

Uso de bioestimulantes a base de microalgas en planes de manejo orgánico de papa (*Solanum tuberosum L.*)

Alessandra Le Roy-Cáceres

Estudiante Bachillerato en Biotecnología
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ a.leroy.1@estudiantec.cr

Francinie Murillo-Vega

Escuela de Biología
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ frmurillo@itcr.ac.cr

Fabián Villalta-Romero

Escuela de Biología
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ fwillalta@itcr.ac.cr

Pamela Jiménez-Montiel

Ingeniera en Biotecnología
Consultor Particular
✉ pamebio3340@gmail.com

Mattias Aguilera-Pogue

Estudiante Bachillerato en Biotecnología
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ m.aguilera.1@estudiantec.cr

Resumen

Las papas son un cultivo estratégico por su productividad y valor alimentario. En Costa Rica se cultivan principalmente en Cartago en los cantones de Oreamuno, Alvarado y Turrialba, y en menor medida en Zarcero de Alajuela mediante técnicas de manejo convencional que ha llevado a un uso excesivo de agroquímicos. Ante esto, el uso de bioestimulantes biológicos se presenta como una alternativa más sostenible. El Laboratorio de Microalgas ha desarrollado una línea de investigación y transferencia de tecnología en este tema y en colaboración con el INA e INTA, desarrolló un proyecto de extensión que consistió en la implementación de bioestimulantes elaborados con microalgas en el manejo orgánico del cultivo de papa, evaluando variables como la altura de las plantas y la producción de semillas en un sistema de maceteras. Los resultados indicaron una adecuada asimilación del bioestimulante, con una tendencia a mejorar la producción sin afectar negativamente el desarrollo de la planta. Además, el proyecto permitió fortalecer la colaboración con agricultores orgánicos y generar transferencia de un plan de manejo con los bioestimulantes microalgaes y la semilla de papa orgánica producida a partir de los experimentos realizados en condiciones controladas en el TEC a las fincas participantes, marcando un paso hacia prácticas agrícolas más limpias.

Palabras clave: Agricultura orgánica; microalgas; papas; sostenibilidad

Abstract

Potatoes are a strategic crop due to their productivity and nutritional value. In Costa Rica, they are primarily cultivated in Cartago, in the cantons of Oreamuno, Alvarado and Turrialba; and to a lesser extent, in Zarcero, Alajuela. However, conventional management practices have led to the excessive use of agrochemicals. In response, the application of biological biopesticides has emerged as a more sustainable alternative. The Microalgae Laboratory has developed a research and technology transfer line on this topic and, in collaboration with INA and INTA, initiated an outreach project that involved implementing biopesticides produced from microalgae in the organic management of potato crops. This project evaluated variables such as plant height and seed production within a potted system. The results indicated adequate assimilation of the biopesticide, showing a tendency to enhance production without negatively affecting plant development. Additionally, the project fostered stronger collaboration with organic farmers and facilitated the transfer of a management plan, which integrated microalgae-based biopesticides and organic potato seed produced from controlled experiments at TEC, to the participating farms, representing a significant step toward cleaner agricultural practices.

Keywords: Organic agriculture; microalgae; potatoes; sustainability

Introducción

La papa es un cultivo fundamental en la dieta y economía de muchos países, incluidos los de América Latina. En Costa Rica, el 80% del cultivo se concentra en Cartago, seguido por Zarcero, en Alajuela. Estas regiones presentan las condiciones climáticas ideales para la producción de papa, razón por la cual muchas familias dependen de esta actividad para su sustento. Las zonas altas y la época lluviosa, que comprende los meses de mayo a octubre, ofrecen condiciones ideales para el desarrollo del cultivo debido a la mayor disponibilidad de agua, la humedad relativa adecuada y temperaturas frescas. Las lluvias moderadas favorecen la formación de tubérculos, mientras que las temperaturas suaves (entre 14 y 20 °C) ayudan a prevenir el estrés térmico y reducen la incidencia de enfermedades como el tizón tardío. No obstante, el cultivo intensivo ha implicado históricamente un alto uso de agroquímicos, especialmente por la susceptibilidad de la papa a plagas y enfermedades, y por la siembra en época seca que exige mayores insumos.

Debido al gran impacto ambiental del uso de fertilizantes y pesticidas, ha surgido como alternativa la agricultura orgánica: un sistema de producción que utiliza prácticas que protegen el medio ambiente y la salud humana, mediante el cultivo de productos libres de pesticidas sintéticos y fertilizantes químicos [1]. Para reemplazar los agroquímicos, dentro de los planes de manejo de papa orgánicos se utiliza el compost y organismos vivos depredadores para el control biológico de plagas y enfermedades.

El rendimiento de los cultivos orgánicos puede ser comparable al de los convencionales únicamente si los agricultores le dedican mucho esfuerzo [2], con planes de manejo adecuados, sin embargo, el rendimiento suele ser ligeramente inferior durante la implementación de prácticas sostenibles, debido al gran enfoque en la conservación del suelo [3]. Una vez que el suelo se enriquece con materia orgánica los rendimientos tienden a estabilizarse [4]. Por ende, la agricultura orgánica requiere de productos que logren aumentar el rendimiento del cultivo y a la vez preserven el entorno natural, como lo son los bioestimulantes. Un bioestimulante de microalgas promueve el crecimiento de la planta y la elongación de raíces, mejora la absorción y disponibilidad de nutrientes y aumenta la resistencia al estrés abiotílico [5, 6].

El Laboratorio de Microalgas ha desarrollado investigación básica del uso de microalga como insumo agrícola [7,8], y desde el año 2017 gran parte del trabajo realizado es la comprensión del efecto de las microalgas activas en el suelo y en la planta. Así como el desarrollo de nuevos productos y la transferencia de esta información para educar a los agricultores en el uso de las tecnologías de bioestimulación con microalgas que se desarrollan a nivel internacional.

De esta forma, se gestó el primer proyecto de extensión en la línea agrícola del Laboratorio de Microalgas "Implementación de un plan de manejo con bioestimulantes de microalgas para la producción de

hortalizas" y parte del proyecto se centró en el desarrollo de un plan de manejo orgánico de papa que implementó un bioestimulante a base de microalgas, con el fin de mejorar la producción agrícola de forma amigable con el ambiente y así poder divulgar el conocimiento a los productores orgánicos de la provincia de Cartago, a través de la Asociación de productores orgánicos "Las Brumas". Durante la investigación se buscó determinar el momento idóneo de aplicación del bioestimulante de microalgas, evaluar los planes de manejo de cultivo de papa de la Asociación las Brumas y la marca FERBA S.A, y evaluar el rendimiento del cultivo luego de la aplicación del bioestimulante de microalgas. Además, se contó con el apoyo del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) en el diseño del plan de manejo y el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) quién suministró la semilla para los experimentos.

Metodología

La investigación se realizó en el laboratorio y campo de microalgas del Centro de Investigación en Biotecnología del TEC, Cartago. Se trabajó con dos planes de manejo existentes: uno diseñado por la empresa FERBA Internacional y otro por el INA, transferido a productores de la Asociación Las Brumas.

Se sembró semilla pre básica de papa en 60 macetas con sustrato orgánico, ubicadas en una cuadrícula aleatoria de 5 filas x 12 columnas con un sistema de riego por goteo con una frecuencia de riego de dos veces por semana. Se emplearon dos variedades: *Palmira* (ensayo preliminar) y *Serrano* (ensayo final). A partir de los resultados preliminares, se ajustó la dosis de bioinsumos y el momento de aplicación del bioestimulante (Figura 1).

Se aplicaron cuatro tratamientos, cada uno con tres repeticiones:

1. Plan FERBA original (control), 2. Plan Las Brumas original (control), 3. Plan FERBA con bioestimulante de microalgas y 4. Plan Las Brumas con adición del bioestimulante

Para los dos ensayos, la primera aplicación del bioestimulante se realizó en la primera semana. Para el ensayo 1 la segunda aplicación se realizó en la semana 10 (durante la floración) y para el ensayo 2 en la semana 8 (una vez finalizada la floración).

FERBA												
Palmira	Semana 1	Semana 2	Semana 3 y 4	Semana 5 y 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12 y 13	Semana 14	
Serrano	Semana 1		Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	
Fertisul Zinc	Siembra	Emergencia		Tuberización			Floración			Maduración	Cosecha	
Progress Micro												
Stimples (litros)												
Protifert K (litros)												
Protifert Mg (litros)												
Protifert Boro (litros)												
Naturalca (litros)												
Protifos K (litros)												
Naturam 5 (litros)												
Las Brumas												
Palmira	Semana 0	Semana 1 y 2	Semana 3, 4 y 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8 y 9	Semana 10	Semana 11 y 12	Semana 13	Semana 14		
Serrano	Semana 0	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Cosecha
Carbonato de calcio		Siembra y Emergencia		Tuberización		Floración						
Compost												
Trichoderma												
Lactobacillus + Roca fosforica												
Chile + Ajo												
Biofermento (N,P,K, Mg,Zn)												
Apazote												
Bocashi												
Hidroxido de Ca+Mg												
MS												
Abono de frutas (K,B)												

Figura 1. Cronograma de aplicación de insumos según semanas y etapas de desarrollo de la papa para ambas variedades y planes de manejo. Fuente: propia

Las variables medidas incluyeron altura de plantas, rendimiento (peso y número de tubérculos), calidad (tamaño y peso promedio), y pH del suelo (Figura 2). Se aplicaron análisis estadísticos (ANOVA y Kruskal-Wallis) para evaluar diferencias significativas.

Finalmente, se organizó un taller con productores de la Asociación Las Brumas, para divulgar resultados y entregar semilla orgánica producida en el proyecto.



Figura 2. Izquierda: El investigador del CIB, Dr. Fabián Villalta, realizando las mediciones de los tubérculos de papa. Derecha: La Ingeniera en Biotecnología, Pamela Jiménez realizando cosecha de las papas del sistema experimental en maceteras, en ese entonces durante el desarrollo de TFG. Fuente: propia

Resultados

Para el primer ensayo, realizado con la variedad de papa *Palmira*, el pH del suelo fue de 5,7 y para el segundo ensayo, con papa *Serrano*, fue de 6,3, por lo que en ambos casos el pH se mantuvo dentro del rango óptimo (entre 5,5 y 7), lo cual favorece la disponibilidad de los nutrientes esenciales para el desarrollo de la papa.

En relación con la altura de las plantas, en ambos ensayos el análisis estadístico no determinó diferencias significativas en el crecimiento del cultivo entre los cuatro tratamientos. Esto indica que el bioestimulante no genera un impacto negativo sobre el crecimiento vertical, lo cual es un resultado deseado, ya que su aplicación no desvió recursos destinados al desarrollo de los tubérculos. Esta observación sugiere que los momentos ideales para aplicar el bioestimulante son durante la siembra y al final de la floración, ya que son etapas en las que el producto podría incidir positivamente en la fisiología de la planta sin afectar su arquitectura vegetativa (Figura3).

Con respecto al rendimiento, los resultados de los ensayos 1 y 2 muestran variaciones en la suma total y en el promedio del peso de los tubérculos, según los diferentes tratamientos aplicados. La suma total de peso de los tratamientos con el bioestimulante de microalgas tendió a ser mayor, lo cual se traduce en una mayor producción de semillas de papa orgánica. Además, como tendencia general, los tratamientos que incluyeron el bioestimulante de microalgas produjeron tubérculos con un mayor peso promedio, por lo que se evidencia una mejora en el crecimiento individual.

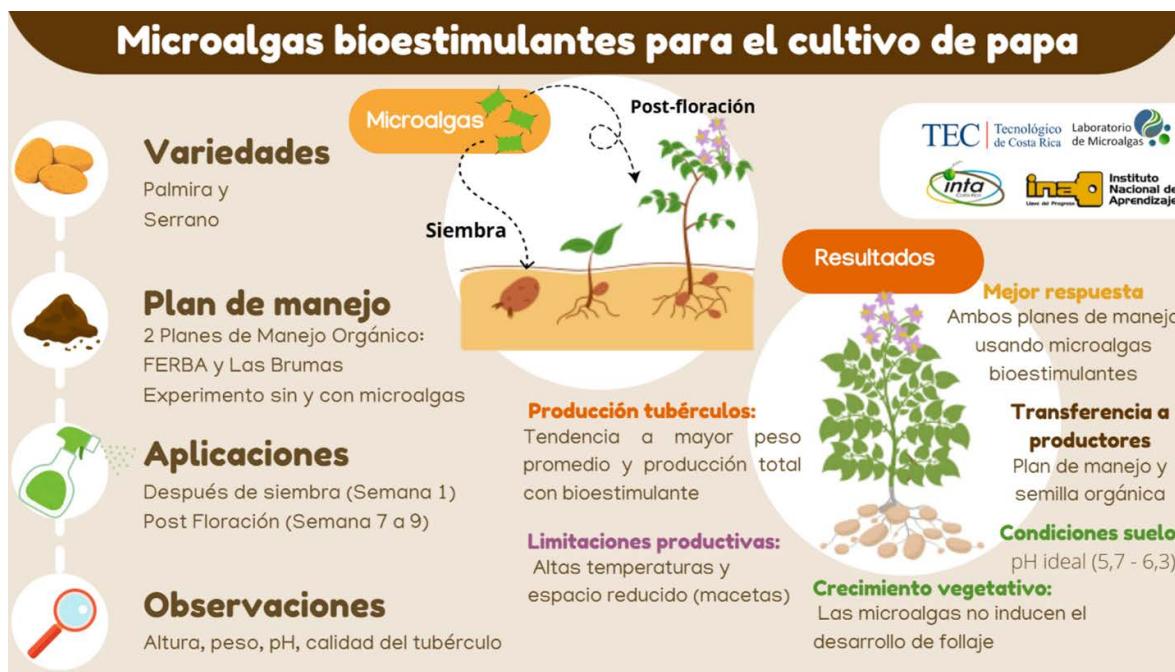


Figura 3. Resumen gráfico del proyecto y sus principales resultados. Fuente: propia

Referente al primer ensayo, el plan de manejo FERBA mostró mayor tendencias en rendimiento de peso promedio del tubérculo, respecto al plan usado por la Asociación Las Brumas (propuesto por el INA), lo que condujo a realizar ajustes a este último plan de manejo para lograr una mejor respuesta al bioestimulante, esta mejora se observó en el segundo experimento, siendo muy similares los resultados de rendimiento obtenido en ambos planes de manejo cuando se aplican las microalgas. De esta forma, se demuestra un ligero impacto positivo del bioestimulante en la producción y calidad de la semilla de papa. No obstante, la prueba estadística ANOVA no mostró diferencias significativas, por lo cual las mejoras observadas se interpretan como una tendencia positiva más que como un efecto estadísticamente comprobado (Figura 4 y 5). Estos resultados respaldan la necesidad de continuar la investigación en condiciones más representativas del cultivo de papa en el país, como lo serían parcelas de producción a campo abierto.

La ausencia de diferencias significativas al realizar las pruebas estadísticas ANOVA y Kruskal-Wallis sugiere que otros factores importantes en el manejo del cultivo pueden estar influyendo sobre el rendimiento. En el contexto de este proyecto, estos factores podrían ser la altitud, la temperatura y la limitación espacial que presentan las macetas utilizadas. La altitud y la temperatura son variables críticas para el crecimiento y desarrollo de las plantas; durante la realización del proyecto, la región de Cartago experimentó temperaturas elevadas, lo que pudo haber impactado los resultados, puesto que la papa prospera en climas frescos. A su vez, las macetas utilizadas como sistema experimental pudieron haber restringido el desarrollo radicular, limitando la absorción de agua y nutrientes. Por estas razones, se sugiere realizar una réplica del experimento en parcelas abiertas y en una zona con temperaturas más bajas.

Es importante mencionar que se han realizado estudios similares con bioestimulantes de microalgas, en los cuales también se han observado mejoras en la cantidad y peso de los tubérculos producidos. Un ejemplo notable es el estudio realizado por Castro et al. (2023), el cual reportó un aumento del 20,77% en la cantidad de tubérculos en comparación con el tratamiento control [9].

Finalmente, el aumento en la dosis de bioinsumos y modificación del momento de aplicación del bioestimulante para el segundo ensayo (Figura 5), resultaron provechosos para la nutrición de las plantas. Cabe recalcar que los bioestimulantes tienen un efecto positivo en la salud vegetal, lo cual

ha sido demostrado en investigaciones semejantes, donde las mediciones de clorofila realizadas en grupos tratados con bioestimulante presentaron niveles altos de este pigmento. Estos resultados indican plantas sanas, sin deficiencias de nitrógeno, lo cual es un indicio indirecto del buen estado fisiológico general de los cultivos [5, 6].

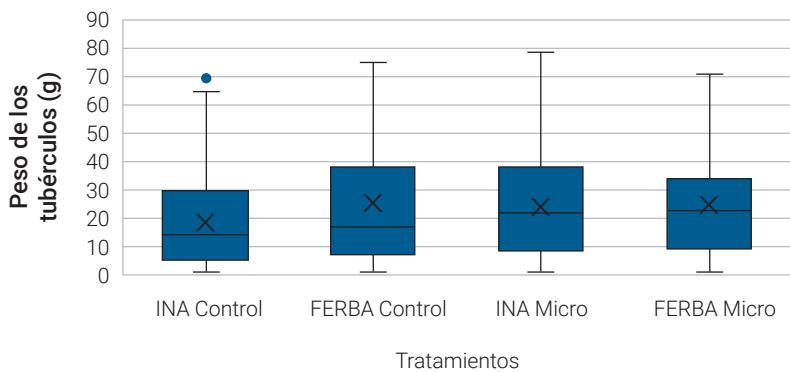


Figura 4. Peso de tubérculos de papa *Palmita* en diferentes tratamientos. Fuente: propia

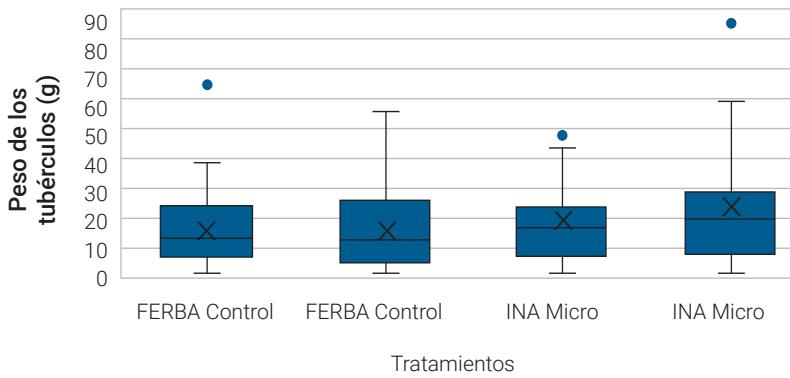


Figura 5. Análisis del peso de tubérculos de papa *Serrano* en diferentes tratamientos. Fuente: propia

Tras la impartición del primer taller para la educación de los productores orgánicos, se obtuvo una adecuada recepción de la información; se contó con un 50% de participación femenina, lo cual impulsa una difusión equitativa del conocimiento a nivel de género. Con los productores se compartió la semilla de papa orgánica generada tras los experimentos (Figura 6), la cual fue bien recibida, dado que en la provincia de Cartago existe una baja disponibilidad de semilla de papa orgánica.



Figura 6. Taller de Divulgación sobre Bioestimulación con Microalgas, dirigido a los agricultores orgánicos de la Asociación de Agricultores Orgánicos "Las Brumas". A) Charla magistral por parte del Dr. Fabian Villalta, coordinador del proyecto; B) Agricultores participantes recibiendo la semilla de papa transferida desde el proyecto. Fuente: propia

Conclusiones

El uso de bioestimulantes de microalgas en el cultivo de papa mostró tendencia al aumento en el rendimiento y calidad de las semillas, particularmente en el plan de manejo de FERBA, lo que indica que el uso de bioestimulante de microalgas puede llegar a mejorar la producción en los cultivos de papa y reemplazar otros bioestimulantes a base de algas que a menudo son importados a Costa Rica. Aunque no se observaron diferencias significativas a nivel estadístico, sí hubo tendencias positivas que justifican una segunda fase en parcelas reales y con condiciones climáticas adecuadas, para conocer la efectividad del bioestimulante en situaciones más representativas a las zonas agrícolas.

La colaboración activa con asociaciones de agricultores y empresas como FERBA S.A. fue clave para el desarrollo del proyecto, permitiendo validar el potencial del Laboratorio de Microalgas como un aliado estratégico en la transición hacia una agricultura más sostenible, local e inclusiva.

Bibliografía

- [1] FAO, "Agricultura orgánica, ambiente y seguridad alimentaria," p. 280, 2003, Accessed: Nov. 14, 2024. [Online]. Available: <http://www.fao.org/docrep/005/Y4137S/y4137s03.htm#bm03>
- [2] C. Kremen, "Agricultura Orgánica vs Agricultura Convencional: Comparación del rendimiento productivo - Revista InfoAgro México." Accessed: Nov. 14, 2024. [Online]. Available: <https://mexico.infoagro.com/agricultura-organica-vs-agricultura-convencional-comparacion-del-rendimiento-productivo/>
- [3] S. Marín, F. Bertsch, and L. Castro, "Efecto del manejo orgánico y convencional sobre propiedades bioquímicas de un andisol y el cultivo de papa en invernadero," *Agronomía Costarricense*, vol. 42, no. 2, pp. 27–46, 2017.
- [4] J. Pucci, "Los rendimientos de la agricultura orgánica se quedan cortos - AgriBusiness Global." Accessed: Nov. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.agribusinessglobal.com/es/mercados/los-rendimientos-de-la-agricultura-organica-se-quedan-cortos/>
- [5] S. Araujo-Abad and Y. Collahuazo-Reinoso, "Producción de Biofertilizantes a Partir de Microalgas," *CEDAMAZ*, vol. 9, no. 2, pp. 81–87, Dec. 2019, Accessed: Nov. 14, 2024. [Online]. Available: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/648>
- [6] A. M. Miranda, F. Hernandez-Tenorio, F. Villalta, G. J. Vargas, and A. A. Sáez, "Advances in the Development of Biofertilizers and Biostimulants from Microalgae," *Biology*, vol. 13, no. 3, pp. 1–19, 2024, doi: 10.3390/biology13030199.
- [7] F. Villalta-Romero, F. Murillo-Vega, B. Martínez-Gutiérrez-, J. Valverde-Cerdas, A. Sánchez-Kopper, and M. Guerrero-Barrantes, "Microalgal biotechnology in Costa Rica : Business opportunities to the national productive sector Biotecnología microalgal en Costa Rica : Oportunidades de negocio para el sector productivo nacional," *Tecnología en Marcha*, vol. 32, pp. 85–93, 2019.
- [8] F. Murillo-Vega, M. Faith-Vargas, M. Chicas-Romero, K. Meneses-Montero, and F. Villalta-Romero, "Advances in microalgal biotechnology in Costa Rica: contributions from the Costa Rica Institute of Technology," *Revista Tecnología en Marcha*, Nov. 2024, doi: 10.18845/tm.v37i9.7609.
- [9] M. Castro Tarín, Y. K. Padilla-Valle, G. Ulloa-Mercado, M. A. Gutiérrez-Coronado, A. Verdugo-Fuentes, A. Rentiera-Meixia, P. Gortarez-Moroyoqui, and M. Díaz-Tenorio, "Respuesta agronómica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) a la aplicación de un bioestimulante a base de Chlorella sorokiniana," [Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), México]. Póster presentado en el XII Congreso Internacional de SOFILAC, San José, Costa Rica, 18–22 de noviembre de 2024.

Sobre los autores:

Pamela Jiménez-Montiel

Ingeniera en Biotecnología, graduada del Instituto tecnológico de Costa Rica, actualmente labora como consultor particular.

Alessandra Le Roy-Cáceres

Estudiante del Bachillerato en Biotecnología del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Mattias Aguilera-Pogue

Estudiante del Bachillerato en Biotecnología del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.

Francinie Murillo-Vega

Ingeniera en Biotecnología, profesora e investigadora, labora par la Escuela de Biología del Instituto Tecnológico de Costa Rica. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2751-8390>

Fabián Villalta-Romero

Doctor en Química, profesor e investigador de la Escuela de Biología del Instituto Tecnológico de Costa Rica. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7484-8125>