

## Aislamiento de dos cepas de *streptomyces*, con potencial lignocelulolítico

*Isolation of two streptomyces strains with lignocellulolytic potential*

Luis E. Ojeda-Ojeda<sup>1</sup>\*, María A. Santana<sup>2</sup>, Pablo Pizzani<sup>3</sup>, Carlos Rodríguez<sup>1</sup>, Nirza Noguera-Machado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sección de Biotecnología Agroindustrial, Instituto de Investigaciones Biomédicas “Francisco Javier Triana Alonso” de la Universidad de Carabobo. Estado Aragua, Venezuela.

<sup>2</sup> Laboratorio de Biotecnología Agrícola, Departamento de Biología Celular, Universidad Simón Bolívar. Estado Miranda, Venezuela.

<sup>3</sup> Instituto de Investigaciones en Nutrición Animal, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional Experimental de los Llanos Rómulo Gallegos. Estado Guárico, Venezuela.

**Artículo de Investigación**

**Autor de correspondencia:** [lojeda2@uc.edu.ve](mailto:lojeda2@uc.edu.ve)

Recibido: 05/05/2025

Recibido en forma revisada: 30/05/2025

Aceptado: 15/07/2025

---

### Resumen

El género *Streptomyces* es una familia de bacterias Gram-positiva extendida en una gran variedad regiones del planeta. Numerosos estudios han mostrado que tienen un alto potencial biotecnológico, por su baja patogenicidad y la gran variedad de metabolitos secundarios que producen durante su crecimiento. En este estudio se propuso aislar cepas de *Streptomyces* con actividad celulolítica y lignolítica respectivamente. Se lograron obtener dos

aislados de bacterias del tipo *Streptomyces* a partir de muestras de suelos, fueron identificados por sus características morfológicas (Prueba de Gram, análisis de microscopía electrónica, tipo de crecimiento y presencia de micelio aéreo) y confirmado con la presencia de geosmina en los cultivos. La actividad celulolítica fue confirmada mediante la prueba de papel de filtro, mientras que la lignolítica con un ensayo de crecimiento en pasto, decoloración del azul de metileno y crecimiento en licor de lignina.

---

**Luis E. Ojeda-Ojeda.** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1004-9313>. Licenciado en Química de la Universidad Carabobo. Dr. en Ciencias de los Alimentos de la Universidad Simón Bolívar. Profesor titular a dedicación exclusiva.

**María A. Santana.** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9026-3717>. Licenciada en Biología de la Universidad Simón Bolívar, Ph.D. en Ciencias de las Plantas Oxford-UK; Profesora titular a dedicación exclusiva.

**Pablo Pizzani.** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0288-9558>. Ingeniero Agrónomo de la Universidad Central de Venezuela. Dr. en Nutrición Animal de la Universidad Central de Venezuela. Profesor titular a dedicación exclusiva.

**Carlos Rodríguez.** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8291-0563>. Licenciada en Bioanálisis de la Universidad Carabobo. Estudiante de Maestría en Microbiología.

**Nirza Noguera-Machado.** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8291-0563>. Ingeniera Agrónomo de la Universidad Central de Venezuela. Dra. en Ciencias de la Universidad Central de Venezuela. Profesora titular a dedicación exclusiva

Los resultados obtenidos confirmaron la actividad celulolítica SC-1 y lignolítica para SL-4.

**Palabras clave:** Celulasas, ligninasas, actinomicetos, *Streptomyces*, biotecnología, bacterias Gram positivo

### **Abstract**

The genus *Streptomyces* is a family of Gram-positive bacteria spread across a wide variety of regions around the world. Numerous studies have shown that they have high biotechnological potential due to their low pathogenicity and the wide variety of secondary metabolites they produce during growth. In this study, we proposed to isolate *Streptomyces* strains with cellulolytic and lignolytic activity, respectively. Two isolates of *Streptomyces* bacteria were obtained from soil samples. They were identified by their morphological characteristics (Gram's test, electron microscopy analysis, growth type, and presence of aerial mycelium) and confirmed by the presence of geosmin in the cultures. Cellulolytic activity was confirmed by the filter paper test, while lignolytic activity was confirmed by a grass growth assay, methylene blue decolorization, and growth in lignin liquor. The results obtained confirmed cellulolytic activity for SC-1 and lignolytic activity for SL-4.

**Key words:** Cellulases, ligninases, actinobacteria, *Streptomyces*, biotechnology, gram positive bacteria.

### **1. Introducción**

El aislamiento de microorganismos con potencial biotecnológico es un área de investigación muy importante en la actualidad. El uso de bacterias, hongos y levaduras para producir metabolitos de interés comercial, cada vez genera más interés en los sectores productivos. Entre los diversos tipos de microorganismos estudiados resaltan los actinomicetos, que son una familia de bacterias Gram positiva, que crecen en numerosos ambientes. El género *Streptomyces* está presente en la naturaleza en un gran número de especies, las cuales difieren entre sí sustancialmente en su fisiología, actividad bioquímica y morfología (Shepherdson, Baglio y Elliot 2023; Komaki, 2023). Este género ha sido ampliamente estudiado principalmente porque algunas especies son responsables de producir antibióticos como la Streptomicina y antimicóticos como la anfotericina B. En la actualidad se siguen realizando estudios en busca de nuevas moléculas que tengan el potencial para actuar como agentes antimicrobianos y antifúngico (Ayed *et al.*, 2021; Ekundayo *et al.*, 2022; Kazi *et al.*, 2022).

Reportes en la literatura científica, han demostrado que estos microorganismos poseen un alto potencial biotecnológico, porque son termoestables, la mayoría no son patógenos y pueden producir una gran variedad de enzimas de interés comercial. Entre las enzimas más estudiadas están las que degradan el material vegetal, entre ellas destacan: Celulasas y Xilanasas (Danso *et al.*, 2022; Ojeda *et al.*, 2022), Lacasa (Gogotya *et al.*, 2021); Lignina peroxidasa (Batayyib *et al.*, 2023), Manganeso Peroxidasa (Qin *et al.*, 2021), entre otras.

En función de la importancia biotecnológica que tienen las bacterias de este género, se propuso en este estudio aislar, identificar y confirmar la actividad catalítica de cepas de *Streptomyces* aisladas a partir de muestras de suelo y compost proveniente de diferentes zonas de la ciudad de Maracay, estado Aragua-Venezuela.

## 2. Materiales y métodos

**Recolección de las muestras.** Las muestras se recolectaron en diferentes zonas del municipio Girardot del estado Aragua (Venezuela). Se recolectaron aproximadamente 100g de cada muestra en bolsas de plástico nuevas, las muestras fueron conservadas a temperatura ambiente hasta su procesamiento. La muestra de suelo se recolectó usando la metodología propuesta

por Revollo *et al.*, (2012), a una profundidad de entre 2-5cm en la localidad ubicada a 10°17.260' W 067°34.269'. También se recolectaron muestras de compost en la localidad ubicada a 10°17.169' W 067°34.270'.

**Aislamiento de las cepas.** Las muestras fueron tamizadas a través de un tamiz de 2 mm para eliminar partículas grandes y materia orgánica. Posteriormente, se sometieron a un tratamiento térmico a 55°C durante 5 minutos con el objetivo de reducir la población de microorganismos no deseados, como hongos y bacterias no esporuladas. Se realizó la técnica de dilución en tubo, suspendiendo 10g de suelo en 90 mL de Solución Salina Fisiológica (SSF) estéril y realizando diluciones seriadas hasta 10<sup>-5</sup>, se inocularon 1 mL en medio de cultivo agar de extracto de levadura y malta, las placas se incubaron a 28-30°C durante 7-9 días, tras lo cual se seleccionaron aquellas con características morfológicas típicas de *Streptomyces*, como textura seca, apariencia pulverulenta y pigmentación distintiva. Las especies aisladas se conservaron en placas de agar a 4 °C hasta su uso posterior (Al-Saadi, Hameed y Jaralla, 2013).

Para la identificación presuntiva, se evaluaron las características macroscópicas (morfología de la colonia, color del micelio y

pigmentos difusibles) y microscópicas mediante tinción de Gram (confirmando estructuras filamentosas Gram positivas con cadenas de esporas), en lo que respecta a la caracterización bioquímica, fue determinada mediante diversas pruebas como la hidrólisis de almidón mediante la adición de Lugol, la hidrólisis de gelatina para determinar actividad proteolítica, la detección de producción de H<sub>2</sub>S, urea. Adicionalmente, se llevaron a cabo pruebas de utilización de fuentes de carbono, incluyendo arabinosa, fructosa, xilosa, manitol, inositol, rafinosa, sacarosa y celulosa, con el fin de determinar la versatilidad metabólica de los aislamientos. Este conjunto de pruebas permitió la identificación y caracterización de *Streptomyces*, facilitando la selección de aislamientos con potencial biotecnológico para la producción de metabolitos bioactivos (Taddei *et al.*, 2006).

**Confirmación de la naturaleza no fúngica.** Para confirmar que las colonias corresponden a células procariotas, se prepararon placas que tenían una mezcla del medio de Sasikumar *et al.*, (2014) y Luria-Bertani (LB), seguido se les agregó un antimicótico nistatina al 0,1% (Márquez *et al.*, 2002). Como control positivo se usó una cepa de *Aspergillus niger*. Las placas fueron

inoculadas con una asada de micelio aéreo e incubadas a 35°C por 48h.

**Actividad celulolítica.** La cepa aislada fue sometida a pruebas que permitieran confirmar de manera cualitativa su capacidad de utilizar la celulosa como sustrato.

**Prueba del papel de filtro.** Se preparó un medio mínimo semejante al propuesto por Wongwilaiwalin *et al.*, (2010), suplementado un trozo de papel de filtro Whatman N°1, como única fuente de carbono. El medio y el papel de filtro se colocaron en tubos de ensayos PYREX de 30 mL con tapas de baquelita y se sometieron a esterilización. Los medios fueron inoculados con las cepas previamente aisladas, se colocaron en incubación a 35°C hasta observar crecimiento en los tubos.

**Actividad lignolítica.** Las cepas aisladas fueron sometidas a pruebas tanto cualitativas como cuantitativas para confirmar la actividad lignocelulolítica de las bacterias aisladas.

**Prueba del crecimiento en pasto.** Se preparó el medio Sasikumar *et al.*, (2014) y se colocó en tubos de ensayos con tapas de baquelita. A cada tubo se le colocó una muestra de forraje (*Brachearias* sp.) entera y se sometieron a esterilización. El medio y el material vegetal una vez que estaban esterilizados se identificaron y fueron

inoculados con una suspensión de la cepa aislada y se colocaron en incubación a 35°C hasta observar crecimiento en los tubos.

**Prueba del azul de metileno.** Se preparó un medio LB y se suplemento con azul de metileno 25 mg/L semejante al propuesto por Bandounas *et al.*, (2011). Una vez que estaban esterilizados se identificaron y fueron inoculados con las cepas previamente identificadas, se colocaron en incubación a 35°C hasta observar decoloración en la placa

**Degradación del licor de lignina en cultivo sumergido.** Se usó la metodología propuesta por Laura y Castellano (2005), con modificaciones. El aislado fue sembrado en un medio Czapeck modificado (NaNO<sub>3</sub> 3 g/L, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 1 g/L, MgSO<sub>4</sub> 0,5 g/L, KCl 0,5 g/L, FeSO<sub>4</sub> 0,01 g/L), sustituyendo la sacarosa por glucosa al 1% (p/v) y adicionando licor de lignina 0,20% (v/p). Las muestras fueron incubadas a una temperatura de 35 °C, por 7 días a una agitación de 150 RPM. Cumplido el tiempo los tubos fueron filtrados usando papel de filtro Whatman Nro. 1, el filtrado fue sometido a un proceso de centrifugación y el sobrenadante fue analizado en un espectrofotómetro marca BECKMAN DU.

**Microscopía electrónica.** Las cepas aisladas fueron repicadas en el medio de Sasikumar *et al.*, (2014) modificado, enriquecido con extracto de levadura y

peptona, suplementado con 0,25% de almidón de papa. Se tomó un fragmento de las esporas del micelio aéreo de cada cepa, seguido fueron sometidas a un proceso de deshidratación, posteriormente recibió varias cubiertas de oro antes de su análisis. La muestra fue analizada con un microscopio electrónico marca JEOL modelo JSM-6390 en el laboratorio de microscopía electrónica de la Universidad Simón Bolívar (Miranda-Venezuela).

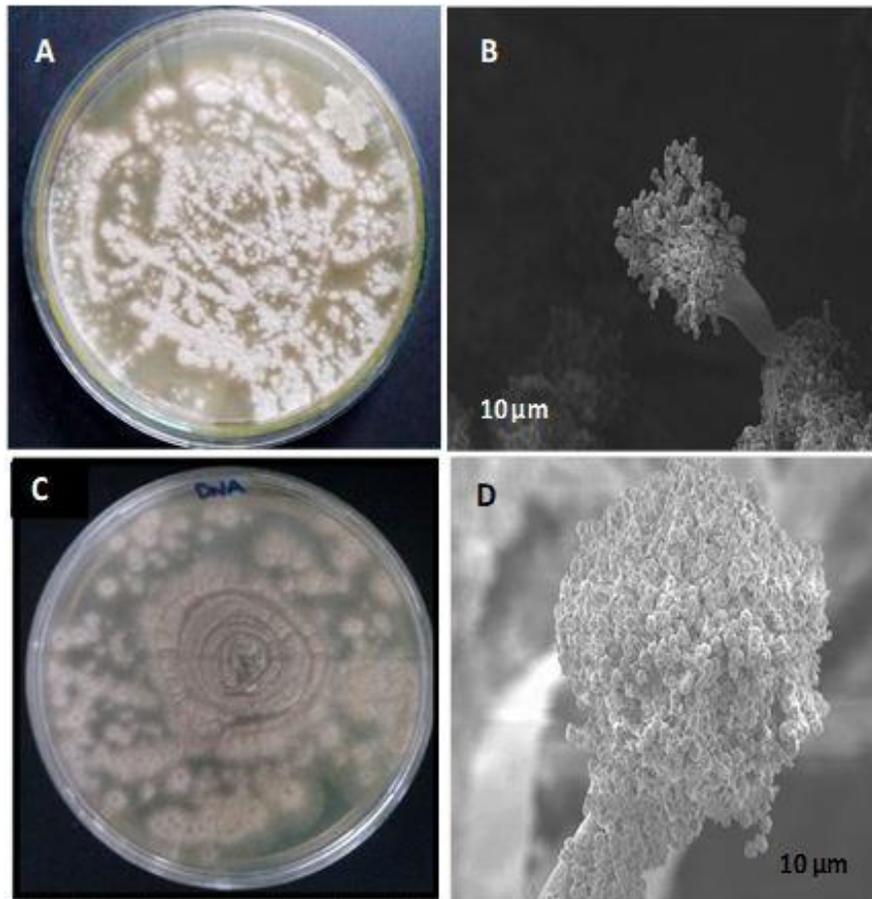
### 3. Resultados y Discusión

Luego de procesadas las muestras de suelo y compost, dos cepas fueron aisladas las cuales fueron identificadas en función de la actividad catalítica mostrada por cada una de ellas. La que tenía actividad celulolítica, se le identificó como muestra uno con actividad celulolítica (M1-C); mientras que la que tenía la actividad lignolítica, aislada del compost, se le identificó como muestra cuatro con actividad lignocelulolítica (M4-L). Luego de realizar las distintas fases del proceso de aislamiento, las dos cepas fueron almacenadas en cultivos de cuña a temperatura ambiente y a -70°C. En la Figura 1 se presenta una imagen de cada una de estas cepas.

El crecimiento mostrado por las dos cepas es típico de los actinomicetos, presentan abundante crecimiento de micelio

aéreo en la superficie donde están las cadenas de conidiosporos, forma rugosa y crecimiento extendido, aun cuando no se aprecia en la figura las cepas presentaron crecimiento interno en la placa que según la literatura corresponde al micelio vegetal típico de estas bacterias filamentosas. Adicionalmente los dos aislados emitían un olor a tierra mojada

(geosmina) que es característico de los *Streptomyces*. A los aislados se les realizó la tinción de Gram y se observó que el material celular se tiño de azul-violeta, esto confirma que ambas bacterias eran Gram positivo. Como prueba confirmatoria se le realizó un análisis de microscopía electrónica para observar su morfología (Figura 1).



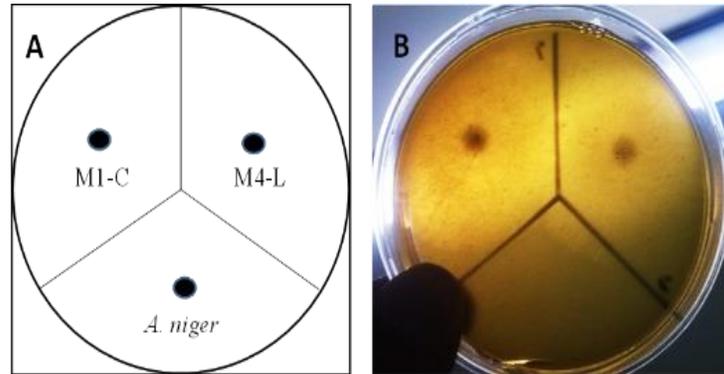
**Figura 1.** Descripción de las cepas aisladas en este estudio. A) cepa M1-C medio mínimo suplementado con ácido tánico, B) microscopía electrónica de las esporas de la cepa M1-C, C) cepa M4-L medio mínimo suplementado con celulosa y D) microscopía electrónica de las esporas de la cepa M4-L.

Como se puede observar en las Figuras 1-B y 1-D las cepas presentan gran similitud morfológica entre ellas, que son típicas para

este tipo de Actinomicetos. Estos hallazgos pudieran sugerir que los dos aislados encontrados en este estudio son bacterias del

género *Streptomyces*. Se observan largas cadenas de esporas con forma ovoide unidas entre sí formando cadenas del tipo rectiflexibles (Li *et al.*, 2016). En lo que

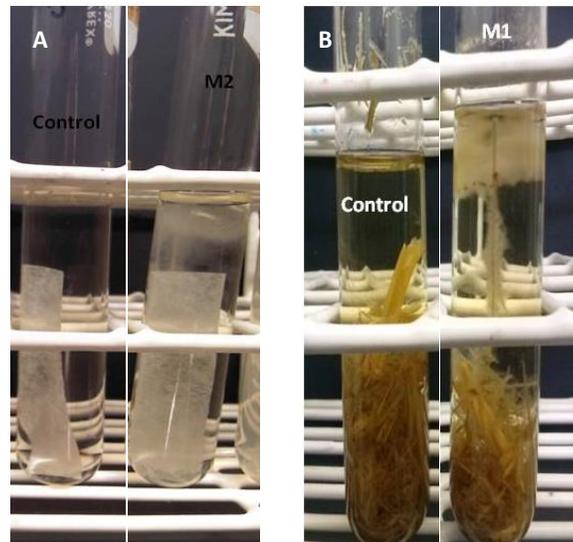
respecta al ensayo realizado con el antimicótico (Nistanina), el resultado encontrado se presenta en la figura 2.



**Figura 2.** Comportamiento de los dos aislados en un medio suplementados con un antifúngico Nistatina. M1-C bacteria con actividad celulolítica y M4-L bacteria con actividad lignocelulolítica

Como se aprecia en la figura, las cepas aisladas lograron crecer en el medio suplementado con el antifúngico, mientras que el *A. niger* no logró proliferar. Este resultado confirma que los aislados no son hongos sino bacterias y como presentan

formación de micelio aéreo se trata de bacterias del género *Streptomyces*. Por su parte los resultados de las pruebas de cultivo usando medios mínimos y sustratos complejos se presentan en la siguiente figura



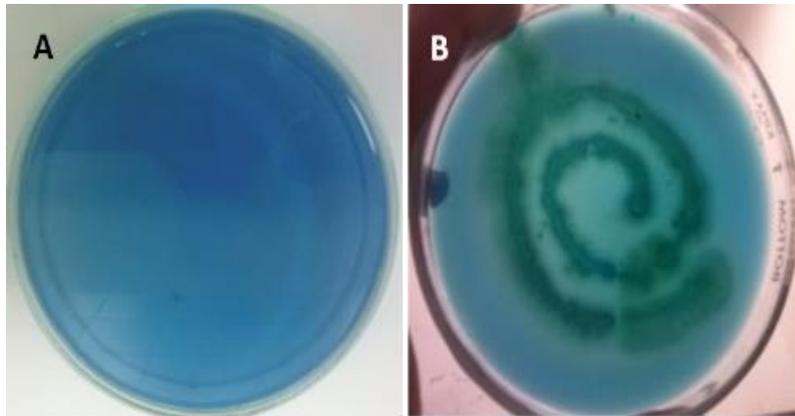
**Figura 3.** Cultivo de las dos cepas aisladas usando un medio mínimo y una sola fuente de carbono. (A) corresponde a M1-C con papel de filtro y (B) se trata de M4-L con pasto estéril.

Asimismo, el comportamiento mostrado por MC-1 (figura 3-A), revelo su capacidad para metabolizar el polímero de la celulosa, debido a que en la figura se observa una turbidez en el segundo tubo con respecto al control. Para que el microorganismo pueda tener acceso a las unidades de glucosa presentes en el sustrato, se necesita de la presencia de las enzimas, exoglucanasas (EC 3.2.1.74), endoglucanasas (EC 3.2.1.4), cellobiohidrolasas (EC 3.2.1.91), y  $\beta$ -glucosidasas (EC 3.2.1.21) (Fatokun *et al.*, 2016). Estos resultados confirman la actividad celulolítica de SC-1.

En la literatura se han reportado diferentes especies de *Streptomyces* con esta capacidad hidrolítica. Entre los más destacados resaltan el estudio hecho por Kluepfel, Mondou y Morosoli (1986), que estudiaron una cepa de *S. lividans*, capaz de producir celulasas y xilanasas, Chellapandi y Himanshu, (2008), quienes evaluaron cepas de *Streptomyces* sp productoras de celulasas y endoglucanasas, Prasad, Singh y Bedi (2013), sobre un *S. griseourubens*, quienes caracterizaron las enzimas celulolíticas que esta especie producía y el de Brito-Cunha *et al.*, (2015), quienes estudiaron la capacidad de *S. thermocerradoensis* para producir celulasas sobre diferentes sustratos.

En lo que respecta a las pruebas para confirmar actividad lignocelulolítica (figura 3-B), se observa el crecimiento en el tubo que tenía medio mínimo y pasto estéril lo que demostró la capacidad que tiene ML-4, para poder metabolizar el material vegetal. La pared vegetal está constituida por un complejo entrelazamiento entre la celulosa, hemicelulosa y lignina que se denomina lignocelulosa. Este complejo está estabilizado por diferentes enlaces tipo éter y ester entre la lignina y los polímeros de la celulosa, hemicelulosa y la lignina (García, 1988). Debido a que la bacteria pudo crecer, se presume que pudo despolimerizar complejo de la lignocelulosa gracias a la producción de enzimas especializadas.

Las enzimas que degradan la lignina son oxidativas, inespecíficas y actúan vía mediadores no-proteicos en contraste con las celulasas y hemicelulasas que son hidrolíticas (Ortiz, 2009). Se ha descrito que las enzimas que despolimerizan a la lignina lo hacen mediante procesos de óxido reducción catalizado por una familia de enzimas integrada por la Manganese peroxidasa, lignina peroxidasa y la lacasa (Martínez *et al.*, 2005). Por esa razón se determinó su capacidad oxido-reductora usando una placa con azul de metileno (ver Figura 4).

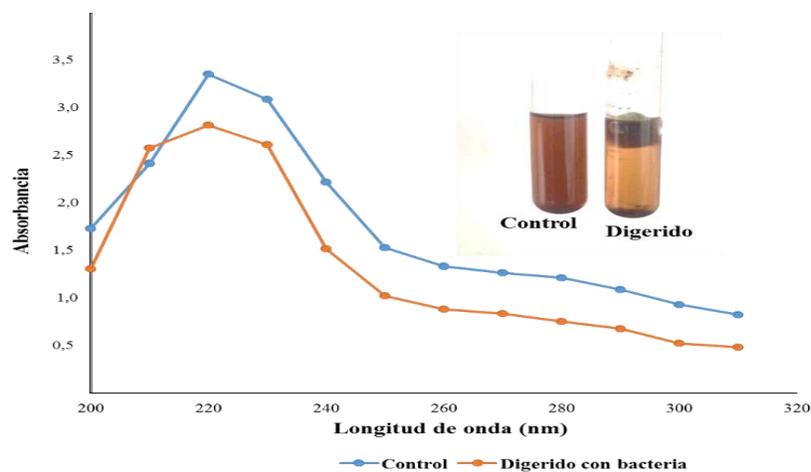


**Figura 4.** Placas de Petri con azul de metileno. A) corresponde a la placa al momento de inocular el aislado M4-L. B) corresponde a la misma placa después de 72h de incubación a 35°C

En la precitada figura, se evidencia que hubo crecimiento microbiano en la placa y que adicionalmente en las zonas cercanas ocurrió un cambio de coloración. Las ligninasas tienen el potencial de oxidar colorantes como el azul de metileno (Bandounas *et al.*, 2011), lo que confirma su presencia. En este sentido Ferreira-Leitao *et al.*, (2003) han descrito que la enzima lignina peroxidasa es capaz de oxidar el azul de

metileno, produciendo un cambio de color, tal como se observó en la placa. Esta actividad enzimática mostrada por el aislado, fue reportada para una cepa de un actinomiceto (*Streptomyces viridosporus*), en una investigación de Ramachandra *et al.*, (1988).

La última prueba a la que se sometió el aislado fue a la capacidad para degradar el licor de lignina. El resultado se muestra en la Figura 5.



**Figura 5.** Crecimiento de la bacteria con actividad lignocelulolítica M4-L, en medio Czapeck (suplementado con glucosa al 1% y licor de lignina 0,20%), después de 7 días de cultivo a 37°C/150 RPM.

En lo que respecta a la prueba de crecimiento en licor de lignina, se observó una disminución en la coloración del tubo. Esa reducción en la coloración del sistema cultivado con la bacteria (Figura 5), pudiese estar asociada a la acción de enzimas de la familia de las lacasas, que son un tipo de polifenol-oxidasas, que tienen como característica su poca especificidad y reaccionan con diferentes sustratos naturales como fenoles, polifenoles, anilinas, aril-diaminas, fenoles metoxi-sustituidos, hidroxí-indoles, benzenotioles, entre otros (Kunamneni *et al.*, 2008).

El potencial catalítico encontrado en estas dos cepas puede ser de relevancia biotecnológica, debido a que las enzimas que generan ambos microorganismos, poseen valor comercial por las diferentes aplicaciones industriales en la que pueden ser incorporadas.

#### **4. Conclusión**

Se lograron aislar dos cepas de *Streptomyces* de las muestras de suelos de la región, cada una con características morfológicas diferentes. Las bacterias demostraron tener actividad celulolítica y actividad enzimática para modificar la lignina, este potencial confirmado de ambos microorganismos es de gran importancia biotecnológica para el país, debido a que la

lignificación es un problema que afecta a la ganadería local, reduciendo la calidad de los pastos autóctonos que se utilizan para la ganadería bovina.

#### **Agradecimientos**

Dra. Antonieta Taddei docente jubilada de la Universidad Simón Bolívar, experta en la identificación de *Streptomyces*, por toda su colaboración.

#### **Bibliografías**

- Al-Saadi, A., Hameed, N. M., y Jaralla, E. M. (2013). Isolation and identification of *Streptomyces* from different samples of soils. *Journal of Biology and Medical Sciences*, 1, 31-36. University of Babylon.
- Ayed, A., Kalai-Grami, L., Ben Slimene, I., Chaouachi, M., Mankai, H., Karkouch, I., ... et al. (2021). Antifungal activity of volatile organic compounds from *Streptomyces* sp. strain S97 against *Botrytis cinerea*. *Biocontrol Science and Technology*, 31(12), 1330-1348. <https://doi.org/10.1080/09583157.2021.1947982>.
- Bandounas L., Wierckx J., Winde J. y Ruijsenaars H. (2011). Isolation and characterization of novel bacterial strains exhibiting ligninolytic potential. *BMC Biotechnology*.

- 11(94). 1-11.  
<https://doi.org/10.1186/1472-6750-11-94>
- Batayyib, R. S., Al-Twaty, N. H., & El-Hamshary, O. I. (2023). Molecular characterization of the superior lignin peroxidase-producing *Streptomyces lavendulae* R-St-1 mutants and fusants. *Egyptian Pharmaceutical Journal*, 22(1), 111-122. [https://dx.doi.org/10.4103/epj.epj\\_141\\_22](https://dx.doi.org/10.4103/epj.epj_141_22).
- Brito-Cunha C., Rodríguez A., Jesuino R., Faria F. y Bataus L. (2015). Production of cellulases from a novel thermophilic *Streptomyces thermocerradoensis* I3 using agricultural waste residue as substrate. *Journal Agriculture Environmental Science*. 4(1): 90-99. <http://dx.doi.org/10.15640/jaes.v4n1a12>.
- Chellapandi P. y Himanshu M. (2008). Production of endoglucanase by the native strains of *Streptomyces* isolates in submerged fermentation. *Brazilian Journal Microbiology*. 39:122-127. <http://doi:10.1590/S1517-838220080001000026>.
- Danso, B., Ali, S. S., Xie, R., & Sun, J. (2022). Valorisation of wheat straw and bioethanol production by a novel xylanase-and cellulase-producing *Streptomyces* strain isolated from the wood-feeding termite, *Microcerotermes* species. *Fuel*, 310, 122333. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122333>.
- Ekundayo, F., Folorunsho, A., Ibisani, T., y Olabanji, O. (2022). Antifungal activity of chitinase produced by *Streptomyces* species isolated from grassland soils in Futa Area, Akure. *Bulletin of the National Research Centre*, 46(1), 95. <https://doi.org/10.1186/s42269-022-00782-4>
- Fatokun E., Nwodo U. y Okoh A. (2016). Classical optimization of cellulase and xylanase production by a marine *Streptomyces* species. *Applied Science*. 6 (286):1-14. <http://doi:10.3390/app6100286>.
- García J. 1988. Constituyentes fibrosos de pastas y papeles. Editorial Departamento de Ingeniería Textil y Papelera. España. 265-280.
- Gogotya, A., Nnolim, N. E., Digban, T., Okoh, A, y Nwodo, U. (2021). Characterization of a thermostable and solvent-tolerant laccase produced

- by *Streptomyces* sp. LAO. *Biotechnology Letters*, 43, 1429-1442.
- Kazi, Z., Hungund, B., Yaradoddi, J., Banapurmath, N., Yusuf, A., Kishore, K. et al. (2022). Production, characterization, and antimicrobial activity of pigment from *Streptomyces* species. *Journal of Nanomaterials*, 2022(1), 3962301. <https://doi.org/10.1155/2022/3962301>.
- Kluepfel D., Mondou S. y Morosoli R. (1986). Characterization of cellulase and xylanase activities of *Streptomyces lividans*. *Applied Microbiology Biotechnology*. 24(1):230-234. Recuperado a partir de <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00261542>.
- Komaki, H. (2023). Recent progress of reclassification of the genus *Streptomyces*. *Microorganisms*, 11(4), 831. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11040831>
- Laura J. y Castellano P. (2005). Hongos filamentosos con actividad ligninolíticas aislados de *Calamagrotis nitidula* Pilg. *Revista Peruana de Biología*. 16(1): 125-128. Recuperado a partir de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpb/article/view/186/177>.
- Li Q., Chen Xi y Jiang C. (2016). Morphological Identification of Actinobacteria. PUBLISHED BY Intech. Capitulo 3. Pag. 75. Recuperado a partir de: <http://www.intechopen.com/books/actinobacteria-basics-and-biotechnological-applications>.
- Márquez M., Martínez M. y Franco M. (2002). Aislamiento de *Trichoderma* sp. Y actinomycetes a partir de suelos de clavel (*Dianthus caryophyllus*) y evaluación de su capacidad antagonicain vitro sobre *Fusarium oxysporum*. f. sp. Dianthi. *Agronomía Colombia*. 19 (1-2): 81-87. Recuperado a partir de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/21883>.
- Martínez A., Speranza M., Ruiz-Duenas F., Ferreira P., Camarero S., Guillen F., Martínez M., Gutiérrez A. y Del Rio J. (2005). Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. *International*

- Microbiology 8: 195-204.  
Recuperado a partir de:  
<http://www.im.microbios.org/0803/0803195.pdf>.
- Ojeda-Ojeda L., Noguera-Machado N, Pérez-Ybarra L. y Pizzani P. Statistical optimization of cellulases production from a *Streptomyces* sp. strain. 2022. Revista AGROLLANIA
- Ortiz M. (2009). Aproximaciones a la comprensión de la degradación de la lignina. Orinoquia 13(2):137-144. Recuperado a partir de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89613728007>.
- Prasad P., Singh T. y Bedi S. (2013). Characterization of the cellulolytic enzyme produced by *Streptomyces griseorubens* (Accession No. AB184139) isolated from Indian soil. Journal King Saudi University Science. 25:245-250. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.03.003>.
- Qin, X., Xin, Y., Su, X., Wang, X., Wang, Y., Zhang, J., et al. (2021). Efficient degradation of zearalenone by dye-decolorizing peroxidase from *Streptomyces thermocarboxydus* combining catalytic properties of manganese peroxidase and laccase. Toxins, 13(9), 602. <https://doi.org/10.3390/toxins13090602>.
- Revollo E., Serna O. y Hernández J. (2012). Caracterización de actinobacterias raras, degradadoras de lignocelulosa: Demostración de actividad lacasa en dos aislados de *Tsukamurella* sp. y *Cellulosimicrobium* sp. Revista Colombiana de Biotecnología. 14(2): 70-80. Recuperado a partir de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77625401008>.
- Sasikumar V., Priya V., Shankar C. y Sekar D. (2014). Isolation and preliminary screening of lignin degrading microbes. Journal Academy Indian Research (JAIR). 3(6) 291-294. Recuperado a partir de: <http://jairjp.com/NOVEMBER%202014/10%20SASIKUMAR.pdf>.
- Shepherdson, E., Baglio, C., y Elliot, M. (2023). *Streptomyces* behavior and competition in the natural environment. Current Opinion in Microbiology, 71, 102257. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2022.102257>
- Taddei A, Rodríguez M., Márquez-Vilchez E., y Castelli C. (2006). Isolation and identification of *Streptomyces* spp.

from Venezuelan soils:  
Morphological and biochemical  
studies. Microbiological