocer la importancia en la circulación de nutrientes en el suelo, y en especial en la rizosfera. Al ser no tóxicos, no patógenos, son amigables con el medio ambiente.

Recordemos el suelo es un sistema vivo, en donde los pequeños seres que están ahí intercambian nutrientes con las raíces de las plantas para sobrevivir, pero no siempre es así. A través del tiempo ha tenido muchos cambios, encontramos suelos pobres de nutrientes y áridos por el uso exagerado e inadecuado de abonos químicos, causando un desequilibrio. Los consorcios microbianos nos presentan la mejor forma de ayudar al suelo, al identificar el consorcio ideal, reproducirlo y llevarlo a campo como biofertilizante que genere el intercambio de nutrientes necesarios para la planta, cultivos y suelo.

En la tabla 7 podemos ver los estudios relacionados con los consorcios alga/bacterias como biofertilizantes, cuya finalidad es el cuidado del suelo y el medio ambiente, ellas analizan

por medio de la estimulación microbiana, la disposición de compuestos químicos en el suelo para los cultivos, el mejoramiento de suelos degradados y los beneficios de los biofertilizantes al emplear microalgas en las asociaciones.

Tabla6

Conorcios microbianos de alga/bacterias como biofertilizantes

Base	Año	Artículo	Resumen	Cultivo	Bibliografía
Scopus	2021	<i>Development of immobilized matrix from durian rind waste in cultivation of microalgae for biofertilizer production</i>	Simbiosis en una matriz con peptina proveniente de la cascara de Duriam y la microalga Scedemus para posteriormente ser utilizada como Biofertilizante.	Planta <i>Abelmoschus esculentus</i> (planta de okra)	https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/736/1/012061
Scopus	2021	<i>Algae biofertilisers promote sustainable food production and a circular nutrient economy – An integrated empirical-modelling study</i>	Nos habla de la importancia de una economía circular de nutrientes en el suelo, utilizando los fertilizantes de algas, al liberar Nitrogeno en el suelo.	Cultivo de espinacas	https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148913

Base	Año	Artículo	Resumen	Cultivo	Bibliografía
Scopus	2019	<i>The Effect of the Microalga Chlorella vulgaris Ippas C-1 Biomass Application on Yield, Biological Activity, and the Microbiome of the Soil during Bean Growing</i>	Se encontró que la aplicación de biomasa de C. vulgarisIPP AS C-1 como biofertilizante de fósforo aumentó el rendimiento del cultivo de frijol.	Cultivo de Frijol	https://ezproxy.uan.edu.co:2072/10.3103/S0096392519040084
Scopus	2020	<i>Plant Growth-Promoting Methylobacteria Selectively Increase the Biomass of Biotechnologically Relevant Microalgae</i>	Evaluación de diferentes combinaciones de bacterias y microalgas en cocultivos para evaluar aumento de nutrientes y actividad microbiana	Aumento de nutrientes y actividad microbiana	https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00427
	2016	<i>Phylogenetic and morphological identification of a photosynthetic microbial consortium of potential biotechnological interest</i>	Identificación de los microorganismos que conforman el CM, su capacidad de crecimiento	su capacidad de crecimiento	http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972016000200311

Fuente. Adaptada por el autor.

9.7 Especies de microorganismos que aportan mejores nutrientes al suelo

Las especies de microorganismos presente en el suelo es amplia, las podemos encontrar en diferentes tamaños con funciones variables, al ser versátiles bioquímicamente favorecen las reacciones metabólicas dando suelos fértiles. Las microalgas son los microorganismos que aportan variedad de nutrientes al suelo mejorándolo en asociación con las bacterias, esto

significa que son los microorganismos más eficientes en la fijación de dióxido de carbono CO₂ y pueden estar en cualquier ambiente brindando beneficios al suelo.

Elas ayudan a la circulación de nutrientes que, al regenerar el suelo, mejorar su estructura, en la germinación de semillas nos da el crecimiento del cultivo, en la disponibilidad de nutrientes podemos ver un aumento del valor nutricional de suelo, aumentando el rendimiento de cultivos para óptimos frutos y cosechas.

La microalga *Chlorella Vulgaris*, es un microorganismo unicelular de color verde, su forma es esférica, podemos encontrar que su color es gracias a los cloroplastos encargados de realizar la fotosíntesis. *Adaptado de Las microalgas y su aplicación en avicultura – Agrinews agrinews.es.*

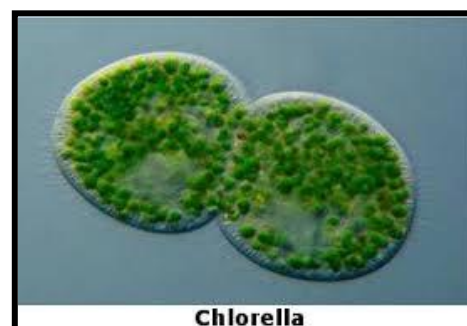


Figura 4 Microalga *Chlorella sp.*

La microalga *Scenedesmus sp*, es un microorganismo de agua dulce, sus células son elípticas, generalmente se agrupan formando colonias de 4, 8 o 12 células, algunas de ellas que están en la parte terminal pueden presentarse en forma de espigas hacia el exterior.

(<https://www.seaweed.es/algas/scenedesmus/>,2022).

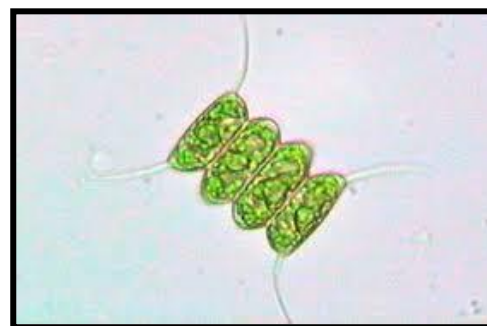


Figura 5 Microalga *Scenedesmus sp.*

En las bacterias que promueven el crecimiento vegetal tenemos la especie *Azospirillum sp*, esta especie la podemos encontrar muy cerca de la planta, su hábitat es sobre la raíz, brinda capacidad de absorción y puede producir hormonas de crecimiento vegetal, ellas pueden utilizar

diferentes fuentes de nitrógeno para el crecimiento de la planta, Adaptado de "Azospirillum" como fijador de nitrógeno del suelo infoagro.com

Figura6

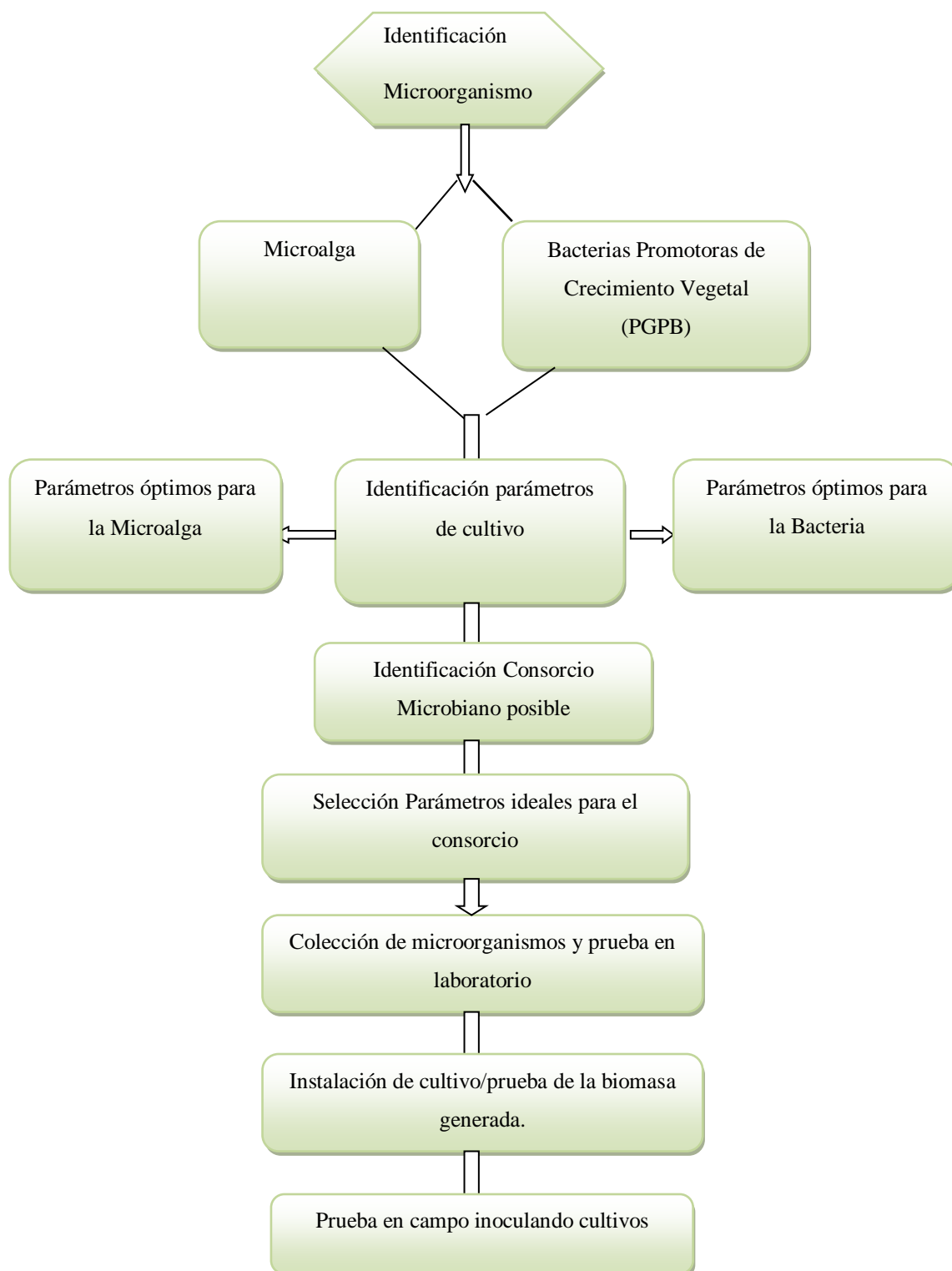
Bacteria Azospirillum sp.



Un consorcio posible de microorganismos para uso en el suelo, como biofertilizante puede ser la asociación, microalga *Chlorella vulgaris*/Bacteria promotora de crecimiento vegetal (PGPR). En este contexto conocer la mayor cantidad de parámetros de cada uno de los microorganismos y su asociación es fundamental, cuyo fin es la disponibilidad de nutrientes y desarrollo de la planta en el suelo, Figura7.

Figura7

Metodología para un consorcio de microorganismos Alga/bacteria.



10 Recomendaciones

El mundo de los microorganismos es inmenso, a través de la historia hay investigaciones referentes a la utilización de microalgas para su uso en diferentes campos, pero solo se centran en el sector alimenticio, farmacéutico y muy pocos en el de fertilizantes biológicos con ellas. Por tanto, se recomienda seguir avanzando en investigaciones de interacciones microbianas y aplicaciones ambientales que puedan enriquecer el conocimiento en microalgas, su uso en alternativas sostenibles y aún más crean una colección de especies de la región que podamos estudiar en la universidad para su uso como biofertilizante.

El laboratorio de la universidad nos proporciona las muestras de las microalgas *Chlorella vulgaris* sp. y *Scenedesmus* sp, que se encuentran en el momento en un fotobiorreactor, bajo condiciones controladas de laboratorio con iluminación led, para su utilización y estudios.

11 Conclusiones

Gracias a todo lo anterior, podemos deducir que, para un crecimiento óptimo de un cultivo de microalgas, es importante conocer parámetros que nos ayuden a analizar aspectos, como los fisicoquímicos, su caracterización e identificación y en especial usos, para mostrar que ellas pueden ser una fuente atractiva de compuestos que benefician al suelo, la planta y los cultivos.

Las microalgas las podemos encontrar en todos los ecosistemas, se pueden adaptar a diferentes ambientes, por su actividad metabólica pueden desarrollar estrategias para su crecimiento, en cualquier medio de cultivo o agua residual que sean rica en N (nitrógeno) o P (fosforo).

La acción de los microorganismos en el suelo es importante, ellos son los encargados de garantizar la cantidad adecuada de nutrientes para la planta, al hacer consorcios con las microalgas mejorar la calidad del suelo y pueden evitar la degradación, cambiando su estructura y el contenido de nutrientes disponibles para los cultivos.

Los biofertilizantes son una opción biotecnología que utiliza la gran diversidad microbiana existente, ayudando en el aporte de nutrientes al suelo para una agricultura sostenible, un control de patógenos, una mayor biomasa y aumento de mis microorganismos.

12 Referencias

- Abecasis, C. (2020). *Mejora biológica de los suelos incorporando consorcios microbianos*. AgrioBio: <https://bit.ly/38b50ic>
- Barreiro, S. N. (2019). *Caracterización de los consorcios microalgas-bacterias en el tratamiento de agua residual urbana* [Tesis doctoral]. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Brock, T. D. (1993). *Microbiología* (6.^a ed.). Prentice Hall Hispanoamericana.
- Bumandalai, O. (2019). Effect of *Chlorella vulgaris* as a biofertilizer on germination of tomato and cucumber seeds. *International Journal of Aquatic Biology*, 7(2), 95-99. <https://doi.org/10.22034/ijab.v7i2.582>
- Caballero-Mellado, J., Carcaño-Montiel, M. G., & Mascarua-Esparza, M. A. (1992). Field Inoculation of Wheat (*Triticum aestivum*) with *Azospirillum brasilense* under temperate climate. *Symbiosis*, 13, 243-253.
- Cárdenas, Y., Machuca, F., & García, J. B. (2021). Protocolo para el mantenimiento de cepas y escalamiento en la producción de microalgas de interés industrial. *Ingeniería y Competitividad. Revista Científica y Tecnológica*, 23(1), 2-10. <https://doi.org/10.25100/iyc.23i1.10673>
- Condori-Pacsi, S. J., Fernández-Guzmán, P. R., & Valderrama-Valencia, M. R. (2019). Aislamiento y caracterización de *Streptomyces* spp rizosféricos promotores del crecimiento vegetal. *Idesia (Arica)*, 37(2), 109-116. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000200109>
- Goyal, S. K. (2002). A profile on Algal Biofertilizer. En S. Kannaiyan (Ed.), *Biotechnology of Biofertilizers*. (pp. 250-258). Narosa/Publishing House.
- Grageda-Cabrera, Ó. A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J. J., & Vera-Nuñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1261-1274.

- Krug, L., Morauf, C., Donat, C., Müller, H., Cernava, T., & Berg, G. (2020). Plant Growth-Promoting Methylobacteria Selectively Increase the Biomass of Biotechnologically Relevant Microalgae. *Frontiers in Microbiology*, *11*, 427. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00427>
- Kublanovskaya, A. A., Khapchaeva, S. A., Zotov, V. S., Zaytsev, P. A., Lobakova, E. S., & Solovchenko, A. E. (2019). The Effect of the Microalga *Chlorella vulgaris* Ippas C-1 Biomass Application on Yield, Biological Activity, and the Microbiome of the Soil during Bean Growing. *Moscow University Biological Sciences Bulletin*, *74*, 227-234.
- Kumar, K. K.; Sridhar, J.; Murali-Baskaran, R. K.; Senthilnathan, S.; Kaushal, P.; Dara, S. K.; Arthurs, S. (2018). Microbial biopesticides for insect pest management in India: current status and future prospects. *Journal of Invertebrate Pathology*, *165*, 74-81. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2018.10.008>
- Mendieta, B. A. (2021). *Efectos de la absorción de diferentes espectros de luz sobre el crecimiento y síntesis bioquímica en las microalgas Tetraselmis spp. y Rhodomonas spp, mediante revisión bibliográfica* [Tesis de grado]. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Michalak y Chojnacka, 2. (2014). Algal extracts: technology and advances. *Engineering in Life Sciences*, *14*(6), 581-591. <http://dx.doi.org/10.1002/elsc.201400139>
- Mora, D. A. (2015). *Evaluación preliminar del potencial de degradación de fenol por parte de un consorcio microalga-bacteria* [Tesis de grado]. Bogotá, D.C.: Universidad de los Andes.
- O'Connor, J. L. (2019). *Descifrando el contenido microbiano de bioinsumos comerciales para el diseño de un consorcio con potencial biofertilizante* [Tesis de maestría]. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ochoa, D. C., & Montoya, A. (2010). Consorcios microbianos: una metáfora biológica aplicada a la asociatividad empresarial en cadenas productivas agropecuarias. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, *18*(2), 55-74.

- Pérez, D. (2015). *Evaluación del efecto de la inoculación de Bacillus spp. con potencial fijador de nitrógeno en cultivos de Chlorella sorokiniana* [Tesis de grado]. Medellín: Universidad EAFIT.
- Puentes, E. A. (2014). *Consortio microalgas-bacterias* [Tesis de grado]. Bogotá, D.C.: Universidad de los Andes.
- Ritika, B., & Utpal, D. (2014). Biofertilizer, a way towards organic agriculture: a review. *African Journal of Microbiology Research*, 8(24), 2332-2343. <http://dx.doi.org/10.5897/AJMR2013.6374>
- Romero, C., Aguirre, L., Plata, N., & Yepes, J. (2018). Evaluación de medios de cultivo naturales para el mantenimiento de *Colletotrichum* sp., y *Saccharomyces cerevisiae*. *Scientia et Technica*, 23(3), 397-404. <https://doi.org/10.22517/23447214.17881>
- Roshidi, A. A., Mohamad-Fuzi, S. F., Matias-Peralta, H. M., Zaidan, N. L., Hailan, I. M., Kormin, F., Abu-Bakar, M. F., & Sabran, S. (2021). Development of immobilized matrix from durian rind waste in cultivation of microalgae for biofertilizer production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 736(1), 012061. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/736/1/012061>
- Stirk, W. A., Bálint, P., Tarkowská, D., Novák, O., Strnad, M., Ördög, V., & van Staden, J. (2013). Hormone profiles in microalgae: Gibberellins and brassinosteroids. *Plant Physiology and Biochemistry*, 70C, 348-353. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.05.037>
- Uysal, O., Uysal, O., & Ekinci, K. (2015). Evaluation of Microalgae as Microbial Fertilizer. *European Journal of Sustainable Development*, 4(2), 77-82. <http://dx.doi.org/10.14207/ejsd.2015.v4n2p77>
- Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., Aarland, R. C., & Rodríguez-Sahagún, A. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 333-245. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.470>

- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*, 255, 571-586. <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893>
- Virgen, G., & Molina, E. (2013). *Los Biofertilizantes en la Agricultura*. Intagri : <https://bit.ly/3L0Bavh>
- Win, S., Than, T. A., Zhang, J., Oo, C., Min, R. W., & Kaplowitz, N. (2018). New insights into the role and mechanism of c-Jun-N-terminal kinase signaling in the pathobiology of liver diseases. *Hepatology*, 67(5), 2013-2024. <https://doi.org/10.1002/hep.29689>
- Yilmaz, E., & Sönmez, M. (2017). The role of organic/bio-fertilizer amendment on aggregate stability and organic carbon content in different aggregate scales. *Soil and Tillage Research*, 168, 118-124. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.01.003>
- Yong, J. J., Chew, K. W., Khoo, K. S., Show, P. L., & Chang, J. S. (2021). Prospects and development of algal-bacterial biotechnology in environmental management and protection. *Biotechnology Advances*, 47, 107684. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107684>
- Zhang, X., Tang, X., Zhou, B., Hu, S., & Wang, Y. (2015). Effect of enhanced UV-B radiation on photosynthetic characteristics of marine microalgae *Dunaliella salina* (Chlorophyta, Chlorophyceae). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 469, 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2015.04.002>
- Cooperativo Corporativo Cajamar. (2015)¿Qué son las microalgas? Interés y uso. Cajamar ADN Agro, 6.

13 Glosario

Biofertilizante: Fertilizante organico que mejora las condiciones del suelo para un desarrollo de la planta., 9

Fertilizantes: Sustancia rica en nutrientes que mejora las condiciones en el suelo., 9

Fotótrofos: Capacidad de utilizar del sol como energia para fijar los nutrientes., 12

Microbioma: Comunidad de microorganismos y su funcion dentro de un entorno., 17

Quimiótrofos: Son los organismos capaces de utilizar los compuestos inorganicos por oxidacion para obtener energia., 12

