

ESTERILIZACIÓN Y MODIFICACIÓN POR PLASMA DE AIRE EN RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA LA ELABORACIÓN DE UN BIOFERTILIZANTE

STERILIZATION AND AIR PLASMA MODIFICATION OF AGRO-INDUSTRIAL WASTES FOR THE DEVELOPMENT OF A BIOFERTILIZER

RESUMEN

La reutilización de los desechos de procesos agroindustriales, se ha convertido en una alternativa en cuidado al medio ambiente ya que permite integrar nutrientes en la agricultura evitando el uso de fertilizantes químicos. El desarrollo industrial, ha propiciado un incremento en subproductos considerados como residuos, los cuales en los últimos 5 años han generado una gran preocupación por las grandes cantidades que se generan día a día provocando y poniendo en riesgo la calidad del medio ambiente, por ello debe buscarse una solución que disminuya o elimine de los ecosistemas estos materiales. Por otra parte, y aunado al tema de contaminación ambiental por este tipo de desechos, la alta demanda de producción de alimentos ha originado un uso excesivo de los suelos, provocando un desgaste y agotamiento de la tierra debido a la alta explotación. Esta situación y la problemática de las grandes cantidades de residuos, conlleva a plantear una alternativa donde la implementación de nutrientes sea de forma segura y con eficiencia al buen funcionamiento de los ecosistemas. En esta revisión se abordan los principales residuos utilizados para la producción de biomasa en la formulación de biofertilizantes, así como la aplicación del plasma atmosférico para lograr la esterilización y modificación de los residuos, permitiendo de esta manera obtener altos rendimientos de esporas para ser utilizados como productos sustentables resultantes de los sustratos con tratamiento por plasma para obtener un biofertilizante con características y propiedades óptimas para ser incorporado a los sistemas agrícolas.

RICARDO GALLARDO
ESPINOZA¹

ROSA I. NARRO
CÉSPEDES¹

GABRIELA HERNÁNDEZ
RAMÍREZ²

BRENDA R. CRUZ ORTIZ¹

1. Facultad de Ciencias
Químicas, Unidad Sureste,
UAdeC.

2. TecNM Campus Tierra
Blanca, Veracruz.

Correspondencia
rinarro@uadec.edu.mx

Palabras clave: residuos orgánicos; microorganismos; plasma; biofertilizantes.

ABSTRACT

The reuse of waste from agroindustrial processes has become an alternative in environmental care as it allows the integration of nutrients in agriculture avoiding the use of chemical fertilizers. Industrial development has led to an increase in by-products considered as waste, which in the last 5 years have generated a great concern for the large amounts that are generated every day causing and endangering the quality of the environment, so a solution must be sought to reduce or eliminate these materials from the ecosystems. On the other hand, and in addition to the environmental pollution caused by this type of waste, the high demand for food production has led to an excessive use of soils, causing wear and tear and depletion of the land due to high exploitation. This situation and the problem of large amounts of waste, leads to propose an alternative where the implementation of nutrients is safe and efficient to the proper functioning of ecosystems. This review addresses the main wastes used for the production of biomass in the formulation of biofertilizers, as well as the application of atmospheric plasma to achieve the sterilization and modification of wastes, thus allowing to obtain high yields of spores to be used as sustainable products resulting from substrates with plasma treatment to obtain a biofertilizer with optimal characteristics and properties to be incorporated into agricultural systems.

Keywords: organic wastes; microorganisms; plasma; biofertilizers.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la contaminación y otros problemas medioambientales han generado una grave problemática a nivel mundial generando daños a la salud humana y a los ecosistemas. Existen diferentes tipos de contaminación dependiendo de la fuente de la cual sea generada, uno de los contaminantes que ha tomado mucha importancia son los residuos generados principalmente por las

agroindustrias ya que estas generan grandes cantidades de subproductos y residuos, los cuales no son tratados adecuadamente después de su proceso, por lo que investigaciones científicas han centrado su interés en el uso de alternativas para su erradicación (Novoa Contreras y Guerrero Alvarado, 2022). Entre los principales problemas ambientales que desafían las industrias son los cambios climáticos ocasionados por las emisiones de gases de efecto invernadero, así como la contaminación del agua y del suelo (Zona-López y col., 2023). Además, de la carencia de los recursos no renovables ocasionado por el consumo diario. Dicho lo anterior, el objetivo de esta investigación es proporcionar una visión general de los microorganismos, su adaptación de crecimiento sobre sustratos orgánicos como los residuos agroindustriales tratados con la tecnología de plasma y de esta manera dar un valor agregado a estos materiales de desechos que causan desequilibrio ambiental, pero que pueden ser reutilizados proporcionando grandes beneficios a nivel social y generando oportunidades para el área agrícola.

En esta revisión se abordan aspectos relacionados con los principales residuos utilizados para la producción de biomasa en la formulación de biofertilizantes, así como la aplicación del plasma atmosférico para lograr la esterilización y modificación de los residuos, permitiendo de esta manera obtener altos rendimientos de esporas para ser utilizados como productos sustentables resultantes de los sustratos con tratamiento por plasma para obtener un biofertilizante con características y propiedades óptimas para ser incorporado a los sistemas agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la escritura y redacción del presente manuscrito de revisión se realizó una búsqueda en las bases de datos Google Scholar, Sciencedirect, Redalyc, Revista Mexicanas de Ciencias Agrícolas, Revista Argentina de Microbiología, Revista Colombiana de Biotecnología y Scopus: en donde se recolectó la información a fin al tema abordado.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Métodos de producción en la agricultura e impacto ambiental

La agricultura es de las principales actividades que genera más impactos ambientales dependiendo de cada sistema o modelo del cual se originada. Esta actividad se divide en diferentes modelos derivados de la agricultura tradicional (Figura 1). Siendo la agricultura sostenible la que garantiza un mejor aprovechamiento y uso adecuado de los recursos naturales, ayudando a minimizar los efectos negativos del equilibrio ecológico. Según el departamento de estados unidos de América (USDA): hace referencia a un sistema de producción libre de aplicaciones de fertilizantes sintéticos, pesticidas, reguladores de crecimiento. Además, menciona que este tipo de sistemas de producción de agricultura sostenible, se debe basar en procesos naturales tales como: rotaciones de cultivo, incorporación de los residuos orgánicos en los cultivos, implementación del abono de origen animal así, como de las leguminosas, para un control biológico de plagas resultado del reciclaje de desechos (Garza-Sánchez y col., 2023).

Tomando en cuenta los impactos negativos provenientes de la agricultura tradicional en el equilibrio ecológico, la agricultura sostenible menciona a la agricultura ecológica, como un método de equilibrio entre el desarrollo socioeconómico y la conservación ambiental, relacionando al ser humano con el medio ambiente, basada principalmente en principios de sostenibilidad. Este método de producción se caracteriza por involucrar los conocimientos tradicionales que integra conocimientos científicos. La agricultura ecológica en conjunto con la agricultura sostenible juega un papel fundamental dentro del cuidado ambiental, ya que promueven y enfatizan todo lo relacionado con el ecosistema. Dando prioridad a conservar e incrementar la fertilidad del suelo y minimizar la degradación de su estructura, evitar la sobre explotación, implementar el uso de biocontroladores de plagas y enfermedades del suelo y plantas (García Villalobos, 2023).

Por otra parte, los avances tecnológicos están contribuyendo a beneficiar y mejorar el aprovechamiento de los residuos agroindustriales, dándoles un valor agregado y aportando un aumento en el potencial

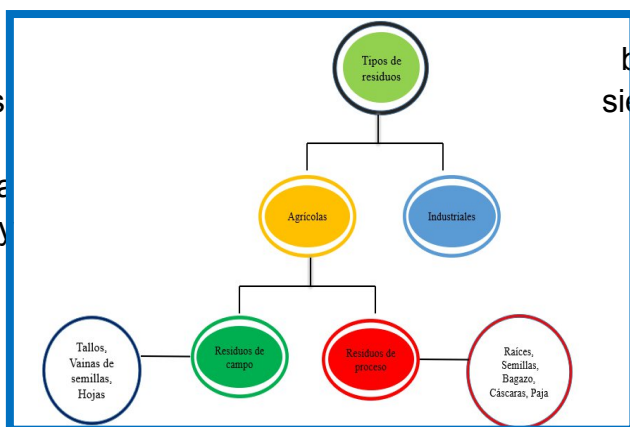
de producción de los cultivos (Alves, 2024).

De esta manera, los biofertilizantes han ganado terreno dentro de los avances tecnológicos dirigidos al área agrícola, ya que pueden generar grandes beneficios, cuando son utilizados de manera adecuada, pero que de igual manera pueden propiciar fuertes daños al medioambiente y pérdidas económicas si se usan de manera indiscriminada. Ante estas situaciones es necesario aplicar e involucrar tecnologías que faciliten la inserción de nitrógeno en los sistemas de producción agrícola con el objetivo de hacerlos sustentables, y alcanzar el máximo rendimiento potencial de los cultivos (Pineda y col., 2024).

En los últimos 10 años se ha considerado como una alternativa de descontaminación la reutilización de desechos agroindustriales siendo utilizados con diversos fines biotecnológicos; elaboración de compost, alimento para animales, elaboración de materiales para construcción, formulación

entre otros
última
como una
sostenible y

de
biofertilizantes
siendo esta
considerada
alternativa



económicamente viable en comparación con los agroquímicos, aportando múltiples efectos positivos en las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, y por ende en la mejora de la calidad de los cultivos (Mesías y col., 2023). Los residuos de campo suelen ser los abandonados al suelo después de la cosecha, mientras que los de proceso se obtienen luego del procesamiento del cultivo para obtener productos de valor (Agi y col., 2023) como se presentan en la Figura 1. La siguiente Figura presenta los tipos de residuos y sus subdivisiones dependiendo de la fuente de origen, así como los principales materiales orgánicos utilizados en campo y de proceso.

Figura 1. Diagrama de clasificación de los residuos en la agricultura su subdivisión y ejemplos (Trujillo Astudillo y Quito Heredia, 2024).

APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS PARA ELABORACIÓN DE BIOFERTILIZANTES

Los residuos orgánicos originados por las agroindustrias suelen ser considerados como un problema, ya que su indiscriminado uso genera graves problemas ambientales y de salud humana (Sumarriva-Bustinza y col., 2023). En las últimas dos décadas el reciclaje y la reutilización de residuos orgánicos contribuyen a una mejor estrategia circular que es fundamental para mejorar la sostenibilidad de los sistemas intensivos de producción (Cuadros Cabrera, 2024).

Un ejemplo de las principales agroindustrias que producen enormes cantidades de subproductos de residuos es la agroindustria azucarera. Estos residuos pueden ser aprovechados gracias a que son de origen orgánico, su biodegradabilidad y su alto potencial de reutilización; generando grandes oportunidades de usos alternativos con muchas perspectivas comerciales. Dentro de los principales residuos generados por la agroindustria azucarera se pueden encontrar cenizas, aguas residuales de la fabricación de azúcar, cachaza y bagazo de caña, siendo este último el más utilizado para fines de fertilización debido a sus componentes que aporta; 0.78 y 3.22 % de cenizas (Rodríguez-Jorge y Aguila-Michelena, 2023).

Los residuos agroindustriales han sido utilizados para diversos fines tomando en cuenta sus propiedades fisicoquímicas pueden ser utilizados para la remoción o biodegradación de agentes contaminantes. Por ejemplo, el subproducto de la caña de azúcar (bagazo) se ha empleado como soporte y fuente de nutrientes de

muchos microorganismos para acelerar la biodegradación de hidrocarburos (Vera Dueñas, 2024). El aserrín utilizado para la remoción de colorantes, sales y metales pesados en el agua. Otro material es el grano de café o pulpa de café que se ha utilizado como fuente de nutrientes y soporte en la biodegradación de plaguicidas (Motta-Machicado, 2024).

Algunos estudios revelan que la correcta caracterización de los residuos agroindustriales, ha permitido implementar tecnologías de aprovechamiento y obtención de productos útiles para otros procesos. Por mencionar algunos ejemplos, los residuos de uva han sido utilizados para la fermentación y producción de enzima hidrolíticas como las celulasas y pectinasas, siendo estos residuos los nutrientes esenciales para el crecimiento de las mismas y siendo utilizadas estas enzimas en la industria química, textil y de alimentos (Vásquez & Hidalgo, 2024).

Otro ejemplo es la mezcla de bagazo de caña, avena, salvado de trigo, residuos de cebada y cáscaras de yuca, que han sido utilizados como sustrato para el crecimiento de cepas fúngicas (*Penicillium*) para obtener enzimas. Dentro de los principales insumos más utilizados para llevar a cabo el procesamiento de fertilizantes se incluyen residuos agrícolas y agroindustriales, microorganismos benéficos, estiércol, carbón vegetal, cal agrícola, suelo, cáscara de arroz, café, o aserrín, maleza y bagazo de caña de azúcar (Figura 2) en la cual se presentan los principales residuos orgánicos derivados de la agroindustria que son utilizados como sustratos para la producción de biomasa (Zambrano-Gavilanes y Lima-Moncayo, 2023).



Figura 2. Esquema de los principales residuos orgánicos utilizados en la

formulación de biofertilizantes (elaboración propia).

CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS UTILIZADOS COMO SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN DE MICROORGANISMOS

Sustrato se define como todo material sólido distinto del suelo natural, de síntesis, o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, ya sea de forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular de la planta, desempeñando un papel de soporte para el desarrollo del sistema vegetal. Los materiales orgánicos que son utilizados como sustratos, cumplen con ciertas propiedades para poder desempeñar su función como soporte. En la Tabla 1 se presentan las propiedades físicas, químicas y otras propiedades que muestran los sustratos orgánicos que se emplean para la formulación de biofertilizantes y compostas.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas de los sustratos orgánicos

Propiedades físicas	Propiedades químicas	Otras propiedades
Gran capacidad de retención de líquidos fácilmente disponible	Suficiente cantidad de nutrientes asimilables	Bajo costo
Suficiente suministro de aire.	Baja salinidad	Facilidad de mezcla
Elevada porosidad	Elevada capacidad reguladora para mantener estable el pH.	Facilidad de desinfección
Estructura estable, que impida la contracción del medio.	Mínima velocidad de descomposición	Resistencia a cambios externos, físicos, químicos y ambientales
Alta porosidad.	Mínima capacidad de intercambio catiónico	Reproductividad y disponibilidad

La producción de hongos benéficos como alternativas de biorremediación ha generado un gran impacto a nivel científico, ya que para su crecimiento es necesario la reutilización de restos o residuos orgánicos resultantes de producción agrícola por lo que se ha considerado una forma de aprovechar los residuos de descomposición orgánica siendo utilizados como materia prima por los nutrientes que contienen para el crecimiento de microorganismos (Barrera Cubillos, 2023).

Es importante que el sustrato presente las propiedades fisicoquímicas adecuadas, así como los nutrientes necesarios, ya que son las que determinan el crecimiento micelial del microorganismo. Uno de los principales elementos que se presenta en más cantidad es el carbono.

Sin embargo, depende de la fuente de donde sean obtenidos, serán sus características y su contenido general se basa en celulosa, hemicelulosa y lignina, conocidos como materiales Lignocelulósicos. Estos materiales por lo general provienen de hojas y tallos de maíz, puntas y hojas de caña de azúcar, así como del procesamiento postcosecha, como bagazo de caña de azúcar, mazorcas y elotes, pulpa de café entre otros.

Los hongos son conocidos como organismos lignocelulósicos por excelencia. Debido a que presentan capacidad hidrolítica, además, que son capaces de degradar lignina, celulosa y hemicelulosa principalmente de materiales como la madera (Ríos Torres y col., 2023).

RESIDUOS ORGÁNICOS UTILIZADOS PARA EL CRECIMIENTO DE MICROORGANISMOS

Dentro de los principales residuos que han sido utilizados para el desarrollo de hongos y bacterias se encuentran:

- Olote del maíz (*Zea mays*) suele presentar un tejido esponjoso y de color blanco donde se almacenan las reservas del cereal. Se composición se basa en 45% de celulosa, hemicelulosa 35% y lignina 15%. Este material ha sido considerado como una alternativa de diferentes compuestos químicos de interés comercial o industrial ya que presenta alto contenido de xilanasas (Morales-Campos y col., 2024).
- Fibra de coco: Conocido como un a oleaginosa procesada para la producción de aceites y otros productos. Este residuo está constituido principalmente por numerosas fibras que, al madurar el fruto, se tornan color café. Estas fibras son largas y aprovechadas en la industria textil, y partículas finas (polvo de coco) que se utiliza como medio de cultivo para flores principalmente (Macías Alcívar y Zambrano García, 2023).
- Cascarrilla de arroz: Este es un sustrato orgánico, subproducto del desprendimiento del grano de arroz de los residuos, presenta baja tasa de descomposición, ligero, excelente drenaje, buena aireación. La única desventaja que adquiere este material es la baja capacidad para retener humedad. La

cascarilla de arroz un tejido vegetal formado por celulosa y sílice, elementos que ayudan a su buen funcionamiento como combustible, lo cual representa un aporte significativo a la preservación de los recursos naturales y un avance de tecnologías limpias y económicas en la producción de arroz (Farías Mera y Leones Falcones, 2024). .

- **Residuo de café:** Se le conoce como residuo de café al sedimento que queda tras la elaboración de la infusión de café. Durante el proceso productivo de este sustrato, se generan grandes cantidades de subproductos, tales como la pulpa de café, cáscara de café, el mucilago, entre otros. La Tabla 2 expone el porcentaje de los principales componentes de cada sustrato.

Tabla 2. Porcentajes lignocelulósicos (celulosa, hemicelulosa y lignina) de cada uno de los sustratos.

Componentes lignocelulósicos en sustratos	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)
Olote de maíz	45	35	15
Fibra de coco	43.44	0.25	45.84
Cascarilla de arroz	30.6	21.4	21.4
Residuo de café	39.10	12.4	23.9

BIOFERTILIZANTES

Los fertilizantes cumplen la función principal que es estimular y mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas poniendo a su disposición los nutrientes esenciales que favorecen el desarrollo de tejido nuevo y rebrotes. Los biofertilizantes son foliares, su proceso es anaeróbico (sin oxígeno), de sales minerales y ácidos orgánicos.

La agricultura desde siempre ha optado por la aplicación de biofertilizantes, pero el término “bioestimulante” es el más usado hoy en día. El área de la agricultura presenta un gran desafío que va desde generar alimentos, a la alta demanda de la población, resistencia al cambio climático, elevadas temperaturas, sequías, abren la necesidad de cultivos más resistentes, con alto rendimiento utilizando productos más sostenibles con el medio ambiente, en conjunto todo esto hace que en las últimas décadas se estén desarrollando más

investigaciones de estos productos (Gómez y col., 2024).

La biofertilización utilizando microorganismos es una técnica agrícola que consiste en la incorporación de microorganismos a sustratos orgánicos, con el objetivo de incrementar la velocidad en los procesos microbianos y de esta manera aumentar la cantidad de los nutrientes asimilables por las plantas (Mamani, 2023).

Otras razones por las que se ha propuesto el uso de la biofertilización, es que al ser un proceso amigable con el medio ambiente contribuye en la disminución de la degradación del agroecosistema y disminuye la pérdida de nutrientes presentes en el suelo causa de la lixiviación (Beltrán-Pineda y Bernal-Figueroa, 2022).

BIOFERTILIZANTES MICROBIANOS

Existen diversos tipos de bacterias que benefician el crecimiento de las plantas, las cuales son conocidas como PGPM (Plant Growth Promoting Microorganisms). Los mecanismos de acción de este tipo de bacterias se dividen en cuatro tipos: bioestimulación, bioprotección, biorremediación y nutrición estos mecanismos son producidos por los promotores de crecimiento como las Bacterias y hongos (Mourouzidou y col., 2023) como se observa en la Figura 3. Los PGPM cumplen diversas funciones entre ellas: incrementan el enraizamiento, el crecimiento y rendimiento de los cultivos, ya sea de forma directa, por sus propias actividades de forma indirecta, al estimular la actividad de PGPMs nativos del suelo (Mawar y col., 2023).

Los biofertilizantes microbianos son elaborados a base de hongos micorrizos y no micorrizos, bacterias encargadas del crecimiento vegetal que son utilizadas para el desarrollo y la eficiencia nutricional en los cultivos (Coutino-Puchuli ., 2023).

El uso de nuevos productos sustentables ha aumentado el interés por estudiarlos y evaluar sus efectos. Dentro de los principales microorganismos mas utilizados para estos fines, han sido las cepas de *Trichoderma* y cepas de *Bacillus*, ya que son las mas eficientes para el desarrollo y estimulo de la raíz y toda la planta (Adame-García y col., 2021).

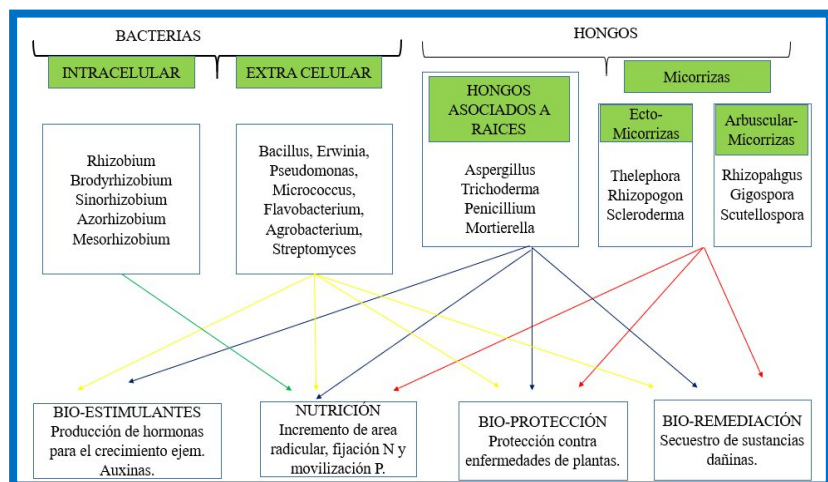


Figura 3. Esquema de hongos y bacterias y sus mecanismos de acción.

Los sustratos, así como poseen excelentes propiedades para ser reutilizados como alternativas de biorremediación para mitigar la contaminación ambiental, también presentan algunos problemas que limitan ser utilizados con facilidad. Uno de los principales inconvenientes que se han presentado durante el último siglo, ya que ha incrementado de forma exponencial, es la contaminación y resistencia de los macroorganismos y se ha convertido en uno de los mayores retos a nivel industrial, agrícola, área de alimentos y el área de la medicina. Biológicamente los microorganismos tienen la capacidad de adaptarse a sobrevivir en ambientes hostiles, lo cual conlleva a que exista resistencia hacia las sustancias desinfectantes (Muñoz Toledo, 2024).

Los microorganismos suelen ser más adaptables a estímulos químicos que físicos. El principal motivo es por que al realizarse una modificación estructural origina un cambio morfológico, lo que conlleva a un riesgo para la especie, debido a que este proceso necesitaría de una adaptación a su nueva forma y funciones (Rivas y Salem, 2024).

Los procesos de adaptación se relacionan principalmente con los procesos físicos de índole energética. Haciendo énfasis ha dicho estímulo, hoy en día se ha propiciado una nueva aplicación tecnológica para la modificación y esterilización que no son químicos. Estos procesos abordan calor húmedo, radiación, electricidad presión con calor y plasma. Este último se caracteriza por lograr modificar fibras lignocelulósicas al ponerse en contacto con esta tecnología y ha sido

utilizada en diversos sectores de la industria por sus resultados positivos y principalmente que involucra la química verde y la sustentabilidad (Sani y col., 2023).

GENERALIDADES DEL PLASMA

El plasma, es una tecnología conformada por un gas ionizado compuesto de partículas eléctricas cargadas que corresponden a fuerzas electromagnéticas a bajas temperaturas (Tirado Kulieva y col., 2021) . Es considerado como el cuarto estado de la materia, este termino fue utilizado por primera vez por Lewi Tonks e Irving Langmuir en 1929 para describir el comportamiento de átomos y moléculas, así como sus cargas eléctricas.

Existen diferentes tipos de tecnologías de plasma: descarga corona en plasma de aire, descarga de plasma de flama, descarga química de plasma. La más utilizada en la industria es la descarga corona en plasma de aire ya que es un proceso eléctrico que involucra aire ionizado para aumentar la tensión superficial de sustratos no porosos (Puente-Díaz, 2024a).

Existen además de plasmas atmosféricos, plasmas a baja presión que utilizan baja frecuencia a 0.5 MHz, radiofrecuencia a 13.56 MHz o microondas a 2.7 Ghz. Al realizar la modificación por plasma ofrece la ventaja de utilizar distintos tipos de gases denominados inertes y reactivos como el oxígeno con el objetivo de modificar la superficie incorporando por medio de injerto grupos funcionales, este proceso es conocido como activación de superficie, sin embargo, existe otro proceso el cual puede llevarse a cabo y al mismo tiempo al realizar la activación, conocido como erosión por plasma. Este proceso de erosión además de utilizar gases, se pueden incluir diferentes tipos de monómeros y se lleva a cabo el proceso de polimerización por plasma sobre la superficie obteniendo un recubrimiento nanométrico. La modificación realizada por plasma depende del gas utilizado, nivel de energía y de la naturaleza de sustrato. Los principales efectos fisicoquímicos que se llevan a cabo en las superficies tratadas son el bombardeo, el microarranque del material, polimerización física o química y la modificación superficial entre otras (Figura 4).



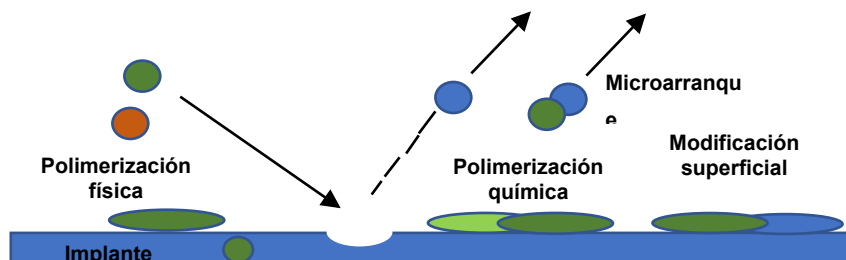


Figura 4. Esquema de los efectos de la modificación superficial del plasma sobre superficies.

Exi
ste
n

procesos que se llevan a cabo en la modificación con plasma. La incorporación de grupos funcionales es uno de los mas importantes, se genera una interacción de las especies presentes en el plasma con los grupos químicos de la superficie del sustrato, creando grupos hidroxil (-OH), carbonil (-CO), carboxil (-COOH), amino (-NH₂), etc., que logran el cambio de las propiedades de la superficie de hidrofóbica a hidrofílica, incrementan la adhesión, la humectabilidad y la biocompatibilidad, todo esto es difícil de lograr por métodos convencionales.

En la Tabla 3 se muestran los principales gases utilizados en la generación del plasma estos grupos son los responsables de la modificación estructural de la superficie (Puente-Díaz, 2024).

La tecnología de plasma ha sido de mucha importancia ya que, gracias a sus propiedades para controlar la temperatura, sintetizar, descomponer moléculas y sus características electromagnéticas ha sido utilizado en diversas áreas. En la agricultura ha sido utilizado el plasma para la acelerar el crecimiento y la germinación de semillas, en la industria alimentaria para la desinfección y esterilización de alimentos (Coral Córdoba y Morales Estrada, 2024). En la medicina se han realizado estudios sobre la eliminación de células cancerosas y en la lucha contra las bacterias resistentes a los antibióticos. El plasma frío, se ha convertido en una herramienta versátil y útil en diversos campos, gracias a su capacidad de modificación y desinfección de materiales sin provocar daños en los productos tratados y sin afectar el equilibrio ecológico al ser un proceso relacionado con la química verde.

Tabla 3. Tipos de gases y aplicaciones utilizadas en el tratamiento por plasma

Gas	Aplicación
Oxígeno	Modificación de polímeros, limpieza, desengrasado, e hidrofiliación
Hidrógeno	Limpieza de metales, reducción de cepas oxidadas
Gases nobles	Activación y desengrasado
Nitrógeno	Activación de polímeros
Hidrocarburos, etileno, etano	Polimerización
Fluorocarbono	Hidrofiliación, polimerización
S i - r e a c t i v o s orgánicos	Polimerización

Algunos estudios sobre la modificación y desinfección de sustratos orgánicos fueron realizados por Suarez y col. (2022), quienes modificaron fibras del seudotallo de plátano mediante epiclorhidrina, anhídrido acético y plasma a tres descargas de barrera dieléctrica (DBD) 1, 3 y 6 Kw 2 min. Observando que efectivamente se presentó una modificación en las fibras ya que redujo la cantidad de grupos OH libres de las fibras y su afinidad por el agua. Además, de que las muestras tratadas por plasma presentaron cambios en la textura de las fibras lo cual mejoró su amarre mecánico y la compatibilidad con gran diversidad de matrices poliméricas.

Sánchez y col. (2022) mencionan en su estudio el desarrollo de varios compuestos formados por una matriz de biopolietileno con una carga de fibra de piña del 5%, 10% y 20%, como compatibilizante para mejora la interacción entre los dos componentes. Estos materiales fueron tratados con plasma atmosférico con el objetivo de mejorar las propiedades adhesivas del material. Exponiendo en sus resultados una mejora de la humectabilidad y un aumento de la energía superficial, además de una recuperación hidrofóbica muy rápida tras varias horas para crear una matriz de biopolietileno de almacenamiento para los materiales tratados.

En otros estudios relacionados con la reutilización de productos orgánicos para el crecimiento de hongos y bacterias con fines biotecnológicos y de biorremediación, fue el trabajo realizado por García y Peralta (2022). Quienes trabajaron con el residuo

agroindustrial como el bagazo de caña (*Saccharum* spp.), utilizando un tratamiento químico de hidrólisis ácida (sulfúrica). Exponiendo en sus resultados un rendimiento de celulosa del 48%. Sus resultados establecieron que las fibras, permiten actuar como refuerzo en materiales compuestos, por tal motivo este material se ha convertido en fuente promisoría en la producción de biomateriales y papel. Este material abre camino para nuevas investigaciones y para ser utilizado con otros fines, de los cuales se pueda obtener algún producto con un alto valor agregado y sobre todo con un valor positivo para el cuidado ambiental.

Por último, no olvidemos el área de alimentos que presenta problemas de enfermedades vegetales causadas por patógenos fúngicos, conllevan a un grave problema. Esta técnica de plasma frío puede ser un método alternativo de protección vegetal, siendo utilizado para inactivar células fúngicas o mejorar la resistencia de los huéspedes infectados (Tirado Kulieva ., 2021). Investigadores como Suhem y col. (2013) y Nikmaram y col. (2018) confirmaron la susceptibilidad de grupos microbianos al tratamiento con plasma. De igual manera sugirieron que la inactivación de células fúngicas influye en la producción de compuestos reactivos que causan efecto destructivo en la pared celular y la membrana interna de los hongos. En la investigación realizada por Ye y col. (2012) se examinó el efecto del plasma de aire en el hongo *Penicillium expansum*, siendo uno de los patógenos más importantes causantes del deterioro de la fruta almacenada. Los estudios realizados por SEM mostraron la destrucción de las estructuras externas de *P. expansum*. A su vez, la interpretación por TEM reveló las alteraciones inducidas por plasma en la célula, tales como incremento en el volumen del protoplasma, estiramiento de vacuolas y deformación de la membrana, lo que generó la lisis celular.

CONCLUSIONES

A través de la presente investigación se pudo evidenciar la importancia de implementar alternativas agrícolas sustentables que favorezcan la seguridad alimentaria y la protección ambiental. La tecnología del plasma frío sin duda alguna es un método eficaz y medioambiental ya

que no genera residuos y no alterara el desequilibrio ecológico. Además, con las investigaciones encontradas en la literatura se confirma que no solo es un proceso con capacidad de modificar superficies, sino que también se puede realizar desinfección de los materiales comparando con el uso de sustancias desinfectantes.

La resistencia que desarrollan los microorganismos a ciertas sustancias esterilizantes, es un problema mundial que avanza rápidamente. Por tal motivo la aplicación de sistemas de plasma frío puede ser una técnica segura y eficiente que puede ser aplicada en diversos campos para dar certeza, limpieza y control microbiológico asegurando efectividad a largo plazo para evitar la evolución de los microorganismos.

En el área de agrícola el uso de métodos tradicionales para desinfección, como el uso de fungicidas y pesticidas suelen provocar efectos negativos a la salud humana y por lo que algunos microorganismos pueden volverse resistentes a los compuestos químicos, Lo que reduce su eficacia. Por lo tanto, esta nueva tecnología se presenta como una tecnología prometedora para la eliminación de hongos, virus y bacterias, así como para realizar la desinfección de residuos orgánicos. Los cuales puedan ser reutilizados como soporte estéril para el crecimiento de microorganismos benéficos y de esta manera sustituir los tratamientos químicos por productos más sustentables

AGRADECIMIENTOS

En la presente investigación el extracto de *Ricinus communis* funciona como estabilizador de las NpZnO. Mediante la técnica de DRX se demuestra que las NPs obtenidas presentaron una fase Wurtzita, mientras que por DLS se observó un comportamiento bimodal con tamaños promedio de 70 y 200 nm. Los resultados indican que el método utilizado para la síntesis a partir de extractos de plantas utilizados puede ser una buena opción para su obtención con una alta pureza y sobre todo no costoso y escalable.

REFERENCIAS

- Agis, A. J., Sánchez, S. G., Astudillo, R. I. M., Salome, B. O., Torres, J. Z., Espino, G. T., & Gonzalez, M. R. (2023). Situación actual y cumplimiento de la normatividad sobre residuos peligrosos en talleres mecánicos en la Colonia Progreso, Acapulco, Guerrero, México. *Acta Universitaria*, 33: 1-12. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3747>
- Alves, B. de S. (2024). Organizaciones en función de la preservación del medio ambiente debido a la expansión de la Agroindustria. *Revista de Ciencias Empresariales y Sociales*, 11(7): Article 7.
- Barrera Cubillos, G. P. (2023). Multifuncionalidad de los hongos biocontroladores y su aporte a la agricultura. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 25(2): 3-5. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v25n2.112585>
- Beltrán-Pineda, M. E., & Bernal-Figueroa, A. A. (2022). Biofertilizantes: Alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Revista Mutis*, 12(1). Article 1. <https://doi.org/10.21789/22561498.1771>
- Coral Córdoba, D. H., & Morales Estrada, L. A. (2024). *Sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz por medio de plasma frio con acople de impedancias* [Thesis, San Juan de Pasto - Nariño [Colombia]: Universidad CESMAG]. <http://repositorio.unicesmag.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/1118>
- Coutino-Puchuli, A. E., Peña-Borrego, M. D., & Infante-Jimenez, Z. T. (2023). Estudio bibliométrico sobre biofertilizantes en México durante el período 2015-2020. *Revista Terra Latinoamericana*, 41: e1449. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1449>
- Cuadros Cabrera, G. (2024). Cultura ambiental e implementación del Programa Reciclaje de Residuos Sólidos en una Institución Educativa, Lima—2023. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20500.12692/153296>
- Farías Mera, M. A., & Leones Falcones, A. J. (2024). *Evaluación de los residuos agrícolas cascarilla de arroz (Oryza sativa) y bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) como sustrato para sistemas acuapónicos* [bachelorThesis, Calceta: ESPAM MFL]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/2438>
- García, E., & Peralta, D. (2022). Hidrólisis enzimática de bagazo de caña (Saccharum sp híbrido) para la producción de azúcares simples. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 1(18): Article 18. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6481849>
- García Villalobos, C. (2023). *Evaluación de la influencia de compost ecológico, cubiertas vegetales y ganado en la calidad del suelo en el contexto de la agricultura ecológica*. Tesis de maestría. ESCUELA POLITECNICA

SUPERIOR DE ORIHUELA. <http://dspace.umh.es/handle/11000/29921>

- Garza-Sánchez, J., Coronado-Blanco, J. M., Rodríguez-Del-Bosque, L. Á., Osorio-Hernández, E., Estrada-Drouaillet, B., & Khalaim, A. I. (2023). EL CONTROL BIOLÓGICO EN LA EDUCACIÓN AGRÍCOLA: UNA ALTERNATIVA SUSTENTABLE. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 9(1): Article 1. <https://aap.uaem.mx/index.php/aap/article/view/509>
- Gómez, S. P. M., Vallejo, L. F. C., & Orobio, B. A. P. (2024). Inoculantes biológicos: Oportunidades y desafíos para la sustentabilidad agrícola y bioeconomía colombiana. Una revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 15(2): Article 2. <https://doi.org/10.22490/21456453.7018>
- Macías Alcívar, J. O., & Zambrano García, E. E. (2023). *Microorganismos celulolíticos para la descomposición de la cáscara del coco en el sitio "Sosote", cantón Rocafuerte* [bachelorThesis, Calceta: ESPAM MFL]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/2255>
- Mamani, A. (2023). Biofertilizantes a base de microorganismos beneficiosos y materia orgánica: Una revisión sistemática. *Revista Acciones Médicas*, 2(4): Article 4. <https://doi.org/10.35622/j.ram.2023.04.004>
- Mawar, R., Ranawat, M., Ram, L., & Sayyed, R. Z. (2023). Harnessing Drought-Tolerant PGPM in Arid Agroecosystem for Plant Disease Management and Soil Amelioration. En R. Mawar, R. Z. Sayyed, S. K. Sharma, & K. S. Sattiraju (Eds.), *Plant Growth Promoting Microorganisms of Arid Region* (pp. 27-43). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4124-5_2
- Mesías, D. A. G., Paredes, J. F. M., & Paz, J. M. V. (2023). Generalidades del aprovechamiento de residuos agroindustriales, en la generación de productos con valor agregado. *Boletín Informativo CEI*, 10(2): Article 2.
- Morales-Campos, B. K., Sánchez-Santillán, P., Torres-Salado, N., Saavedra-Jiménez, L. A., Herrera-Pérez, J., & Ayala-Monter, M. A. (2024). Actividad de celulasas y lacasas de *Pleurotus ostreatus* por fermentación en medios sólidos con subproductos del maíz (*Zea mays* L.). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 40: 331-340. <https://doi.org/10.20937/RICA.54531>
- Motta-Machicado, L. A. (2024). Aprovechamiento de residuos sólidos de la agroindustria en la remoción de contaminantes, un estudio de revisión. *Revista Biodiversidad Amazónica*, 3(1): Article 1. <https://doi.org/10.55873/rba.v3i1.295>
- Mourouzidou, S., Ntinis, G. K., Tsaballa, A., & Monokrousos, N. (2023). Introducing the Power of Plant Growth Promoting Microorganisms in Soilless Systems: A Promising Alternative for Sustainable Agriculture. *Sustainability*, 15(7): Article 7. <https://doi.org/10.3390/su15075959>

- Muñoz Toledo, D. G. (2024). *Cultivo de Pleurotus ostreatus blanco en sustrato de aserrín y paja de cebada* [bachelorThesis, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/14802>
- Nikmaram, H., Rezaei Kanavi, M., Ghoranneviss, M., Balaghali, S., Ahmadi, H., Roshandel, D., & Amini, M. (2018). Chorro de plasma a presión atmosférica fría para el tratamiento de la queratitis por *Aspergillus*. *Clinical Plasma Medicine*, 9: 14-18. <https://doi.org/10.1016/j.cpme.2017.12.075>
- Novoa Contreras, L. V., & Guerrero Alvarado, S. F. (2022). *Análisis de cumplimiento del “objetivo del desarrollo sostenible No.6 agua limpia y saneamiento” en el municipio de Girardot-Cundinamarca con base en la aplicación de la normatividad vigente de Colombia* [Thesis]. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/11697>
- Pineda, N. E. S., Arango, J. J. D., & Bedoya, C. A. H. (2024). Predicción de rendimiento del cultivo de frijol en Colombia: Avances tecnológicos para la agricultura sostenible. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*. <https://doi.org/10.26507/paper.3773>
- Puente-Díaz, L. (2024a). Principios, aplicaciones y efectos de la aplicación de plasma frío en alimentos: Una revisión actualizada. *Revista chilena de nutrición*, 51(2): 155-164. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182024000200155>
- Puente-Díaz, L. (2024b). Principios, aplicaciones y efectos de la aplicación de plasma frío en alimentos: Una revisión actualizada. *Revista chilena de nutrición*, 51(2): 155-164. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182024000200155>
- Ríos Torres, D. N., Salmerón, I., Quintero Ramos, A., Pérez Vega, S. B., & Cisneros de la Cueva, S. (2023). Producción y cuantificación de carbohidratos a partir de residuos lignocelulósicos por hongos del género *aspergillus*. *Emerging Trends in Education*, 9(24): 2.
- Rivas, P. E. C., & Salem, M. E. Á. (2024). Dossier: Suelo y microorganismos. *Siembra*, 11(2): Article 2. <https://doi.org/10.29166/siembra.v11i2.7275>
- Rodríguez-Jorge, K., & Aguila-Michelena, R. (2023). Tratamiento biológico con microorganismos eficientes, para reducir la carga contaminante en aguas residuales de la industria azucarera y los derivados. *Icidca sobre los derivados de la caña de azúcar*, 57(2): 83-96.
- Sánchez, M. A. G., Valencia, J. S. V., & Sossa, R. R. (2022). Caracterización de propiedades mecánicas de materiales compuestos de matriz de polietileno de alta densidad reforzados con fibras naturales para su aplicación en punteras de calzado de seguridad. *Revista Sennova: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 7(1): Article 1.

<https://doi.org/10.23850/238995.73.6076>

- Sani, I. K., Aminoleslami, L., Mirtalebi, S. S., Sani, M. A., Mansouri, E., Eghbaljoo, H., Jalil, A. T., Thanoon, R. D., Khodaei, S. M., Mohammadi, F., & Kazemzadeh, B. (2023). Cold plasma technology: Applications in improving edible films and food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 37: 101087. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101087>
- Suarez, J. H., Chagala, A. del C. P., Onofre, P. J., & Nafarrate, C. M. M. (2022). Implementación de diseño de prototipo para desmembrar fibras naturales (pseudotallo de plátano), con el fin de mejorar el proceso manual. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6): Article 6. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3477
- Suhem, K., Matan, N., Nisoa, M., & Matan, N. (2013). Inhibición de *Aspergillus flavus* en medios de agar y barras de cereal de arroz integral mediante tratamiento con plasma atmosférico frío. *International Journal of Food Microbiology*, 161(2): 107-111. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.12.002>
- Sumarriva-Bustinza, L. A., Zela-Payi, N. O., Ticona-Arapa, H. C., Condori, N. C., & Chávez-Sumarriva, N. L. (2023). Manejo de residuos sólidos para el cuidado del medioambiente: Una necesidad para la calidad de vida. *ALFA. Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 7(20): 408 - 417. <http://repositorio.cidecuador.org/jspui/handle/123456789/2751>
- Tirado Kulieva, V., Miranda Zamora, W. R., & Leyva Pavis, N. L. (2021a). Análisis crítico del potencial del plasma frío como tecnología no destructiva en el procesamiento alimentario: Situación actual y tendencias futuras. *Revista de la Universidad del Zulia*, 12(32): 284-316.
- Tirado Kulieva, V., Miranda Zamora, W. R., & Leyva Pavis, N. L. (2021b). Análisis crítico del potencial del plasma frío como tecnología no destructiva en el procesamiento alimentario: Situación actual y tendencias futuras. *Revista de la Universidad del Zulia*, 12(32): 284-316.
- Trujillo Astudillo, J. M., & Quito Heredia, J. P. (2024). *Propuesta de factibilidad de obtener biogás con desechos orgánicos de manera artesanal en hogares de la Ciudad de Guayaquil* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27513>
- Vásquez, V. L. S., & Hidalgo, R. R. M. (2024). Orujo de uva del proceso de vinificación, y su aprovechamiento en la producción de compostaje. *Reincisol.*, 3(6): Article 6. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(6\)4510-4526](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)4510-4526)
- Vera Dueñas, M. O. (2024). El bagazo de la caña de azúcar como sustrato en la fermentación láctica. *Avances en Química*, 19(1):27-36:
- Ye, S., Song, X., Liang, J.-L., Zheng, S., & Lin, Y. (2012). Desinfección de esporas de *Penicillium expansum* transportadas por el aire en cámaras frigoríficas

mediante descarga de corona de corriente continua. *Biosystems Engineering*, 113(2): 112-119.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.06.013>

Zambrano-Gavilanes, F., & Lima-Moncayo, A. O. (2023). Uso de fertilizantes orgánicos en la producción de Cucurbitáceas: Revisión de literatura. *Paideia XXI*, 13(1): Article 1. <https://doi.org/10.31381/paideia.v13i1.5671>

Zona-López, J. R., Ruíz-Ortega, F. J., & Márquez-Bargalló, C. (2023). Modelos de explicación sociocientífica sobre el cambio climático desde una perspectiva multimodal. *Educación y Humanismo*, 25(44): Article 44.
<https://doi.org/10.17081/eduhum.25.44.5747>