ASOCIACIÓN DE ECONOMISTAS DE PUERTO RICO

BOLETÍN

Economía, análisis y política pública

NÚMERO 2 · ABRIL 2026

EN ESTE NÚMERO

01 **Food Security and Agricultural Research Data Center**
Dr. Julio César Hernández y Dr. Héctor Tavárez

02 **La certificación orgánica como oportunidad económica y herramienta para la seguridad alimentaria en Puerto Rico**
Andrew Hemann-Holland

03 **El cultivo de ñame en Puerto Rico: ciencia aplicada que impulsa la productividad, la seguridad alimentaria y el desarrollo económico**
Dra. Merari Feliciano Rivera y Prof. Mildred Cortés

04 **Impacto de la polinización cruzada en el desarrollo en frutos de pitahaya (Selenicereus spp.)**
Elvin A. Román Aponte

05 **Una perspectiva económica sobre el uso de drones en la agricultura**
Dr. Héctor Tavárez

06 **Reconociendo el capital natural de leguminosas nativas como motor de desarrollo económico en la ganadería de Puerto Rico**
Agrónomo Francisco Rivera, MSA, MBA

07 **Diseño e implementación de un currículo educativo en agricultura, salud ocupacional y cambio climático para profesionales de la salud**
Luis Alexis Rodríguez Cruz y Marysel Pagán Santana

Publicación oficial de la Asociación de Economistas de Puerto Rico

www.economistaspr.com · correoaepr@gmail.com

LA ASOCIACIÓN

Créditos y directivos

La Asociación de Economistas de Puerto Rico (AEPR) es una organización sin fines de lucro fundada en 1983 en San Juan, PR. La AEPR tiene el objetivo de fomentar la investigación libre y rigurosa de los asuntos teóricos y empíricos de la ciencia económica, y difundir el conocimiento económico por medio de publicaciones, seminarios, foros, conferencias y otros medios de comunicación social. Además, promueve la participación de sus miembros en la discusión de problemas e instrumentos de análisis para la búsqueda de soluciones a los problemas.

JUNTA EDITORA

Presidente de la Junta Editora	**Dr. Luis Rafael Rodríguez-Rodríguez** Catedrático y Director, Departamento de Ciencias Sociales, Universidad de Puerto Rico en Humacao
Presidente 2025-2026	**Dr. Héctor Tavárez-Vargas** Catedrático, Departamento de Economía Agrícola y Sociología Rural, Universidad de Puerto Rico en Mayagüez

JUNTA DIRECTIVA DE LA ASOCIACIÓN

Presidente	*Héctor Tavárez Vargas*	**Presidente Electo**	*Julio C. Hernández Correa*
Secretario	*Rafael Mejía García*	**Tesorera**	*Joely Román Oquendo*
Vocal	*Gabriel Padró Rosario*	**Vocal**	*Emilie Viqueira Keller*
Comité de Mujeres Economistas	*Indira Luciano Montalvo*	**Comité de Economía Social y Solidaria**	*Ricardo Fuentes Ramírez*
Representante estudiantil subgraduado	*Alexi Wu He*	**Representante estudiantil graduado**	*Justin Román García*
Pasada Presidenta	*Alba Brugueras Fabre*		

Boletín de la Asociación de Economistas de Puerto Rico · Número 2 · abril 2026

Los artículos reflejan las opiniones de sus autores y no necesariamente las de la Asociación de Economistas de Puerto Rico ni las de su Junta Editora. Se autoriza la reproducción parcial con mención de la fuente.

Cómo citar: Apellido, N. (2026). Título del artículo. Boletín de la Asociación de Economistas de Puerto Rico, Núm. 2, páginas.

GUÍA DE LECTURA

Contenido

MENSAJES

Mensaje del presidente de la Asociación 4
Héctor Tavárez-Vargas, PhD

Mensaje del presidente de la Junta Editora 5
Luis Rafael Rodríguez-Rodríguez, PhD

ARTÍCULOS

01 **Food Security and Agricultural Research Data Center** 6
Dr. Julio César Hernández y Dr. Héctor Tavárez

02 **La certificación orgánica como oportunidad económica y herramienta para la seguridad alimentaria en Puerto Rico** 11
Andrew Hemann-Holland

03 **El cultivo de ñame en Puerto Rico: ciencia aplicada que impulsa la productividad, la seguridad alimentaria y el desarrollo económico** 15
Dra. Merari Feliciano Rivera y Prof. Mildred Cortés

04 **Impacto de la polinización cruzada en el desarrollo en frutos de pitahaya (Selenicereus spp.)** 19
Elvin A. Román Aponte

05 **Una perspectiva económica sobre el uso de drones en la agricultura** 24
Dr. Héctor Tavárez

06 **Reconociendo el capital natural de leguminosas nativas como motor de desarrollo económico en la ganadería de Puerto Rico** 28
Agrónomo Francisco Rivera, MSA, MBA

07 **Diseño e implementación de un currículo educativo en agricultura, salud ocupacional y cambio climático para profesionales de la salud** 32
Luis Alexis Rodríguez Cruz y Marysel Pagán Santana

COMUNIDAD

Sobre los autores y convocatoria 36
Biografías y normas para autores

EN CIFRAS

+85%
de los alimentos que consume Puerto Rico se importa (artículo 06).

18–20%
del consumo de ñame se cubre con producción local (artículo 03).

33.2%
de los adultos vivía en inseguridad alimentaria en 2015 (artículo 01).

Héctor Tavárez Vargas, PhD
Presidente
Asociación de Economistas de Puerto Rico

MENSAJE DEL PRESIDENTE DE LA ASOCIACIÓN

Agricultura, seguridad alimentaria y desarrollo económico en Puerto Rico

Como presidente de la Asociación de Economistas de Puerto Rico, me complace presentar este boletín especial dedicado al papel de la agricultura en la seguridad alimentaria y el desarrollo económico de Puerto Rico. En un contexto marcado por una alta dependencia de alimentos importados, cambios en los mercados internacionales, vulnerabilidad ante eventos climáticos y transformaciones demográficas y productivas, resulta indispensable ampliar la discusión para aportar al futuro del sistema agroalimentario del país.

Una de las principales fortalezas de esta edición es su carácter interdisciplinario. La mayoría de los ensayos incluidos fueron preparados por profesionales que no necesariamente provienen de la economía, pero que aceptaron el reto de contribuir al análisis desde sus respectivas áreas de conocimiento y experiencia. Esta diversidad de perspectivas enriquece la discusión y reconoce que los retos de la agricultura, la seguridad alimentaria y el desarrollo económico no pueden abordarse desde una sola disciplina. La producción agrícola se relaciona con la disponibilidad de insumos, el ambiente, la planificación, la tecnología, la educación, la política pública, la conservación de recursos naturales y el bienestar de nuestras comunidades.

Este boletín forma parte, además, de las iniciativas que he impulsado durante mi presidencia para dar mayor visibilidad a la economía agrícola y la economía ambiental dentro de la discusión económica de Puerto Rico. Ambas áreas ofrecen herramientas esenciales para evaluar el uso eficiente de nuestros recursos, comprender los incentivos que enfrentan productores y consumidores, valorar los beneficios de nuestros ecosistemas y diseñar políticas que contribuyan a una economía más resiliente y sostenible.

Agradezco profundamente a cada uno de los colaboradores que aceptó nuestra invitación. Espero que sus reflexiones estimulen nuevas conversaciones, investigaciones y colaboraciones, y que este boletín contribuya a posicionar la agricultura no como un sector aislado, sino como un componente estratégico del desarrollo económico, ambiental y social de Puerto Rico.

Héctor Tavárez Vargas, PhD

Luis Rafael Rodríguez, PhD
Presidente Junta Editora
Asociación de Economistas de Puerto Rico

MENSAJE DEL PRESIDENTE DE LA JUNTA EDITORA

Una publicación para pensar y decidir

Estimados lectores:

Este boletín se concibe como un espacio de divulgación de calidad: textos claros y bien documentados, escritos por economistas y profesionales afines, que traducen resultados de investigación en ideas útiles para el sector público, el sector privado y la academia.

Para este segundo número, la Junta Editora estableció tres criterios: relevancia para Puerto Rico, solidez analítica y claridad en la comunicación. Cada colaboración se presenta con su resumen, sus referencias y los datos de sus autores. Como guía de lectura:

01 Una plataforma de datos para medir la seguridad alimentaria en la Isla.

02 Por qué la certificación orgánica sigue siendo una oportunidad económica subutilizada en la Isla.

03 Cómo la biotecnología multiplica la semilla sana de ñame y qué significa para la economía.

04 Cómo la polinización cruzada puede aumentar el rendimiento comercial de la pitahaya.

05 La pregunta económica detrás de la tecnología: ¿son los drones económicamente viables en la agricultura?

06 Proteína local para una ganadería más competitiva.

07 Salud ocupacional y cambio climático: el papel de los centros de salud comunitaria junto a las comunidades agrícolas.

Los invitamos a proponer temas y colaboraciones para próximos números; las normas para autores aparecen en las páginas finales.

Con aprecio,

Luis Rafael Rodríguez-Rodríguez, PhD

ARTÍCULO 01 | SEGURIDAD ALIMENTARIA

Food Security and Agricultural Research Data Center

Dr. Julio César Hernández y Dr. Héctor Tavárez

Depto. de Economía Agrícola y Sociología Rural, Universidad de Puerto Rico en Mayagüez.

RESUMEN

Puerto Rico está excluido de las principales encuestas nacionales que miden la seguridad alimentaria, y la última encuesta local data de 2015. Este artículo presenta el Food Security and Agricultural Research Data Center, una plataforma digital que reúne datos sobre calorías, grasas, proteínas, colesterol, fibras, y otros nutrientes importados, así como datos primarios generados por investigadores e inseguridad alimentaria por barrio, para apoyar la investigación, la política pública y la toma de decisiones.

Puerto Rico está excluido de las encuestas National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES), del Centers for Disease Control and Prevention (CDC), y del Household Food Security Survey Module, desarrollado por el Economic Research Service (ERS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) e incorporado al Current Population Survey (CPS) del Bureau of Labor Statistics (BLS). Estos instrumentos constituyen las principales fuentes de información utilizadas en los Estados Unidos para medir la magnitud de la seguridad alimentaria. La seguridad alimentaria constituye uno de los pilares fundamentales del desarrollo económico sostenible. Según la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (Food and Agriculture Organization, 2008), existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen acceso físico y económico, en todo momento, a alimentos suficientes, seguros y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimentarias y llevar una vida activa y saludable. Esta definición demuestra que la seguridad alimentaria no depende únicamente de la disponibilidad de alimentos, sino también del poder adquisitivo de la población, de la estabilidad económica y de la capacidad institucional para responder ante crisis naturales o económicas.

En Puerto Rico, estos elementos se han visto afectados durante las últimas décadas por eventos tanto naturales como económicos, entre ellos la crisis fiscal, el huracán María, la pandemia del COVID-19 y el aumento en los costos de importación de alimentos. Por ejemplo, estudios como el de Rodríguez-Cruz et al (2022) y el Instituto para la Juventud (2018) encontraron que eventos atmosféricos como el huracán María aumentaron la inseguridad alimentaria en la isla. Sin embargo, debido a la ausencia de estadísticas oficiales recopiladas de forma periódica, se desconoce el efecto a largo plazo que estos eventos han tenido sobre la seguridad alimentaria de la población. Como consecuencia, el país posee una capacidad limitada para diseñar estrategias de respuesta y fortalecer su resiliencia ante fenómenos similares en el futuro.

El proyecto Food Security and Agricultural Research Data Center (Subvención Núm. 2022-70008-38350) representa una iniciativa estratégica para fortalecer la seguridad alimentaria y promover el desarrollo económico en Puerto Rico mediante la recopilación, el análisis y la divulgación de información relacionada con la producción agrícola, el acceso a alimentos y la nutrición. Financiado por el USDA-NIFA en 2022, el proyecto surge en un contexto de vulnerabilidad económica y alimentaria caracterizado por la crisis fiscal, la elevada dependencia de importaciones, el aumento en los precios de los alimentos y las limitaciones institucionales para generar estadísticas actualizadas sobre seguridad alimentaria en Puerto Rico.

La necesidad de esta iniciativa se evidencia en la escasez de información oficial disponible. Por ejemplo, la última encuesta sobre seguridad alimentaria realizada en Puerto Rico se llevó a cabo en 2015 mediante el Behavioral Risk Factor Surveillance System (BRFSS) del CDC, a solicitud

del Instituto de Estadísticas de Puerto Rico. Los resultados de dicha encuesta estimaron que aproximadamente el 33.2% de la población adulta experimentaba inseguridad alimentaria (Instituto de Estadísticas de Puerto Rico, 2019).

Ante esta limitación, la Universidad de Puerto Rico y diversas organizaciones privadas, han desarrollado iniciativas dirigidas a medir la inseguridad alimentaria en comunidades y grupos específicos de la Isla. Investigaciones realizadas por el Instituto para la Juventud (2018) y Rodríguez-Cruz (2022) identifican que las poblaciones residentes en áreas rurales, así como los niños y jóvenes, presentan una mayor probabilidad de experimentar inseguridad alimentaria. Otros estudios como los de Colón-Ramos et al (2019), Oladele et al (2022) y Xu et al (2023), han estudiado el efecto de la inseguridad alimentaria en la salud y la calidad de vida.

El costo de los alimentos en Puerto Rico también representa un factor que agrava esta situación. Según el Council for Community and Economic Research (C2ER, 2015 y 2025), entre 2015 y 2025 los precios de los alimentos en el área metropolitana de Puerto Rico se mantuvieron entre un 10% y un 20% por encima del promedio de las áreas metropolitanas de los Estados Unidos. A pesar de ello, la Encuesta sobre la Comunidad de Puerto Rico (2024) indica que el ingreso mediano de los hogares en la Isla equivale apenas al 34% del observado en los Estados Unidos continentales. Esta combinación de altos precios e ingresos relativamente bajos obliga a muchas familias a destinar una proporción considerable de sus ingresos a la adquisición de alimentos. El problema se intensifica debido a la elevada dependencia de importaciones alimentarias, lo que expone a Puerto Rico a fluctuaciones en los mercados internacionales, conflictos geopolíticos y aumentos en los costos de transporte y producción.

"Esta combinación de altos precios e ingresos relativamente bajos obliga a muchas familias a destinar una proporción considerable de sus ingresos a la adquisición de alimentos"

En este contexto, el Food Security and Agricultural Research Data Center constituye una herramienta para fortalecer la toma de decisiones, apoyar el desarrollo de política pública y ampliar la capacidad de investigación científica sobre seguridad alimentaria en Puerto Rico. Siguiendo como modelo el estudio de Hernández, et al (2017) este proyecto tiene como uno de sus principales objetivos desarrollar una plataforma digital con bases de datos y aplicaciones interactivas que permitan monitorear indicadores relacionados con la seguridad alimentaria, incluyendo la disponibilidad de calorías (Figura 1), carbohidratos, proteínas, hierro y grasas provenientes tanto de alimentos importados como de la producción local. Asimismo, una de las aplicaciones compara la contribución calórica de los alimentos importados con la de los alimentos producidos localmente (Figura 2). Otra aplicación presenta un mapa coroplético que estima la magnitud de la seguridad alimentaria por barrio en Puerto Rico (Figura 3). La disponibilidad de información geográfica y socioeconómica actualizada permitirá identificar áreas vulnerables, evaluar tendencias alimentarias y diseñar políticas públicas más efectivas para reducir la pobreza y la inseguridad alimentaria. De igual forma, fortalecerá la toma de decisiones tanto en el sector público como en el privado y servirá de apoyo a investigadores, planificadores y organizaciones comunitarias.

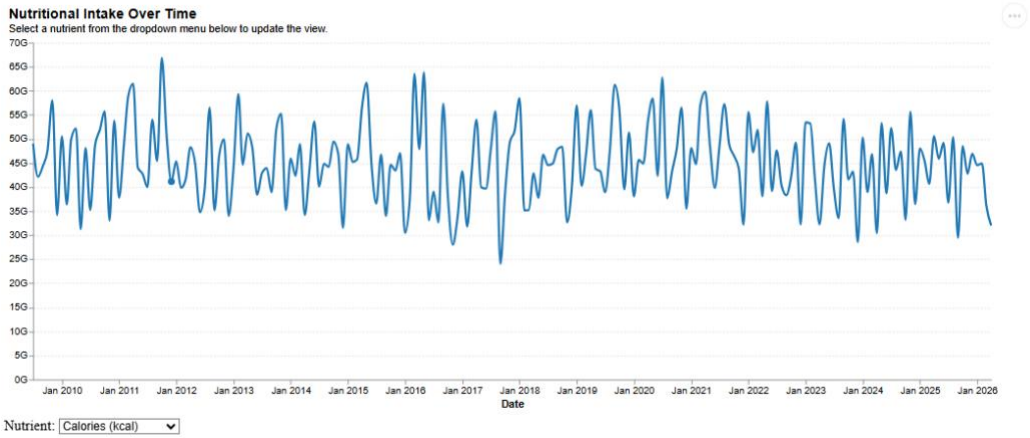

FIGURA 1 **Total de calorías importadas a Puerto Rico**
Puerto Rico, 2010 a 2026

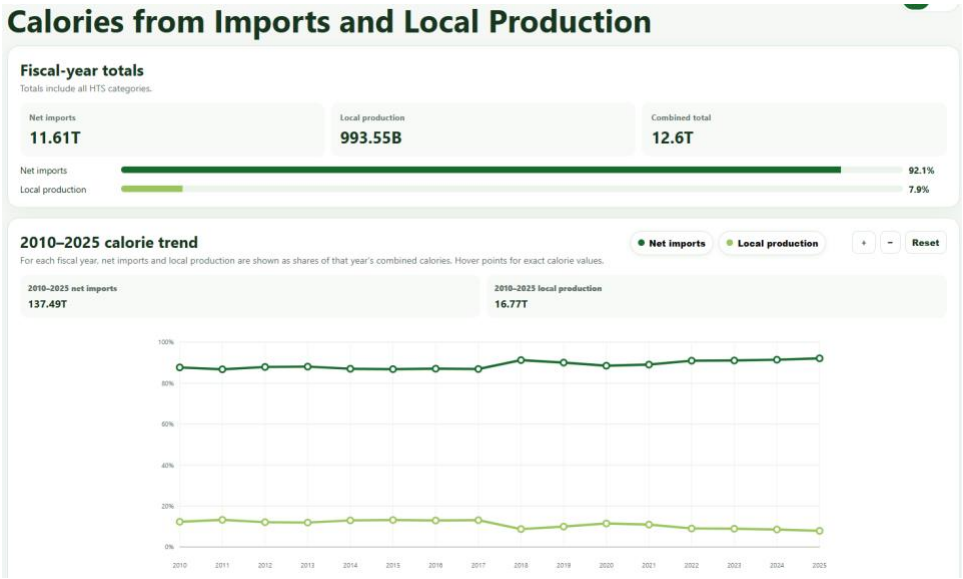

FIGURA 2 **Calorías importadas vs locales**
Puerto Rico, 2010 a 2025

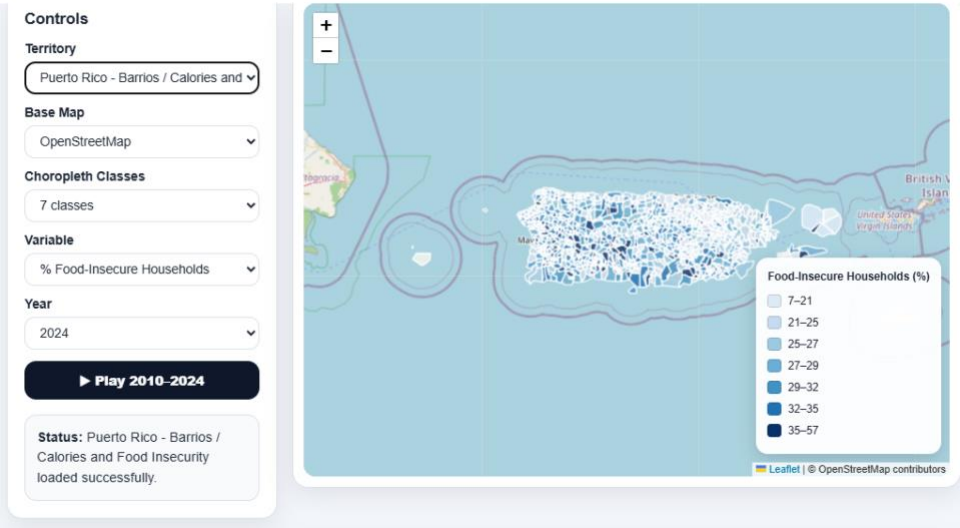

FIGURA 3 **Hogares en inseguridad alimentaria por barrios**
Puerto Rico, 2002 a 2026

Además, el proyecto fomenta el desarrollo del capital humano mediante la capacitación de estudiantes graduados e investigadores en el manejo y análisis de bases de datos agrícolas y alimentarias. Este componente reviste particular importancia para Puerto Rico, donde la emigración de profesionales y jóvenes altamente capacitados ha reducido significativamente la disponibilidad de capital humano especializado. La formación de estudiantes en análisis de datos, seguridad alimentaria y economía agrícola contribuye no solo al fortalecimiento académico de la Universidad de Puerto Rico, sino también al desarrollo de una fuerza laboral con mayores capacidades para enfrentar los retos económicos y alimentarios de la isla.

La iniciativa también tiene implicaciones importantes para la planificación agrícola y la sostenibilidad económica. Como parte de sus resultados, ha generado estudios que documentan patrones de inseguridad alimentaria, consumo calórico, distribución de establecimientos de alimentos e importaciones con base en su contenido nutricional en Puerto Rico. Esta información permite identificar posibles deficiencias nutricionales, la dependencia excesiva de determinados alimentos importados y las regiones con acceso limitado a establecimientos de alimentos. A largo plazo, estos datos servirán de apoyo para promover estrategias orientadas al fortalecimiento de la producción local, incentivar la agricultura sostenible y reducir la vulnerabilidad alimentaria del país.

Finalmente, el proyecto demuestra cómo la investigación académica puede contribuir de manera directa al bienestar social y al desarrollo económico. Más allá de generar publicaciones científicas y bases de datos, esta iniciativa procura desarrollar herramientas prácticas que faciliten la toma de decisiones y contribuyan a mejorar la calidad de vida de la población puertorriqueña. En un contexto caracterizado por la incertidumbre económica, el cambio climático y la elevada dependencia de alimentos importados, fortalecer la seguridad alimentaria debe constituir una prioridad estratégica para Puerto Rico. En este sentido, el Food Security and Agricultural Research Data Center representa un paso importante hacia la construcción de un sistema alimentario más resiliente, sostenible y equitativo, capaz de respaldar tanto el bienestar de la población como el desarrollo económico de la Isla.

Puede acceder al Food Security and Agricultural Research Data Center a través del siguiente enlace: https://www.uprm.edu/foodsecuritydatacenter/mapas

REFERENCIAS

Colón-Ramos, U., Roess, A. A., Robien, K., Marghella, P. D., Waldman, R. J., & Merrigan, K. A. (2019). Foods distributed during federal disaster relief response in Puerto Rico after Hurricane María. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. https://doi.org/10.1016/j.jand.2019.03.015

Council for Community and Economic Research (C2ER). (2015). Índice de costo de vida de Puerto Rico, T1 2015. Descargado de https://www.estadisticas.pr.gov/productos/indice-de-costo-de-vida

Council for Community and Economic Research (C2ER). (2025). Índice de costo de vida de Puerto Rico, T1 2025. Descargado de https://www.estadisticas.pr.gov/productos/indice-de-costo-de-vida

Food and Agriculture Organization (2008). An introduction to the basic concepts of food security. Descargado de https://www.fao.org/agrifood-economics/publications/detail/en/c/122386/

González Rivera, B. (2021). Historical background of food security at the global level and in Puerto Rico. In Economic report to the Governor and the Legislative Assembly 2021.

Hernández, J. C., Comas-Pagán, M., Jiménez, A., & Blas, S. (2017). The contribution of local production and food imports to the caloric demand of Puerto Rico. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico, 101(1), 121–141.

Instituto para la Juventud. (2018). The effects of Hurricane María on children in Puerto Rico.

Instituto de Estadísticas de Puerto Rico. (2019). Seguridad Alimentaria en Puerto Rico 2015. Descargado de [https://www.estadisticas.pr/en/media/3267

Oladele, C. R., Colón-Ramos, U., Galusha, D., Tran, E., Adams, O. P., Maharaj, R. G., Nazario, C. M., Nunez, M., Pérez-Escamilla, R., & Nunez-Smith, M. (2022). Perceptions of the local food environment and fruit and vegetable intake in the Eastern Caribbean. Preventive Medicine Reports. https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2022.101694

Rodríguez-Cruz, L. A., et al. (2022). Social-ecological interactions in a disaster context. Environmental Research Letters, 17, 044057.

Xu, W., López-Cepero, A., O'Neill, H. J., Plym, A., Austin, S. B., & Mattei, J. (2023). Food insecurity is associated with dysfunctional eating behaviors among adults in Puerto Rico. Journal of Nutrition Education and Behavior. https://doi.org/10.1016/j.jneb.2023.05.255

ARTÍCULO 02 | MERCADOS Y CERTIFICACIÓN

La certificación orgánica como oportunidad económica y herramienta para la seguridad alimentaria en Puerto Rico

Andrew Hemann-Holland

Estudiante de maestría, Depto. de Economía Agrícola y Sociología Rural, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez

RESUMEN

Este estudio analiza la certificación "USDA Organic" como alternativa de desarrollo económico para el sector agrícola de Puerto Rico, donde solo hay seis fincas certificadas. A partir de una encuesta a 57 productores realizada en 2025, examina su conocimiento del proceso, la infraestructura disponible y el acceso a mercados. El 89 % sigue prácticas consistentes con los estándares orgánicos sin contar con la certificación; el 50 % está interesado en solicitarla (76 % si existiera un incentivo que cubra los costos) y el 67 % reporta poco conocimiento del proceso. Los hallazgos apuntan a barreras estructurales e institucionales, y a la necesidad de inversión coordinada en capacitación e infraestructura.

Introducción y objetivo del estudio

Este estudio analiza el mercado de la certificación orgánica como una alternativa de desarrollo económico para el sector agrícola de Puerto Rico, con particular atención a las barreras que enfrentan los productores agroecológicos para acceder a dicho mercado y a las oportunidades que ofrece la certificación bajo el programa *USDA Organic*. La investigación se enfoca en tres dimensiones principales para productores agrícolas: el nivel de conocimiento de los productores sobre el proceso de certificación, la disponibilidad de infraestructura y servicios asociados (certificación y procesamiento) y el acceso a mercados locales y externos para productos orgánicos certificados.

El análisis parte del reconocimiento de que, aunque Puerto Rico cuenta con condiciones agroecológicas favorables para la producción orgánica, la adopción formal de la certificación ha sido limitada. Hasta el momento, hay solamente seis fincas certificadas como *USDA Organic*, tres de ellas son las estaciones experimentales agrícolas de la Universidad de Puerto Rico en los pueblos de Lajas y Gurabo y una finca ubicada en el recinto de Utuado. El estudio busca identificar las razones económicas e institucionales detrás de esta brecha y evaluar el potencial de la certificación orgánica como estrategia de diversificación productiva.

Relevancia económica del estudio

La agricultura en Puerto Rico enfrenta retos estructurales persistentes, incluyendo una alta dependencia de importaciones de alimentos, vulnerabilidad ante interrupciones en las cadenas de suministro y márgenes de rentabilidad limitados para los productores locales. En este contexto, resulta pertinente evaluar mecanismos que permitan aumentar el valor agregado de la producción agrícola y mejorar la viabilidad económica de las fincas.

La certificación orgánica constituye un mecanismo de diferenciación de producto que puede facilitar el acceso a mercados con mayor disposición a pagar y reducir la exposición de los productores a la competencia basada exclusivamente en precios. Según un metaanálisis desarrollado por el ERS del USDA en 2015, los márgenes de ganancia en fincas orgánicas son entre 22-35% más altos debido a las primas de precio (Crowder & Reganold, 2015). Los precios más altos ayudan al agricultor compensar por menores rendimientos y/o un costo más alto de mano de obra que son características comunes de la adopción de una agricultura orgánica. La adopción de la certificación requiere inversiones iniciales, cumplimiento regulatorio y acceso a información técnica, lo que puede representar una barrera significativa, particularmente para pequeños y medianos agricultores.

Este estudio es relevante porque documenta empíricamente estos obstáculos y contribuye a una discusión informada sobre el diseño de políticas públicas orientadas a fomentar sectores agrícolas de mayor valor económico. Además, actualice información sobre productores agroecológicos ya que el estudio anterior más reciente fue en el año 2010. Este estudio presenta información demográfica sobre esta comunidad de pequeños agricultores que, a pesar de desafíos climatológicos y económicos, ha seguido la gran labor de producir alimento para nuestras comunidades.

Datos de los encuestados y modelos econométricos

La investigación se llevó a cabo en Puerto Rico y utiliza información recopilada principalmente durante el año 2025. El análisis se fundamenta en datos primarios obtenidos mediante encuestas a 57 productores agrícolas, complementados con datos secundarios provenientes del Censo Agrícola del USDA, informes institucionales y literatura académica especializada. Se comparan los datos con una base de datos de la Fundación Monte Azul, una organización sin fines de lucro que opera una Academia de Agricultura Sostenible e Innovación a nivel de todo Puerto Rico desde el año 2021. El autor es fundador y se desempeña como director ejecutivo de la Fundación Monte Azul.

La información demográfica es consistente con los datos de la Fundación Monte Azul en cuanto a edad y nivel de educación. Los rangos de edad más comúnes dentro del estudio fue 30-39 años y 40-59 años a pesar de que la edad promedio de un agricultor en Puerto Rico es 60.8 años, según el Censo Agrícola del USDA. Esto coincide con datos provistos por Monte Azul cuya edad promedio de más de 700 agricultores impactados desde el 2021 es 42.5 años. En cuanto al nivel de educación, el 44% de los agricultores representados en este estudio habían completado un bachillerato. Esta información coincide con estudios previos en Puerto Rico y en los EEUU, los cuales muestran que los agricultores orgánicos o agroecológicos tienden a ser más jóvenes y con un nivel de educación más alto en comparación a agricultores convencionales. En cuanto a las condiciones de las fincas incluidas en este estudio, el tamaño promedio es 39.4 cuerdas con unos 37.3% de sus terrenos bajo producción actualmente. Para comparación, el tamaño promedio de una finca en Puerto Rico es 65 cuerdas, según el censo agrícola del USDA de 2022.

Sobre su interés en la certificación *USDA Organic*, el 50% de los participantes estaban interesados en solicitar la certificación, y en un escenario hipotético de un incentivo gubernamental y/o privado para cubrir gastos de certificación el 76% de los participantes demostraron interés, lo cual implica un rol clave para agencias gubernamentales y privados de fomentar el desarrollo futuro del sector orgánico. Además de la situación financiera actual de productores pequeños, la falta de conocimiento sobre el proceso de solicitar la certificación, sus costos y beneficios representan una barrera significativa para muchos de estos agricultores. El 67% de los participantes respondieron que tenían poco conocimiento sobre la certificación.

Dentro del análisis de datos, se incluyeron cinco modelos econométricos de regresión logarítmica para examinar si hubo variables demográficas o geográficas que podrían explicar una propensión a considerar la certificación. Las variables consideradas incluyen la edad, el nivel de educación, la región del USDA, la participación en programas gubernamentales, los gastos promedio por fertilizante y el valor promedio de productos vendidos. Aunque ninguna de las variables evaluadas mostró una relación estadísticamente significativa con la disposición a considerar la certificación, los agricultores ubicados en la región USDA de Lares, que incluye los municipios de San Sebastián, Lares, Las Marías y Maricao, y aquellos que dependen de la agricultura como su principal fuente de ingreso fueron los grupos que mostraron una mayor tendencia a considerarla.

El enfoque metodológico reconoce la heterogeneidad del sector agrícola puertorriqueño, incluyendo diferencias regionales en tamaño de finca, orientación al mercado y acceso a servicios. Este enfoque permite una evaluación más precisa de los factores que inciden en la adopción de la certificación orgánica.

Hallazgos descriptivos y limitaciones de datos

Uno de los hallazgos principales del estudio es la baja proporción de productores con certificación orgánica en relación con el total de agricultores activos. Este resultado contrasta con el número de productores que reportan prácticas consistentes con principios orgánicos, lo que sugiere una brecha entre prácticas productivas y certificación formal. El 89% de los productores encuestados reportaban que siguen los estándares de la certificación orgánica, aunque no tengan la certificación en sí. Se interpreta que no aplican herbicidas y usan

prácticas de conservación de suelo e implementos orgánicos como composta.

"El 89% de los productores encuestados reportaban que siguen los estándares de la certificación orgánica, aunque no tengan la certificación en sí"

Asimismo, el estudio identifica una limitada disponibilidad de procesadores certificados orgánicos en Puerto Rico, lo cual restringe el desarrollo de productos de valor añadido bajo estándares orgánicos. Actualmente, Puerto Rico no cuenta con una procesadora de carnes, huevos o productos lácteos certificada como *USDA Organic,* lo cual es una barrera significativa para productores de esos cultivos y productos. Esta limitación representa una barrera estructural para la expansión del sector, particularmente en cadenas de valor que requieren procesamiento posterior a la cosecha.

Adicionalmente, se observa una carencia de datos sistemáticos sobre las preferencias del consumidor local respecto a productos orgánicos. Por lo tanto, los supermercados juegan un papel clave de suministrar esos datos para poder fomentar la producción local de productos orgánicos con demanda constante y sustancial. El 54% de los participantes en el estudio reportaron que la certificación orgánica aumentaría la confianza del consumidor en sus productos. El estudio más reciente en Puerto Rico sobre los consumidores orgánicos fue en el año 2003 e indicó que la lechuga, el tomate, el plátano, la china y la papaya son los cultivos orgánicos más demandados localmente (Martínez, 2003). Esta falta de información actualizada limita la capacidad de estimar el tamaño del mercado interno y de diseñar estrategias de mercadeo y política pública basadas en evidencia cuantitativa.

Implicaciones para la seguridad alimentaria

Desde la perspectiva de seguridad alimentaria, el fortalecimiento de la producción agrícola local es un elemento central para reducir la vulnerabilidad de Puerto Rico ante choques externos. La certificación orgánica puede contribuir a este objetivo al promover sistemas productivos más diversificados y menos dependientes de insumos externos.

Además, al mejorar la rentabilidad potencial de las fincas, la certificación puede incentivar la permanencia de los productores en la actividad agrícola y fomentar la inversión en prácticas sostenibles de manejo de suelos y recursos naturales. Estas dinámicas son consistentes con un enfoque de seguridad alimentaria que integra sostenibilidad económica y ambiental.

Contribución al desarrollo económico

El estudio sugiere que la certificación orgánica puede desempeñar un rol relevante en estrategias de desarrollo económico rural. El acceso a mercados externos, particularmente en los Estados Unidos continentales, amplía el potencial de ingresos para los productores y reduce la dependencia exclusiva del mercado local. Aunque pocos de los agricultores encuestados exportan sus productos, en el año 2023 el Organic Trade Association reportó que las ventas de productos certificados como orgánicos en los EEUU habían superado los $67.6B (Organic Trade Association, 2022).

Asimismo, el crecimiento del sector orgánico genera encadenamientos económicos que incluyen servicios de certificación, asistencia técnica, procesamiento y logística. Estos encadenamientos pueden traducirse en creación de empleo, fortalecimiento de empresas locales y mayor retención de valor dentro de la economía puertorriqueña.

En comparación con otros países en el Caribe, el sector orgánico en Puerto Rico está muy atrasado. La República Dominicana cuenta con 219 productores orgánicos y con más de 249,110 acres en el programa, en comparación a unos 6 productores puertorriqueños con la certificación vigente y unos 58 acres bajo el programa (USDA Organic Integrity Database). En el caso de la República Dominicana, sus fincas orgánicas del sector de cacao son reconocidos al nivel internacional por su alta calidad, como el cacao fino de aroma, lo cual ha servido como un motor económico en las zonas productivas de cacao.

Desde una perspectiva de política pública, los resultados del estudio apuntan a la importancia de inversiones estratégicas en infraestructura y programas de capacitación que reduzcan los costos de entrada asociados a la certificación.

Aportes para futuras investigaciones económicas

Este estudio contribuye a la literatura económica aplicada al identificar variables clave que inciden en la adopción de certificaciones agrícolas en contextos insulares y de pequeña escala. Los resultados pueden servir de base para futuros análisis econométricos sobre decisiones de adopción tecnológica, evaluaciones costo-beneficio de la certificación orgánica y estudios de demanda del

consumidor. Se recomienda expandir este estudio para encuestar a más productores e incluir más variables en los modelos econométricos. Además, se deben analizar y estudiar alternativas al USDA Organic, como Slow Food, así como propuestas como la planteada por la organización Boricuá de crear una certificación orgánica local, en conjunto con los productores agroecológicos, que sea más apta a las condiciones climáticas locales. También se recomienda expandir estudios a nivel de finca para comparar predios orgánicos con predios convencionales, similar al estudio innovador de Rodale Institute en Pensilvania que lleva más de 40 años y muestra que a lo largo del tiempo la producción orgánica de maíz tiene mayor producción en años de estrés climático. Las estaciones experimentales juegan un papel clave para crear estos proyectos de investigación comparando predios orgánicos en cuanto a rendimientos para analizar la viabilidad económica debido a que la mayoría de esos estudios son de climas templados y a base de cultivos como granos que no son aptos para Puerto Rico.

Conclusión

En resumen, este estudio presenta evidencia que sugiere que la certificación orgánica representa una oportunidad económica subutilizada para el sector agrícola de Puerto Rico. No obstante, su expansión requiere atender barreras estructurales e institucionales mediante intervenciones coordinadas entre el sector público, el sector privado y las organizaciones de apoyo agrícola. La certificación orgánica, en este contexto, debe considerarse como una herramienta potencial dentro de una estrategia más amplia de desarrollo económico y fortalecimiento de la seguridad alimentaria del país.

REFERENCIAS

Crowder, D. W., & Reganold, J. P. (2015). Financial competitiveness of organic agriculture on a global scale. Proceedings of the National Academy of Sciences, 112(24), 7611–7616. https://doi.org/10.1073/pnas.1423674112

Martínez, C. (2003). Perfil del consumidor de alimentos orgánicos de Puerto Rico, 2003: Un estudio exploratorio [Master's thesis, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez].

Organic Trade Association. (2022, June 2). 2021 Organic industry survey shows steady growth, stabilizing purchasing patterns. https://www.globenewswire.com/news-release/2022/06/02/2455275/0/en/2021-Organic-Industry-Survey-Shows-Steady-Growth-Stabilizing-Purchasing-Patterns.html

Pluke, R., & Guptill, A. (2005). Organic agriculture in the central region of Puerto Rico: Barriers and opportunities. University of Puerto Rico-Mayagüez. https://www.uprm.edu/tamuk/wp-content/uploads/sites/299/2019/07/PlukeGuptill_2005.pdf

Solano, O. (2010). Estudio económico y perfil de los productores orgánicos en Puerto Rico, 2007 [Master's thesis, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez].

United States Department of Agriculture, Economic Research Service. (2010). Price premiums hold on as U.S. organic produce market expands. https://www.ers.usda.gov/topics/natural-resources-environment/organic-agriculture/

United States Department of Agriculture, Economic Research Service. (2016). Economic analysis of organic field crop production in the United States. https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/45380/53409_err188.pdf

United States Department of Agriculture, Economic Research Service. (2023). Organic agriculture overview. https://www.ers.usda.gov/topics/natural-resources-environment/organic-agriculture

U.S. Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service. (n.d.). Organic Integrity Database. https://organic.ams.usda.gov/

ARTÍCULO 03 | INNOVACIÓN AGRÍCOLA

El cultivo de ñame en Puerto Rico: ciencia aplicada que impulsa la productividad, la seguridad alimentaria y el desarrollo económico

Dra. Merari Feliciano Rivera y Prof. Mildred Cortés

RESUMEN

El ñame es un cultivo estratégico para la agricultura y la seguridad alimentaria de Puerto Rico. Sin embargo, la disponibilidad limitada de semilla de alta calidad y la propagación de enfermedades a través del material de siembra han restringido históricamente el crecimiento y la competitividad de este sector. Para atender este reto, la Universidad de Puerto Rico desarrolló un programa de investigación y transferencia de tecnología basado en cultivo de tejidos, biorreactores de inmersión temporal y protocolos innovadores de multiplicación de semilla libre de enfermedades. Como resultado, la tasa de multiplicación de semilla aumentó de aproximadamente 1:4 en sistemas convencionales a cerca de 1:13 con los protocolos desarrollados, incrementando significativamente la disponibilidad de material de siembra para los agricultores.

Más allá del avance tecnológico, los resultados alcanzados demuestran que la inversión pública en investigación agrícola puede generar beneficios económicos que trascienden la finca individual, contribuyendo al aumento de la productividad, la reducción de pérdidas, la formación de capital humano, la creación de mercados locales de semilla, la sustitución de importaciones y el fortalecimiento de la resiliencia del sistema alimentario puertorriqueño. Este caso constituye un ejemplo concreto de cómo la innovación tecnológica puede convertirse en una herramienta efectiva de desarrollo económico para Puerto Rico.

En Puerto Rico, el ñame constituye el cultivo de raíces y tubérculos de mayor importancia económica y ocupa el tercer lugar entre los cultivos farináceos de la isla, superado únicamente por el plátano y el guineo. Además de su relevancia económica, es uno de los alimentos de mayor aceptación entre los consumidores puertorriqueños, con presencia constante en supermercados, plazas de mercado, mercados agrícolas y sistemas de venta directa (Cortés y Gayol, 2006). Durante los años de mayor disponibilidad de producción local (2017–2021), el consumo promedio per cápita fluctuó entre 6.4 y 7.6 libras por año, reflejando la importancia de este cultivo dentro de la dieta y las tradiciones alimentarias del país. Más allá de su valor económico y cultural, el ñame desempeña un papel estratégico en la seguridad alimentaria de Puerto Rico. Debido a que la isla importa la mayor parte de los alimentos que consume y continúa siendo vulnerable a interrupciones causadas por eventos climáticos y logísticos, este cultivo ofrece ventajas únicas al desarrollarse bajo tierra y poder almacenarse entre dos y tres meses después de la cosecha. Estas características le permiten funcionar como una reserva alimentaria durante periodos de emergencia y recuperación tras huracanes, contribuyendo a la continuidad del suministro de alimentos. A su vez, la disponibilidad de semilla sana y la adopción de prácticas de manejo estandarizadas fortalecen la estabilidad y previsibilidad de la producción, elementos esenciales para la resiliencia y la seguridad alimentaria del país (EEA, 2024; Feliciano-Rivera, 2024).

A pesar de esta fuerte demanda, la producción nacional apenas satisface entre un 18 y un 20% del consumo total, lo que evidencia una amplia oportunidad para fortalecer la oferta local y reducir la dependencia de las importaciones (Departamento de Agricultura de Puerto Rico, 2025) Feliciano-Rivera, 2018; Feliciano-Rivera, 2024). Durante el período 2020–2021, el cultivo generó $6.6 millones y una producción de 75,102 quintales,

dentro de un sector de raíces y tubérculos valorado en aproximadamente $11 millones y de una industria de farináceos cercana a los $106 millones (Departamento de Agricultura, 2024). A esto se suma el crecimiento experimentado por la agricultura puertorriqueña, cuyo valor alcanzó $703 millones en 2022, representando un aumento de 45% con respecto a 2018. Este escenario posiciona al ñame como uno de los cultivos con mayor potencial para contribuir al fortalecimiento de la seguridad alimentaria y al desarrollo económico agrícola de Puerto Rico.

"La producción nacional apenas satisface entre un 18 y un 20% del consumo total"

Sin embargo, alcanzar ese potencial requiere atender limitantes que históricamente han afectado la productividad del cultivo: la calidad fitosanitaria de la semilla y la escasez de semilla. Bajo condiciones óptimas de manejo, *Dioscorea rotundata* puede alcanzar rendimientos promedio de entre 200 y 250 quintales por cuerda, mientras que *Dioscorea alata* puede producir entre 250 y 300 quintales por cuerda (EEA, 2024). No obstante, estos rendimientos se ven severamente afectados por enfermedades y plagas que se propagan a través del material de siembra, entre ellas la pudrición seca causada por *Pratylenchus coffeae* (nematodo) (Feliciano-Rivera, 2018; Feliciano-Rivera, 2024), la pudrición interna seca asociada a *Penicillium* (hongo), la antracnosis causada por múltiples especies de *Colletotrichum* spp. (hongo) y, más recientemente, la roya del ñame que afectó significativamente la producción a partir de 2022.

La combinación de una demanda estable, un mercado insatisfecho, rendimientos potencialmente altos y tecnologías disponibles para la producción de semilla libre de enfermedades convierte al ñame en una de las mejores oportunidades para aumentar la producción agrícola local, sustituir importaciones y fortalecer la resiliencia alimentaria de Puerto Rico. Esta oportunidad cobra aún mayor relevancia considerando que Puerto Rico importa la mayor parte de los alimentos que consume y continúa siendo altamente vulnerable a interrupciones provocadas por huracanes, eventos climáticos extremos y limitaciones en las cadenas de suministro. En este contexto, el ñame posee ventajas estratégicas únicas para la seguridad alimentaria del país. Al desarrollarse bajo tierra y poder almacenarse entre dos y tres meses después de la cosecha, este cultivo funciona como una reserva natural de alimentos durante periodos de emergencia y recuperación. Tras el paso de fenómenos atmosféricos severos, los tubérculos han demostrado ser una fuente confiable de alimento para las comunidades afectadas, contribuyendo a la disponibilidad de alimentos cuando otros cultivos y sistemas de distribución se ven comprometidos. Por ello, la producción de semilla sana y la adopción de prácticas de manejo estandarizadas no solo aumentan la productividad agrícola, sino que también fortalecen la continuidad, estabilidad y previsibilidad del suministro de alimentos, elementos fundamentales para la seguridad alimentaria y la resiliencia de Puerto Rico (Feliciano-Rivera, 2018; Feliciano-Rivera, 2024).

El programa de investigación que está atendiendo esta necesidad agrícola opera en la UPR-RUM y en la EEA-Isabela, donde se estableció un laboratorio especializado en cultivo de tejidos y biotecnología con una inversión superior a un millón de dólares provenientes de fondos federales del USDA. La inversión acumulada en este programa de investigación supera los $3 millones[1], considerando infraestructura de laboratorio, invernaderos, desarrollo tecnológico, subvenciones competitivas, ayudantías y becas de estudiantes graduados y subgraduados, actividades de extensión agrícola y validaciones en finca (datos internos del programa; Feliciano-Rivera, 2025).

Este programa de investigación inició en 2014 y se consolidó entre 2018 y 2025 mediante la implementación de biorreactores de inmersión temporal, el desarrollo de protocolos innovadores para la producción de semilla de ñame libre de enfermedades, la capacitación continua de agricultores y la distribución de material de siembra producido mediante herramientas biotecnológicas. Una de las innovaciones más relevantes del programa fue el aumento en la tasa de multiplicación de semilla libre de enfermedades. Mientras los sistemas convencionales de propagación permitían una relación aproximada de 1:4, las tecnologías desarrolladas mediante cultivo de tejidos, biorreactores de inmersión temporal y protocolos basados en mini y microsegmentos lograron aumentar dicha relación a cerca de 1:13, incrementando significativamente la disponibilidad de material de siembra para los agricultores.

Como parte de los esfuerzos de transferencia de tecnología, se fortaleció la capacitación de agricultores y propagadores en la producción y mantenimiento de

semilla sana, con el objetivo de aumentar la disponibilidad local de material de propagación de alta calidad, apoyar la expansión de la producción y reducir una de las principales limitaciones que enfrenta la industria del ñame en Puerto Rico (Feliciano-Rivera, 2025).

La inversión sostenida en investigación, biotecnología y transferencia de tecnología no solo ha permitido atender uno de los principales problemas que enfrenta la producción de ñame en Puerto Rico, sino que también ha generado beneficios económicos que trascienden la finca individual. Los resultados obtenidos tienen el potencial de fortalecer toda la cadena de valor del cultivo, desde la producción de semilla hasta la comercialización del producto final. Este impacto puede resumirse en cinco áreas estratégicas de desarrollo económico: ***1) Productividad y reducción de costos de producción***. La disponibilidad de semilla libre de enfermedades tiene un efecto directo sobre la rentabilidad del cultivo. El uso de material de siembra sano reduce las pérdidas en almacén y en campo, mejora el tamaño y la uniformidad de los tubérculos, aumenta la cantidad de semilla disponible para nuevas siembras y favorece mayores rendimientos por cuerda. En Dioscorea rotundata, por ejemplo, los rendimientos potenciales bajo manejo óptimo pueden alcanzar entre 200 y 250 quintales por cuerda, lo que se traduce en una mayor producción y mejores márgenes de ganancia para el agricultor; ***2) Sustitución de importaciones y retención de riqueza local.*** *La producción local de ñame ha suplido históricamente entre 18 y 20% de la demanda del país, por lo que existe un amplio margen para sustituir importaciones. Cada aumento en la participación del producto local contribuye a expandir el área cultivada, generar empleos agrícolas, retener ingresos dentro de la economía puertorriqueña y reducir la dependencia de mercados externos. Además, la disponibilidad de semilla de alta calidad contribuye a extender la vida útil del producto después de la cosecha, fortalece actividades relacionadas con transporte, empaque y comercialización, y disminuye la vulnerabilidad a las fluctuaciones de costos de importación y fletes internacionales. Estudios realizados en Puerto Rico demuestran que, cuando el producto local está disponible, los consumidores tienden a preferirlo aun cuando exista alguna diferencia en precio (Tavárez et al., 2020; Tavárez y Alamo, 2021);* **3) Generación de valor agregado y fortalecimiento empresarial.** *La estandarización de la producción de semilla abre nuevas oportunidades para el desarrollo de cadenas de valor más competitivas. Disponer de material de siembra uniforme y libre de enfermedades facilita la formalización de contratos de producción y crea oportunidades para la elaboración de productos con valor añadido, incluyendo ñame fresco lavado, productos mínimamente procesados, harinas y purés. Asimismo, reduce el riesgo productivo y fortalece las posibilidades de acceso a financiamiento agrícola y mecanismos de aseguramiento;* **4) Desarrollo de capital humano y creación de un mercado local de semilla.** *El programa de investigación ha contribuido significativamente al fortalecimiento de las capacidades técnicas del sector agrícola. Más de 60 agricultores han sido capacitados en la producción de ñame, el manejo de semilla y las técnicas de mini y microsegmentos, recibiendo posteriormente material de siembra libre de enfermedades para facilitar la adopción de las tecnologías desarrolladas. Además, se adiestraron propagadores en Barranquitas y Toa Alta con el objetivo de descentralizar la multiplicación de semilla, acelerar la difusión de material de siembra de alta calidad y sentar las bases para un mercado local de semilla que beneficie a otros agricultores de la isla*[2] *y* ***5)*** **Inversión estratégica en infraestructura científica y tecnológica.** *La adquisición de biorreactores, equipos especializados e infraestructura para el establecimiento del Laboratorio de Biotecnología y Patología Vegetal en la Estación Experimental Agrícola de Isabela representa una inversión estimada entre $1 y $1.5 millones. Esta capacidad instalada trasciende el cultivo de ñame y constituye una plataforma científica para el desarrollo de tecnologías aplicables a otros cultivos farináceos de importancia económica, fortaleciendo la investigación agrícola, la producción de semilla de alta calidad y la seguridad alimentaria de Puerto Rico*

Además de los beneficios económicos ya observados en términos de productividad, sustitución de importaciones, fortalecimiento del capital humano e infraestructura científica, los avances alcanzados por este programa han generado una base sólida de conocimiento que abre nuevas oportunidades para la investigación económica y agrícola. Comprender y cuantificar estos impactos permitirá documentar con mayor precisión el retorno de la inversión realizada y orientar futuras decisiones de política pública, planificación agrícola y desarrollo de mercados. Entre las áreas de mayor potencial se encuentran la evaluación del impacto de la adopción tecnológica en las fincas, comparando agricultores que han incorporado semilla libre de enfermedades y

capacitación especializada con aquellos que aún no la han adoptado, para medir cambios en rendimiento, costos de producción y rentabilidad. Asimismo, existe una oportunidad para analizar el potencial de sustitución de importaciones mediante escenarios de crecimiento de la producción local y estimar sus efectos sobre el empleo, la actividad económica y la balanza comercial agrícola.

De igual forma, futuras investigaciones podrían cuantificar el valor estratégico del ñame como cultivo resiliente frente a eventos climáticos extremos, considerando su capacidad de almacenamiento y su contribución a la continuidad del suministro de alimentos después de huracanes y otras emergencias. Finalmente, resulta necesario profundizar en el estudio de las preferencias del consumidor y la dinámica del mercado mediante análisis de demanda y elasticidades que permitan diseñar estrategias comerciales más efectivas, fortalecer la planificación de la producción y maximizar las oportunidades de crecimiento para la industria del ñame en Puerto Rico.

Este modelo de investigación aplicada liderado por la Universidad de Puerto Rico demuestra el valor de la universidad pública como motor de innovación y solución de problemas que afectan directamente a los sectores productivos del país. Al responder a una necesidad crítica como la disponibilidad de semilla de ñame sana, de alta calidad y libre de enfermedades, el programa ha logrado transformar un reto histórico del sector agrícola en una oportunidad de desarrollo económico, fortalecimiento productivo y seguridad alimentaria. Con el apoyo de la ciencia aplicada, la infraestructura especializada y la transferencia efectiva de tecnología desde la Estación Experimental Agrícola de Isabela, el ñame deja de ser únicamente un cultivo tradicional para convertirse en un activo estratégico para el desarrollo rural de Puerto Rico.

Los resultados alcanzados representan un retorno tangible de la inversión pública en investigación agrícola: mayores rendimientos por cuerda, reducción de pérdidas causadas por enfermedades, aumento en la disponibilidad de semilla de calidad, fortalecimiento de la producción local, sustitución de importaciones y mayor resiliencia ante interrupciones provocadas por eventos climáticos extremos. Más allá de los beneficios para los agricultores, este esfuerzo contribuye a retener riqueza en la economía local, fortalecer la seguridad alimentaria y generar nuevas oportunidades para las futuras generaciones de productores, investigadores y emprendedores agrícolas del país.

NOTAS

1 Cifra corresponde a la suma acumulada de subvenciones competitivas, infraestructura, becas estudiantiles y actividades de extensión ejecutadas desde 2014.

2 Información basada en registros de capacitación, distribución de semilla y actividades de transferencia de tecnología del Proyecto de Producción de Semilla de Ñame Libre de Enfermedades ejecutado por la Universidad de Puerto Rico y la Estación Experimental Agrícola de Isabela entre 2014 y 2025.

REFERENCIAS

Cortés M. y Gayol L. (2009). Análisis Descriptivo de las Preferencias de los Consumidores de Raíces y Tubérculos en Puerto Rico. JAUPR, 93(3-4)

Departamento de Agricultura de Puerto Rico, (2024) Ingreso Bruto Agrícola . Oficina de Estadísticas Agrícolas Oficina de Estadísticas Agrícolas.

Departamento de Agricultura de Puerto Rico, (2025) Ingreso Bruto Agrícola . Oficina de Estadísticas Agrícolas Oficina de Estadísticas Agrícolas.

Estación Experimental Agrícola (EEA). (2024). *Conjunto tecnológico para la producción de ñame*. Publicación 316. Colegio de Ciencias Agrícolas, Universidad de Puerto Rico.

Feliciano-Rivera, M. (2018). *Towards sustainable yam production in Puerto Rico*. *Scientia*. https://doi.org/10.26320/SCIENTIA265

Feliciano-Rivera, M. (2024). *Propagating a new generation of yam in Puerto Rico*. *Scientia*. https://doi.org/10.33548/SCIENTIA1003

Feliciano-Rivera, M. (2025). *Semilla sana, futuro seguro: Proyecto integral para fortalecer la producción de ñame en Puerto Rico*. Revista del Servicio de Extensión Agrícola, 37(2), 15–17. Colegio de Ciencias Agrícolas, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez.

Tavárez, H., Álamo, C., y Cortés, M. (2020). Cafés diferenciados y sus mercados potenciales en Puerto Rico: Un enfoque de valoración económica. Economía Agraria y Recursos Naturales, 20(2), 51-72. https://doi.org/10.7201/earn.2020.02.03.

Tavárez, H., y Álamo, C. (2021). Using choice experiments to estimate the value of differentiated cow's milk in Puerto Rico. Frontiers in Sustainable Food Systems, 5: 1-12. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.671049

U.S. Department of Agriculture, National Agricultural Statistics Service. (2024). *2022 Puerto Rico Census of Agriculture*. USDA-NASS.

ARTÍCULO 04 | CULTIVOS EMERGENTES

Impacto de la polinización cruzada en el desarrollo en frutos de pitahaya (*Selenicereus spp.*)

Elvin A. Román Aponte

Estudiante graduado, programa doctoral, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez

RESUMEN

La pitahaya es un cultivo emergente con alto potencial de diversificación agrícola en Puerto Rico, pero muchos cultivares son autoincompatibles, lo que limita la formación de frutos viables. Este estudio, realizado en la Subestación Experimental Agrícola de Lajas, evaluó el efecto de la polinización cruzada manual en el cultivar 'Zamorano' con polen de 'Physical Graffiti' y de 'Cebra', en comparación con la polinización natural. El cuajado de flores fue de 100 %, 87.04 % y 66.67 %, respectivamente, y los frutos polinizados manualmente fueron significativamente más pesados (466.63 g y 403.78 g frente a 93.71 g). Los resultados sugieren que la polinización cruzada asistida puede aumentar la oferta de fruta comercial y el ingreso agrícola, y establecen una base para un futuro análisis costo-beneficio.

Introducción

La pitahaya es una cactácea epífita[1] originaria de América Central, del Sur y el Caribe, perteneciente a la familia Cactaceae. Este cultivo adaptado a ambientes tropicales y subtropicales ha experimentado un crecimiento sostenido en popularidad y demanda a nivel internacional, impulsado por la búsqueda de diversidad de alimentos saludables (Goenaga et al., 2020). En Puerto Rico, la pitahaya representa un cultivo emergente con alto potencial de diversificación agrícola debido a su apariencia exótica y propiedades organolépticas aceptables al consumidor. La pitahaya posee atributos fisicoquímicos atractivos para el mercado, incluyendo contenidos variables de azúcares, ácidos orgánicos y sólidos solubles, características que influyen en su aceptación por parte del consumidor (Caraballo, 2024). En el campo de la botánica, la pitahaya produce flores grandes, nocturnas y hermafroditas, cuya biología reproductiva está estrechamente ligada a mecanismos de polinización especializada. Aunque muchas flores son morfológicamente hermafroditas, numerosos cultivares exhiben autoincompatibilidad parcial o total, lo que limita la formación de frutos viables en ausencia de polen compatible (Le Bellec et al., 2006). Este fenómeno convierte a la polinización cruzada[2] en un factor determinante para la productividad comercial del cultivo.

En Puerto Rico, Goenaga *et al.* (2020) encontraron diferencias significativas en cuanto al número de frutos por hectárea, peso individual y rendimiento total por medio de evaluaciones agronómicas de múltiples cultivares de pitahaya, demostrando que en la isla se puede cultivar con éxito la pitahaya. Estos resultados subrayan la importancia de a posterioridad continuar con estudios para seleccionar materiales genéticos productivos y optimizar prácticas de manejo reproductivo para maximizar la eficiencia productiva bajo condiciones locales. La variabilidad genética e hibridación frecuente dentro del género *Selenicereus*, dificultan su clasificación taxonómica precisa, pero también representan una oportunidad para el mejoramiento genético y la adaptación a distintos sistemas de producción en Puerto Rico. En el contexto de Puerto Rico, donde una proporción significativa de los alimentos consumidos es importada, la diversificación hacia cultivos de alto valor y adaptados al clima tropical constituye una estrategia clave para fortalecer la seguridad alimentaria. La pitahaya, por su tolerancia a condiciones de altas temperaturas, escasez de agua y

potencial de producción puede integrarse como cultivo estratégico dentro de sistemas agrícolas resilientes.

Estudios realizados en diferentes regiones productoras han demostrado que la polinización manual cruzada puede aumentar significativamente el porcentaje de cuajado[3], el peso individual del fruto y la uniformidad comercial (Moreira et al., 2022). Es imprescindible generar información científica local que permita comprender los factores reproductivos que limitan la productividad de la pitahaya bajo condiciones agroclimáticas de Puerto Rico. Por tanto, el presente estudio tuvo como propósito evaluar el efecto de la polinización cruzada en el desarrollo del fruto de pitahaya, considerando la influencia de distintas fuentes de polen y cuantificar su impacto sobre el cuajado, peso y características del fruto, con el fin de aportar bases técnicas que permitan optimizar el manejo agronómico del cultivo y fortalecer su viabilidad productiva en Puerto Rico. Finalmente, esto se traduciría a una fruta con mayor valor económico, lo que resalta la importancia de la polinización cruzada para la economía en la agricultura

Metodología

El estudio se desarrolló bajo condiciones de campo en la Subestación Experimental Agrícola de Lajas, Puerto Rico, una región clasificada como semiárida a subhúmeda. Se utilizó el pico de florecida del cultivar de pitahaya *Selenicereus sp.* cv. 'Zamorano' durante el mes de mayo de 2025. Se estableció un diseño completamente aleatorizado con tres tratamientos de polinización: (1) polinización cruzada manual con polen fresco del cultivar 'Physical Graffiti'; (2) polinización cruzada manual con polen fresco del cultivar 'Cebra'; y (3) el control, las flores se dejaron expuestas para que los polinizadores naturales del área realizaran la polinización cruzada sin intervención humana. Cada tratamiento incluyó 54 flores seleccionadas al azar en un predio con 16 plantas. Para los tratamientos asistidos manualmente, el polen fue recolectado el mismo día de la antesis y aplicado mediante pincel cubriendo completamente la superficie estigmática de la flor. Posteriormente, las flores fueron protegidas con bolsas de exclusión para evitar contaminación cruzada de un efecto externo. El porcentaje de cuajado floral se determinó como la proporción entre el número de frutos desarrollados y el total de flores tratadas. Los frutos fueron cosechados a madurez comercial (34 días después de polinización) y se evaluaron las variables morfológicas: peso fresco (g), perímetro (mm) y largo (mm). Los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA). Cuando se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$), se realizó comparación de medias mediante la prueba de Fisher (LSD).

Resultados y discusión

Los resultados presentados corresponden a la fase inicial del proyecto de investigación en curso. El tratamiento con mayor porcentaje de flores cuajadas en 'Zamorano' fue utilizando polen de 'Physical Graffiti' (100%), seguido por 'Cebra' (87.04%). El tratamiento de polinización natural fue el más bajo con 66.67% (Tabla 1), comparable con los datos reportados por Sena y colaboradores (2025) de 59.7%. Ambos tratamientos de polinización cruzada manual superaron al tratamiento de polinización natural en el porcentaje de cuajado de flores, evidenciando la importancia de la disponibilidad de polen compatible.

"Ambos tratamientos de polinización cruzada manual superaron al tratamiento de polinización natural en el porcentaje de cuajado de flores"

Estas fluctuaciones en la polinización natural están sujetas a la disponibilidad de polinizadores y la presencia de genotipos en florecida con polen compatible. Previamente se determinó que 'Zamorano' es un cultivar autoincompatible. Este hecho explica parte del bajo porcentaje de cuajado de flores ya que depende de un factor externo que promueva la polinización cruzada con polen de otra variedad compatible. Dentro del periodo de la antesis hasta el cierre de la flor que fue aproximadamente de 11.5 horas, solo se observó abejas (*Apis mellifera*) posando sobre los estigmas de las flores del tratamiento de polinización natural a partir de alrededor de las 5:30 de la mañana hasta el cierre de las flores a 2.5 horas después. Se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p<0.05$) entre los tratamientos de polinización en todas las variables morfológicas evaluadas. La polinización natural resultó en frutos significativamente más pequeños y ligeros (peso promedio de 93.71 g, perímetro de 165.83 mm y largo de 61.34 mm), lo cual evidencia la baja eficiencia del sistema de polinización natural. La polinización cruzada manual con polen de 'Cebra' produjo frutos significativamente más grandes y pesados que el tratamiento de polinización natural, mientras que la polinización cruzada con polen de 'Physical Graffiti' produjo frutos con mayor peso (466.63 g), perímetro (281.24 mm) y largo (98.64 mm), diferencias que fueron significativamente superiores en

comparación con las demás medias de tratamientos (Tabla 1). Estos hallazgos concuerdan con otras publicaciones demostrando la importancia de la polinización cruzada asistida para mejorar la calidad y el rendimiento del cultivo de pitahayas (Nerd & Mizrahi, 1997).

TABLA 1 **Las medias ajustadas de las variables morfológicas de los frutos de 'Zamorano' obtenidos y el porcentaje del cuajado de flores por tratamiento.**

Tratamientos	Masa (g)	Perímetro (mm)	Largo (mm)	Cuajado de flores (%)
Polinización manual con polen de 'Physical Graffiti'	466.63_{A}†	281.24_{A}	98.64_{A}	100
Polinización manual con polen de 'Cebra'	403.78_{B}	264.85_{B}	92.60_{B}	87.04
Polinización natural	93.71_{C}	165.83_{C}	61.34_{C}	66.67

†Las medias con una letra común no son significativamente diferentes según prueba Fisher's LSD (p>0.05).

Las frutas con peso mayor a 227 gramos se consideran como frutas comerciales para mercado fresco localmente (Zamora, 2023). Desde la perspectiva de la seguridad alimentaria, el estudio impacta principalmente la disponibilidad de este alimento, al demostrar que la dependencia exclusiva de la polinización natural limita la producción comercialmente viable. Mientras que la polinización natural produjo frutos con peso promedio de 93.71 g, no aptos para mercado fresco (Figura 1). Algunos productores locales toman estas frutas de grado no comerciables para fruta fresca, las venden en precios más bajos destinados al consumidor que busca hacer productos derivados de la fruta, extracción de pulpa para jugos y coctelería. El 88.89 % de las frutas cosechadas en el tratamiento con polen de 'Physical Graffiti' y 80.85% de las frutas cosechadas en el tratamiento con polen de 'Cebra' alcanzaron estándares comerciales. Esto implica un aumento sustancial en rendimiento comercial por unidad de área, incrementando la oferta disponible de fruta fresca en el mercado local. Una mayor proporción de frutas comercializables mejora la presencia y acceso físico constante del producto en los mercados agrícolas y cadenas de distribución. Al reducir la variabilidad productiva asociada a cultivares con autoincompatibilidad, se favorece una oferta más estable, facilitando que el consumidor tenga acceso regular a un producto fresco, nutritivo y de producción local, un elemento clave para la seguridad alimentaria.

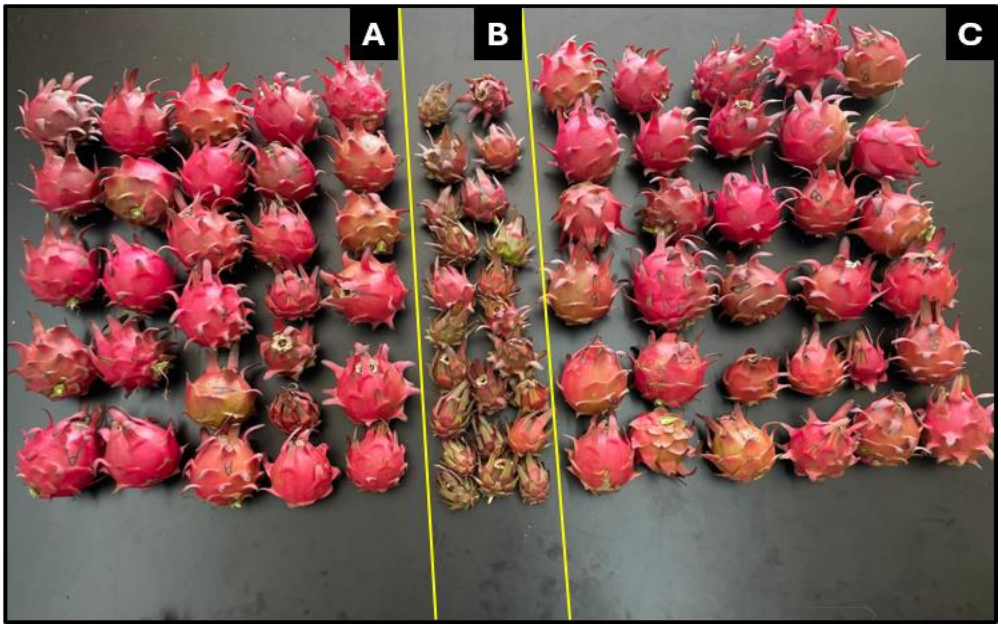

FIGURA 1 **Comparación de una muestra de frutos de 'Zamorano' cosechados por Tratamiento**

Frutas desarrolladas con polen de 'Physical Graffiti' (A), 'Cebra' (C) y polinización natural (B)

Estos resultados aportan evidencia que permite transformar un cultivo potencialmente limitado por factores reproductivos en una actividad agrícola altamente rentable. La demostración científica de compatibilidad entre fuentes de polen permite diseñar sistemas productivos más eficientes, aumentando rendimiento por unidad de área y generando mayor valor agregado. Esto se traduce en mayor circulación de capital dentro del sector agrícola local. En términos de desarrollo económico rural, la implementación de polinización cruzada asistida puede generar oportunidades laborales adicionales en fincas que adopten este manejo. La necesidad de mano de obra especializada para realizar polinización manual pudiera crear empleos temporales pero recurrentes durante cada ciclo de floración. En zonas rurales con limitadas alternativas económicas, esta actividad puede representar una fuente adicional de ingreso, reduciendo la desigualdad de ingresos en la zona.

Es particularmente importante mencionar que este estudio sirve como insumo para futuras investigaciones sobre la viabilidad económica de impulsar la polinización cruzada en pitahaya. Por ejemplo, este estudio evidencia que la polinización cruzada mejora el peso y producción de la fruta, pero esto no se cuantificó a nivel de ventas y ganancias. Tampoco se compararon ingresos potenciales contra los costos asociados a cambiar el sistema de producción a uno más intensivo en polinización. Un análisis costo-beneficio sería recomendable en este contexto.

Conclusión

La pitahaya, un cultivo adaptado a condiciones tropicales y con potencial para múltiples ciclos anuales de producción, puede contribuir a fortalecer la resiliencia del sistema agrícola local frente a la alta dependencia de importaciones alimentarias mediante la optimización de la polinización cruzada. La optimización de la polinización cruzada no solo mejora el rendimiento por unidad de área, sino que reduce la variabilidad productiva asociada a fallas reproductivas, aumentando la estabilidad del ingreso agrícola. Asimismo, este estudio contribuye a la generación de datos científicos locales sobre biología floral y la compatibilidad genética que contribuye a establecer bases sólidas para futuros análisis económicos y modelos de rentabilidad del cultivo en la isla. Por tanto, comprender los mecanismos de polinización y su impacto en el desarrollo del fruto resulta esencial para determinar la pitahaya como un cultivo viable dentro del marco de desarrollo agrícola sostenible de Puerto Rico. La integración de investigación aplicada en polinización cruzada puede servir como herramienta estratégica para incrementar la productividad, fortalecer la autosuficiencia alimentaria y promover nuevas oportunidades económicas en el desarrollo del sector agrícola puertorriqueño. Aumentar la producción de pitahaya mediante la polinización cruzada no solo fortalece los ingresos de los agricultores, sino que también impulsa otros sectores mediante su valor añadido. Es probable que, ante una mayor oferta del fruto, surjan nuevos nichos en coctelería y derivados como jaleas, creando un efecto multiplicador. Este estudio sienta las bases para que futuras investigaciones de mercado y economía exploren nuevas oportunidades de comercio.

Agradecimiento

Agradecemos a National Institute of Food and Agriculture (NIFA) del USDA por financiar esta investigación bajo el Proyecto H-539 de la Estación Experimental Agrícola del Recinto Universitario de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico.

NOTAS

1 La pitahaya es un cactus trepador que puede crecer sobre otras plantas como soporte físico, sin parasitarlas, obteniendo agua y nutrientes del ambiente.

2 Polinización cruzada ocurre cuando el polen de una flor es transferido a la flor de otra planta de pitahaya.

3 Término utilizado para indicar que la flor fue polinizada y fecundada para dar origen a un fruto de pitahaya.

REFERENCIAS

Caraballo Cancel, N. (2024). *Caracterización fisicoquímica de cinco variedades de pitahaya cultivadas en Puerto Rico*. Universidad de Puerto Rico, Recinto Mayagüez.

Goenaga, R., Marrero, A., & Pérez, D. (2020). Yield and fruit quality traits of dragon fruit cultivars grown in Puerto Rico. *HortTechnology, 30*(6), 803–809.

Le Bellec, F., Vaillant, F., & Imbert, E. (2006). Pitahaya (Hylocereus spp.): A new fruit crop, a market with a future. *Fruits, 61*, 237–250. https://doi.org/10.1051/fruits:2006021

Moreira, R. A., Rodrigues, M. A., Souza, R. C., da Silva, A. D., Silva, F. O. R., Lima, C. G., Pio, L. A. S., & Pasqual, M. (2022). Natural and artificial pollination of white-fleshed pitaya. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, 94*, e20211200. https://doi.org/10.1590/0001-3765202220211200

Nerd, A., & Mizrahi, Y. (1997). Reproductive biology of cactus fruit crops. *Horticultural Reviews, 18*, 321–350.

Sena, C. G., Almeida Alves, D. de, Monteiro Cruz, M. do C., Santos, N. C., Lima, J. E., & Guimarães, A. G. (2025). Productivity and commercial classification of pitaya with manual cross-pollination and natural pollination. *Revista Agrogeoambiental, 17*, e20251967. https://doi.org/10.18406/2316-1817v17nunico20251967

Zamora, J. (2023). *Variedades comerciales de pitahaya en Puerto Rico* (Fact Sheet El Frutal, Vol. 21, No. 10). SEA, CCA, RUM, UPR.

ARTÍCULO 05 | TECNOLOGÍA Y ECONOMÍA AGRÍCOLA

Una perspectiva económica sobre el uso de drones en la agricultura

Síntesis de una presentación ofrecida durante la actividad de primavera de la Sociedad Puertorriqueña de Ciencias Agrícolas en Juana Diaz, Puerto Rico

Dr. Héctor Tavárez

Depto. de Economía Agrícola y Sociología Rural, Estación Experimental Agrícola, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico.

RESUMEN

La incorporación de drones en la agricultura debe evaluarse no solo como una innovación técnica, sino como una decisión de asignación de recursos. Este artículo sintetiza una presentación ofrecida en la actividad de primavera de la Sociedad Puertorriqueña de Ciencias Agrícolas y examina sus posibles beneficios, sus costos y la disyuntiva entre comprar un dron o contratar el servicio.

Introducción

La agricultura enfrenta el reto permanente de producir alimentos y materias primas utilizando recursos que son limitados. Tierra, agua, trabajo, capital e insumos deben combinarse de manera eficiente en un entorno caracterizado por fluctuaciones en los precios, riesgos climáticos, restricciones ambientales y cambios tecnológicos. Desde esta perspectiva, la economía agrícola estudia no solamente la producción agropecuaria, sino también la forma en que se asignan recursos escasos entre distintas alternativas de producción, procesamiento, distribución y consumo. Asimismo, evalúa cómo las políticas públicas, el cambio climático, los procesos geopolíticos y otros factores externos afectan la productividad y sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

Dentro de este contexto, la incorporación de drones representa una innovación que merece ser evaluada no solamente desde el punto de vista tecnológico, sino también desde una perspectiva de optimización económica. El aspecto fundamental no debe ser determinar si un dron constituye una tecnología moderna o sofisticada, sino preguntarnos si su adopción permite utilizar los recursos disponibles de una manera más eficiente y rentable. Como señala la presentación "*Una perspectiva económica sobre el uso de drones en la agricultura*" que se ofreció en la actividad de primavera de la Sociedad Puertorriqueña de Ciencias Agrícolas, el análisis se realiza precisamente desde esta óptica: no desde la ingeniería de los drones, sino desde las implicaciones económicas que pueden tener para la actividad agrícola.

El problema económico detrás de la tecnología

Los métodos tradicionales utilizados para algunas operaciones agrícolas pueden presentar importantes limitaciones. Por ejemplo, la aplicación manual o mediante tractores de fertilizantes, plaguicidas u otros productos puede generar una cobertura desigual, requerir cantidades considerables de tiempo y aumentar los costos por mano de obra. Estas dificultades pueden ser todavía mayores en explotaciones extensas o en terrenos remotos o de difícil acceso. A esto se añade que la agricultura demanda cantidades significativas de agua y que determinadas labores agrícolas pueden exponer a los trabajadores a riesgos para la salud.

Desde el punto de vista económico, estas condiciones plantean preguntas relacionadas con la eficiencia. ¿Es posible realizar la misma actividad utilizando menos trabajo, agua o insumos? ¿Puede mantenerse o aumentarse la producción mientras se reducen ciertos costos? ¿Puede una tecnología disminuir simultáneamente costos privados y algunos impactos ambientales? Estas son preguntas centrales para evaluar económicamente la adopción de drones.

Los drones agrícolas pueden contribuir a realizar diversas operaciones de forma más rápida, segura y

precisa. Entre sus posibles usos se encuentran la aspersión, el mapeo de las fincas y el monitoreo de la condición de los cultivos y del suelo. Una característica importante es que realizan muchas de estas funciones desde el aire, lo que puede disminuir el contacto físico con el terreno y facilitar una distribución más uniforme de determinados productos.

La capacidad de los drones modernos depende de la integración de múltiples tecnologías. Los sistemas GPS y RTK permiten seguir trayectorias con alta precisión; las bombas eléctricas, boquillas y sensores de flujo permiten controlar la aplicación de líquidos; y los controladores de vuelo y sensores de obstáculos ayudan al equipo a adaptarse a las características del terreno. Algunos drones incorporan cámaras e imágenes multiespectrales capaces de identificar daños provocados por plagas, deficiencias de nutrientes o áreas donde los cultivos presentan estrés. Además, una vez programada la ruta, el equipo puede ajustar altura y velocidad y mantener registros digitales de las operaciones realizadas.

Productividad, costos y uso de recursos

Desde una perspectiva económica, uno de los argumentos principales a favor de los drones es su potencial para aumentar la productividad de los recursos. Una aspersión más rápida, una aplicación más precisa de los insumos y un monitoreo más efectivo de los cultivos pueden traducirse en ahorros de tiempo y materiales. La presentación identificó, además, posibles beneficios relacionados con la seguridad de los trabajadores y un mejor aprovechamiento del agua y otros recursos.

Otros beneficios potenciales incluyen el acceso a terrenos difíciles, la reducción de la compactación del suelo, el apoyo a la biodiversidad, mayor oportunidad en determinadas labores de siembra y plantación y la disponibilidad de datos en tiempo real e informes automatizados. Estos elementos son relevantes porque el valor económico de una tecnología no debe medirse únicamente por la cantidad producida. Una innovación también puede generar valor al reducir pérdidas, disminuir riesgos, mejorar la calidad de las decisiones o evitar impactos sobre recursos productivos, lo cual contribuye a la sostenibilidad a nivel de finca.

La información presentada sobre Hosen y Shukla (2025) en Bengala Occidental, basada en 240 agricultores, de los cuales 100 adoptaron drones, aunque fuera del contexto de Puerto Rico, ofrece un ejemplo de los posibles beneficios asociados con esta tecnología. La infografía presentada en la exposición señala mejoras en eficiencia económica, reducciones de costos y aumentos en los ingresos de los agricultores que adoptaron la tecnología. Asimismo, se destacó posibles reducciones en el consumo de agua y en el uso de plaguicidas. Estos resultados deben interpretarse dentro del contexto particular del estudio citado, pero ilustran claramente la lógica económica detrás de la agricultura de precisión: producir utilizando los insumos en las cantidades y lugares donde generan mayor valor.

Este principio es especialmente importante cuando existen restricciones de recursos. La aplicación excesiva de agua, fertilizantes o plaguicidas no solamente incrementa el costo de producción y afecta la sostenibilidad agrícola a largo plazo, sino que puede generar consecuencias ambientales. Por esa razón, mejorar la precisión en la utilización de insumos puede tener implicaciones económicas y ambientales simultáneamente. La presentación señala precisamente que estas mejoras pueden ser importantes frente a problemas de escasez de recursos y degradación ambiental.

Los beneficios no eliminan los costos

Sin embargo, reconocer el potencial económico de los drones no significa concluir que su adopción es rentable para todas las fincas. Toda inversión tecnológica implica costos de oportunidad y debe compararse con otras alternativas disponibles. Uno de los factores más importantes es el costo inicial de adquisición, los cuales pueden alcanzar los $30,000, dependiendo de las especificaciones de este. A esto se añaden mantenimiento, certificaciones, capacitación especializada, software y almacenamiento de información. También existen limitaciones relacionadas con el tiempo de vuelo, las condiciones climáticas, las regulaciones, posibles fallos técnicos y problemas de conectividad.

Por tanto, la pregunta económica correcta no es simplemente: ¿los drones generan beneficios? La pregunta es: ¿los beneficios adicionales derivados del uso del dron son suficientemente grandes para justificar los costos adicionales asociados con su adopción y operación?

Esta distinción es fundamental. Una tecnología puede aumentar la producción y, aun así, no ser económicamente viable si el costo de adoptarla supera el

valor de los beneficios generados. De igual manera, una tecnología puede ser rentable para una finca grande y no serlo para una finca relativamente pequeña, como es el caso de muchas fincas en Puerto Rico. La escala de producción, el tipo de cultivo, la topografía, el costo de la mano de obra, la frecuencia con la que se utiliza el equipo y el valor de los insumos que puede ahorrar son elementos que pueden modificar sustancialmente el resultado económico.

La propia presentación advierte que el uso de drones parece especialmente atractivo para operaciones de gran escala, mientras que todavía debe evaluarse cuidadosamente su aplicabilidad en fincas más pequeñas. También reconoce que determinados usos requieren conocimiento técnico especializado y posiblemente la contratación o colaboración de expertos, lo que representa un costo adicional debido a que el costo por hora por el servicio puede alcanzar los $200, excluyendo el tiempo de viaje. Los análisis más avanzados requieren, además, integrar la información producida por los drones con métodos econométricos u otras herramientas cuantitativas para llegar a conclusiones firmes.

¿Comprar un dron o contratar el servicio?

Esta realidad abre una discusión económica particularmente importante. Un agricultor no necesariamente tiene que comprar un dron para beneficiarse de esta tecnología. En determinadas circunstancias, puede ser más eficiente contratar el servicio. De hecho, debido a los beneficios ambientales que este genera (mejor salud del suelo y calidad del agua, apoyo a la biodiversidad, etc.), el gobierno podría subsidiar parte de los servicios.

Para una finca pequeña, una inversión inicial elevada puede resultar difícil de recuperar si el equipo se utiliza solamente unas pocas veces al año. En estas situaciones, un proveedor especializado puede distribuir el costo del dron, software, mantenimiento y capacitación entre múltiples clientes. Económicamente, esto permite aprovechar economías de escala sin que cada agricultor tenga que realizar individualmente la inversión completa.

Por el contrario, una explotación agrícola suficientemente grande, con uso frecuente del equipo y necesidades continuas de monitoreo o aplicación, podría encontrar viable adquirir su propio dron. Por consiguiente, las decisiones de adopción deberían considerar no solamente el desempeño físico de la tecnología, sino también alternativas organizacionales como propiedad individual, servicios contratados, cooperativas o utilización compartida.

Tecnología, sostenibilidad y toma de decisiones

El potencial de los drones también debe examinarse dentro de una visión más amplia de sostenibilidad agrícola. Una aplicación más precisa de agua, fertilizantes y productos fitosanitarios puede contribuir a reducir desperdicios. La disminución de tránsito de maquinaria pesada puede asistir a reducir la compactación del suelo. El monitoreo temprano puede facilitar intervenciones antes de que determinadas condiciones afecten extensamente los cultivos. A su vez, una menor exposición directa a productos químicos podría representar beneficios para la seguridad de los trabajadores agrícolas.

Algunos de estos beneficios pueden no aparecer inmediatamente en los estados financieros de una finca. Una reducción de impactos sobre suelo, agua o biodiversidad puede generar beneficios que trascienden al agricultor individual, y de largo plazo. Desde la economía ambiental, estos efectos son especialmente relevantes porque parte del beneficio de una tecnología puede manifestarse como reducción de externalidades negativas ambientales.

Por ello, evaluar los drones exclusivamente mediante cambios en producción e ingresos puede producir una visión incompleta. Idealmente, un análisis económico debería considerar inversión, costos de operación, ahorro de mano de obra, reducción de insumos, cambios en productividad, riesgos, vida útil del equipo y, cuando sea posible, beneficios ambientales y de seguridad.

Una tecnología prometedora que requiere análisis económico

Los drones representan una herramienta con un potencial considerable para transformar ciertas actividades agrícolas. Su capacidad para recopilar información, realizar aplicaciones precisas, acceder a terrenos difíciles y automatizar operaciones puede generar adelantos importantes en productividad y utilización de recursos. Sin embargo, ninguna tecnología debe adoptarse únicamente porque sea innovadora.

Desde la economía agrícola, la decisión debe fundamentarse en la comparación sistemática de costos y beneficios. Factores como el tamaño de la finca, frecuencia de utilización, cultivos producidos,

características del terreno, disponibilidad de mano de obra y costos de capacitación pueden determinar si la inversión resulta económicamente viable.

"Debemos preguntarnos para quién funciona, en qué condiciones, a qué costo y con qué beneficios económicos, sociales y ambientales"

En última instancia, el mayor aporte de los drones podría no encontrarse simplemente en sustituir una herramienta tradicional por una tecnología más sofisticada. Su verdadero potencial radica en permitir una agricultura basada cada vez más en información, precisión y mejor asignación de recursos. En momentos en que la agricultura enfrenta escasez de recursos, degradación ambiental, riesgos climáticos y necesidad de aumentar su productividad, estas alternativas adquieren especial importancia.

Por ello, la discusión sobre drones en la agricultura debe superar la pregunta de si la tecnología funciona. Debemos preguntarnos para quién funciona, en qué condiciones, a qué costo y con qué beneficios económicos, sociales y ambientales. Precisamente allí es donde la economía agrícola puede realizar una de sus contribuciones más importantes: transformar la innovación tecnológica en decisiones informadas que promuevan simultáneamente la productividad, la rentabilidad y la sostenibilidad.

ARTÍCULO 06 | GANADERÍA Y RECURSOS LOCALES

Reconociendo el capital natural de leguminosas nativas como motor de desarrollo económico en la ganadería de Puerto Rico

Agrónomo Francisco Rivera, MSA, MBA
Especialista en Manejo de Sistemas Agroforestales y Arbolista Certificado

RESUMEN

Puerto Rico importa más del 85% de sus alimentos, lo que aumenta la vulnerabilidad económica del país. Este artículo analiza cómo las leguminosas nativas, integradas en sistemas agroforestales y silvopastoriles, pueden aportar competitividad a la ganadería en el área del Caribe. El ganado vacuno, caprino y ovino suele depender de forrajes con limitaciones nutricionales; tras 30 días de cosecha de las gramíneas (pastos), su contenido de proteína puede bajar a menos del 7%, por debajo de lo recomendado para mantener una fermentación ruminal eficiente (NASEM, 2016; North Dakota State University Extension, 2023). Las leguminosas forrajeras mejoran la salud del suelo, proporcionan sombra y favorecen la función ruminal, además de reducir el uso de alimentos concentrados (Rivera-Meléndez, 2010; National Research Council, 2000). Asimismo, pueden fortalecer la resiliencia ante eventos climáticos extremos (Ortiz-Colón et al., 2018).

El contexto macroeconómico de la agricultura puertorriqueña

La seguridad alimentaria es un imperativo social y una variable clave para la estabilidad económica. Según el Censo de Agricultura de Puerto Rico 2022, el ingreso bruto agrícola alcanzó $703 millones y la producción de leche y ganado representa alrededor del 35% del valor total (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [NASS], 2024). En autosuficiencia, las cifras son preocupantes: la carne de res local solo suple alrededor del 10.87% del consumo, mientras que la leche cubre el 66.2% (NASS, 2024; El Nuevo Día, 2025). Esta fuga de capital por importaciones de carne y forrajes puede mitigarse optimizando recursos locales e implementando sistemas silvopastoriles.

Desafíos sistémicos: termodinámica y nutrición

En el trópico, la ganadería enfrenta la 'barrera del estrés térmico'. Las altas temperaturas y la humedad afectan el bienestar animal y reducen la eficiencia de conversión alimenticia, mermando la producción de carne y leche (Rodríguez-Carias, Suárez-Rodríguez, Collazo, & Fernández-Van Cleve, 2020; Ortiz-Colón et al., 2018). En zonas tropicales como en Puerto Rico y el área caribeña las temperaturas suelen ser más altas durante el año teniendo un pico en temperatura durante el periodo del verano. Las altas temperaturas causan lo que llamamos estrés por calor. El resultado del estrés por calor es la reducción del consumo de alimento de los animales como consecuencia tiene un efecto mermando la producción de operaciones ganaderas. La combinación de altas temperaturas y humedad que nos caracteriza son idóneas para aumentar el estrés que sufre el animal en nuestras fincas ganaderas y la proliferación de enfermedades en el hato.

"Todas las especies evaluadas superaron el umbral crítico de 12% de PC recomendado para rumiantes"

También, la baja calidad de muchos forrajes tropicales se refleja en niveles de proteína cruda (PC) inferiores al 7%. Para un funcionamiento ruminal eficiente se recomienda mantener alrededor de 12% de PC en la dieta, de lo contrario aumenta la dependencia de concentrados importados y los costos operacionales (National Research Council, 2000; NASEM, 2016).

FIGURA 1 Inga vera (Guaba) y Cojoba arborea (Cojoba)

FIGURA 2 Poitea florida (Retama San José) y Pterocarpus officinalis

Metodología y análisis nutricionales

Se identificaron y muestrearon 11 especies de leguminosas nativas en los municipios de Florida, Manatí y San Juan. Las muestras se enviaron a un laboratorio acreditado para determinar proteína cruda (PC), nutrientes digestibles totales (NDT), calcio (Ca) y fósforo (P). Para analizar la calidad relativa, se compararon los resultados con criterios ampliamente usados en Estados Unidos para evaluar heno, que consideran fibra detergente neutro (FDN), nutrientes digestibles totales (NDT) y proteína cruda (PC).

La PC es esencial porque el rumen puede convertir proteína verdadera y nitrógeno no proteico en proteína microbiana de alta calidad; sin niveles adecuados, la fermentación ruminal y el desempeño productivo se afectan (NASEM, 2016; North Dakota State University Extension, 2023). El NDT cuantifica la energía disponible, integrando fracciones digestibles de proteína, fibra, almidones, azúcares y grasas (NASEM, 2016). En

minerales, Ca y P cumplen funciones básicas: el Ca participa en contracción muscular, coagulación y señalización, y el P es clave en huesos, metabolismo energético y crecimiento de la microbiota ruminal; desbalances o deficiencias perjudican crecimiento, reproducción y producción de leche (Bethke & Edgington, 1928; NASEM, 2016; Drovers Farm Journal, 2020).

TABLA 1 Composición química de leguminosas nativas (ordenada por contenido de PC)

Especie	PC (%)	NDT (%)	Ca (%)	P (%)
Inga vera	22.3	41.3	1.07	0.20
Cojoba arborea	21.5	41.6	1.12	0.19
Pterocarpus officinalis	19.7	54.9	2.19	0.13
Poitea florida	18.7	54.0	1.41	0.18
Inga laurina	18.3	39.3	1.08	0.13
Parasenegalia muricata	17.3	66.9	1.22	0.18
Hymenaea courbaril	16.8	45.2	0.10	0.30
Andira inermis	15.5	34.3	1.70	0.13
Senna polyphylla	13.4	66.0	2.56	0.34
Anadenanthera peregrina	12.3	63.7	2.68	0.06
Sophora tormentosa	12.1	60.6	2.98	0.16

Hallazgos principales para productores y técnicos

Todas las especies evaluadas superaron el umbral crítico de 12% de PC recomendado para rumiantes (National Research Council, 2000; NASEM, 2016). Algunas, como *Parasenegalia muricata* y *Senna polyphylla*, alcanzaron NDT >60%, comparable a forrajes de alta calidad. Esta evidencia respalda el uso de árboles y arbustos leguminosos en sistemas silvopastoriles para mejorar el balance nutricional y reducir costos por concentrados.

Beneficios ecosistémicos y productivos

La integración de leguminosas arbóreas en la ganadería es una estrategia de optimización de activos: además de aportar proteína, contribuyen a biodiversidad, secuestro de carbono, sombra para mitigar el estrés térmico y salud del suelo, efectos que se reflejan en reproducción, consumo voluntario, producción de leche y ganancia de peso (Rodríguez-Carias et al., 2020; Ortiz-Colón et al., 2018).

FIGURA 3 Inga laurina (Guama) y Parasenegalia muricata (Acacia nudosa)

Conclusiones y perspectivas

Puerto Rico puede dirigirse hacia un modelo de producción ganadera más resiliente y con mayor valor agregado si aprovecha el capital natural de sus leguminosas nativas. Con evidencia nutricional y ecológica, estos sistemas ofrecen una vía para aumentar la autosuficiencia y competitividad. Futuros estudios deberían estimar beneficios económicos integrales y costos de implementación a largo plazo, así como validar el desempeño animal en rotaciones y bancos de proteína con especies nativas.

REFERENCIAS

Bethke, R. M., & Edgington, B. H. (1928). The calcium-phosphorus ratio in animal nutrition. *Journal of Animal Science*, 1928(1), 13–16. https://doi.org/10.2527/jas1928.1928113x

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Nacional de Estadísticas Agrícolas (NASS). (2024). *Resultados del Censo de Agricultura de Puerto Rico de 2022: Informe de aspectos destacados*. https://www.nass.usda.gov/Publications/Highlights/2024/Census-of-Ag-22_HL_PuertoRicoSpanish.pdf

Drovers/Farm Journal. (2020). *Importance of calcium and phosphorus in the ruminant diet*. https://www.drovers.com/news/importance-calcium-and-phosphorus-ruminant-diet

El Nuevo Día. (2025). *Lo que consumimos versus lo que producimos en Puerto Rico*. https://www.elnuevodia.com/negocios/consumo/fotogalerias/lo-que-consumimos-versus-lo-que-producimos-en-puerto-rico/

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2016). *Nutrient requirements of beef cattle* (8th rev. ed.). The National Academies Press. https://nap.nationalacademies.org/catalog/19014

National Research Council. (2000). *Nutrient requirements of beef cattle* (7th rev. ed.). National Academy of Sciences.

North Dakota State University Extension. (2023). *Quality Forage Series: Forage nutrition for ruminants*. https://www.ndsu.edu/agriculture/extension/publications/quality-forage-series-forage-nutrition-ruminants

Ortiz-Colón, G., Fain, S. J., Parés, I. K., Curbelo-Rodríguez, J., Jiménez-Cabán, E., Pagán-Morales, M., & Gould, W. A. (2018). Assessing climate vulnerabilities and adaptive strategies for resilient beef and dairy operations in the tropics. *Climatic Change*, 146(1–2), 47–58. https://doi.org/10.1007/s10584-017-2110-1

Rivera-Meléndez, F. (2010). *Características agronómicas y composición química, consumo voluntario y digestibilidad de materia seca, proteína bruta y fibra detergente neutro de soya forrajera (Glycine max) y Lablab purpureus* (Tesis de maestría, Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez). Repositorio Institucional UPRM. https://scholar.uprm.edu/

Rodríguez-Carias, A. A., Suárez-Rodríguez, J. I., Collazo, J., & Fernández-Van Cleve, J. (2020). Sistemas de alimentación y parámetros productivos y fisiológicos de corderos criados en estrés por calor. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 104(2), 181–199. https://doi.org/10.46429/jaupr.v104i2.18870

ARTÍCULO 07 | SALUD Y CAMBIO CLIMÁTICO

Diseño e implementación de un currículo educativo en agricultura, salud ocupacional y cambio climático para profesionales de la salud

Luis Alexis Rodríguez Cruz y Marysel Pagán Santana

Depto. de Tecnología Agrícola, Universidad de Puerto Rico, Utuado · Migrant Clinicians Network, San Juan

RESUMEN

El bienestar de las comunidades agrícolas y pesqueras es parte esencial de la seguridad alimentaria, y el cambio climático agrava sus riesgos. Este artículo describe el diseño de un currículo educativo bilingüe en agricultura, salud ocupacional y cambio climático para el personal clínico de los centros de salud comunitaria (Centros 330) de Puerto Rico e Islas Vírgenes. La intervención, de tres fases, incluyó un estudio de necesidades (112 cuestionarios), un piloto en dos centros y la capacitación de cuatro centros adicionales con una guía de siete módulos. Los resultados preliminares indican que los centros comunitarios pueden reducir barreras de acceso a información y servicios para quienes sostienen el sistema alimentario.

La producción de alimentos depende en gran medida de que las personas que trabajan en esas labores estén bien de salud. Por lo que el bienestar de comunidades agrícolas y pesqueras debe considerarse cuando se trabajan aspectos en pro de la seguridad alimentaria. Debido al cambio climático, el Caribe insular está experimentando días más calurosos, sequías prolongadas, aguas oceánicas más calientes que potencian huracanes, entre otros eventos extremos (Díaz et al., 2018; Gould et al., 2015; Oppong et al., 2025). Esto supone distintos retos socioambientales en lugares ya vulnerables por inequidades y elementos estructurales, como políticas públicas que propician la precariedad y la desigualdad económica (Adger, 2006; Bonilla, 2020; López-Marrero & Wisner, 2012). Aquellas comunidades que dependen de labores en la intemperie y dependen de servicios ecosistémicos, como en la agricultura y la pesca, están más expuestas a los embates del cambio (Rodríguez-Cruz et al., 2021; Romanello et al., 2023). Más se debe considerar que el trabajo agrícola, por ejemplo, supone mayor exposición a riesgos ocupacionales, incluyendo riesgos químicos por uso de pesticidas (Pagán-Santana et al., 2021). Estos no solo afectan el quehacer agrícola y pesquero que aporta a la seguridad alimentaria, sino también al bienestar de las personas que realizan esas labores (Ebi et al., 2021; Kaminski, 2023; Shinbrot et al., 2019). Es por lo que se debe considerar la salud pública cuando se gestionan trabajos enfocados en la adaptación climática.

Centros de salud comunitaria y comunidades agrícolas

Los centros comunitarios de salud (conocidos en Puerto Rico como Centros 330) y su personal clínico pueden ser fuente de apoyo para estas comunidades agrícolas y pesqueras, proveyendo servicios médicos y recursos que apoyen sus procesos adaptación climática. Nuestro trabajo se enfocó en el desarrollo de una intervención educativa de tres años para expandir las capacidades de los centros comunitarios de salud, de su personal clínico y de sus programas de alcance comunitario, en temas de agricultura, salud ocupacional y cambio climático. Esperamos expandirlo para cubrir temas relacionados a la pesca. Migrant Clinicians Network, en colaboración con Centro Climático del Caribe del USDA, Mentes Puertorriqueñas en Acción y el Servicio de Extensión Agrícola Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, dirigió el desarrollo de un currículo educativo bilingüe en pro del desarrollo de capacidades entre los centros de salud comunitaria, para atender el impacto del cambio climático en los trabajadores agrícolas en Puerto Rico e Islas Vírgenes. El objetivo principal fue lograr expandir el alcance de los servicios educativos y de prevención de

riesgos que proveen los centros de salud comunitaria en aras de aportar al bienestar de las comunidades agrícolas.

Estos centros proveen servicios médicos y de salud preventiva en zonas rurales donde hay mayor concentración de comunidades agrícolas. Los centros cuentan con programas de trabajo social y de alcance enfocados en llevar información y servicios atemperados a las necesidades particulares de las comunidades a las que sirven. Muchos de estos centros coordinan actividades o ferias de salud en las que llevan información y servicios a distintas comunidades. También organizan talleres, charlas o visitas al hogar en donde logran proveer servicios individualizados. Además, la relación del personal clínico con estas comunidades, en conjunto con la credibilidad social que poseen, facilita el intercambio de información (Dupraz & Burnand, 2021; Pagán-Santana et al., 2021). Esto y más les hacen idóneos en desvanecer barreras que enfrentan comunidades agrícolas en acceder información culturalmente relevante que les aporte en sus procesos de toma de decisiones para salvaguardar su salud y sus producciones. Además, pueden divulgar información existente desarrolladas por agencias gubernamentales, entidades académicas, entre otras, que son de difícil acceso para comunidades agrícolas.

Diseño de la intervención

La intervención ya culminada se produjo en tres fases. La primera consistió en llevar a cabo un estudio de necesidades para entender las percepciones relacionadas al cambio climático y comunidades agrícolas entre el personal clínico de los Centros 330 en Puerto Rico y en las Islas Vírgenes. El estudio se realizó en seis centros, cinco en Puerto Rico y uno en Islas Vírgenes. Los centros escogidos están ubicados en zonas de alta producción agrícola, dan servicios a comunidades agrícolas y cumplen con la calidad de servicio según establecida por el Departamento de Salud de EE.UU. Cabe destacar que la información provista por los centros revela que dan servicios a pacientes que, en su mayoría, están bajo el umbral de pobreza, según el gobierno federal y una alta proporción de ellos padecen condiciones crónicas, cuyo cuidado puede verse afectado por estresores climáticos y eventos extremos. Al cabo de esta primera fase, 112 cuestionarios fueron completados por el personal clínico de los centros.

En general, los datos relacionados a percepciones sobre el cambio climático fueron consistentes con estudios que se han realizado en Puerto Rico y América Latina (Departamento de Recursos Naturales de Puerto Rico, 2018; Leiserowitz et al., 2023; Rodríguez-Cruz & Niles, 2021). La mayoría de las personas encuestadas entiende que el cambio climático está sucediendo (96%). Sin embargo, cuando se trataba de describir su conocimiento sobre la ciencia del cambio climático y sus impactos, lo describieron como regular (49%) o bueno (46%). Esto fue algo distinto a cómo describieron el de sus colegas: 48% regular y 30% bueno. Cuando se les preguntó sobre el conocimiento de sus pacientes, el 52% dijo que bueno y el 23% como deficiente. Esto sugiere que existe una variación en las percepciones de los profesionales de la salud con respecto a las de sus colegas y pacientes. Cabe destacar que la mayoría (>80%) dijo que le preocupan los impactos sobre el cambio climático, incluyendo los efectos que pueda tener sobre sus pacientes y comunidades agrícolas. Los resultados preliminares sugieren que la experiencia de trabajar con comunidades agrícolas está relacionada con su comprensión de los impactos pudieran estar relacionados con el clima en la salud y el bienestar de los miembros de dichas comunidades. Estos y otros datos están bajo revisión arbitrada.

Implementación de la intervención

Basado en estos hallazgos, se procedió a desarrollar un currículo educativo bilingüe para atender las necesidades identificadas. Se identificaron sobre 300 herramientas y materiales educativos sobre los temas de interés, más se incluyeron materiales adaptados y dirigidos a comunidades agrícolas. Por ejemplo, se incluyeron herramientas y materiales educativos desarrolladas por el Centro Climático del Caribe (USDA) y del Servicio de Extensión Agrícola de la UPR. Luego, se diseñó una capacitación-taller, la cual fue parte de la segunda fase. Se llevó a cabo un proyecto piloto de un año con dos centros de salud comunitaria. Se capacitó al personal clínico, particularmente a aquellas personas que coordinan y realizan actividades de alcance, en temas de la ciencia del cambio climático, impactos del cambio climático en el sector agrícola, temas de salud ocupacional y riesgos en el trabajo agrícola, entre otros temas relacionados a manejo de emergencia, enfermedades crónicas y modelos de movilización comunitaria. En fin, el objetivo era lograr que desarrollaran actividades para comunicar efectivamente esos temas, a la vez que ofrecían servicios médicos y de salud.

Sobre 600 personas en comunidades agrícolas fueron impactadas durante el piloto, a través de 17 actividades distintas, incluyendo distribución de material educativo, ferias de salud, talleres, visitas al hogar, entre otras. Estas actividades fueron evaluadas satisfactoriamente por los participantes. Durante el proceso de evaluación de la capacitación, se encontró que hubo cambio positivo en el conocimiento del personal clínico en cuanto a los temas ofrecidos, aunque la confianza para implementar las actividades fue moderada. La guía curricular y la metodología del taller fueron evaluados positivamente y se modificaron de acuerdo con las revisiones identificadas. Es por ello que se realizaron cambios a la estructura de la capacitación. Esta entonces tuvo un mayor enfoque en el diseño de actividades de alcance. La guía curricular final contó con siete módulos: Eventos extremos y cambio climático; Agricultura en el contexto del cambio climático; Movilización comunitaria; Salud comunitaria; Salud ocupacional y seguridad; Liderazgo comunitario y abogacía; Alcance comunitario. Se capacitó al personal clínico de cuatro centros restantes, a la vez que se les ofreció apoyo continuo en el desarrollo de las actividades de alcance.

Lecciones aprendidas e implicaciones para el desarrollo económico

Llevar a cabo esta intervención de salud pública con siete centros de salud comunitaria en Puerto Rico e Islas Vírgenes que aún sigue en curso revela el rol que tienen estas entidades en aportar a la seguridad alimentaria a través de contribuir al bienestar de las personas que trabajan en nuestro sistema alimentario. Se impactaron 112 clínicos, quienes a su vez ya han impactado sobre 1,000 personas de comunidades agrícolas. La evaluación de las actividades demostró que los métodos utilizados aumentaron el conocimiento sobre el cambio climático y la capacidad de los Centros 300 en llevar a cabo actividades de alcance sobre dichos temas. Dado a que en Puerto Rico la edad promedio del agricultor ronda los 65 años de edad, es indispensable abordar temas de salud y bienestar cuando se trabajen proyectos de adaptación y mitigación climática o cuando se consideren actividades enfocadas en la producción agrícolas. Por lo que, para sostener y aumentar la mano de obra agrícola, se deben considerar las dimensiones sociales del sistema alimentario. Muchas personas que residen en comunidades agrícolas enfrentan vulnerabilidades particulares, incluyendo difícil acceso a servicios médicos o programas e información de adaptación al cambio climáticos (Pagán-Santana et al., 2021; Rodríguez-Cruz et al., 2022). Los resultados preliminares de esta intervención indican que los centros comunitarios de salud pueden aportar a aliviar esas barreras.

REFERENCIAS

Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, *16*(3), 268–281. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006

Bonilla, Y. (2020). The coloniality of disaster: Race, empire, and the temporal logics of emergency in Puerto Rico, USA. *Political Geography*, *78*, 102181. https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2020.102181

Departamento de Recursos Naturales de Puerto Rico. (2018). *Estudio de percepción pública sobre el riesgo y la resiliencia al cambio climático* (p. 95). Puerto Rico Department of Natural Resources. http://drna.pr.gov/wp-content/uploads/2019/01/Informe-final-Estudio-de-percepcion-publica-sobre-cambio-climatico.pdf

Díaz, E. L., Gould, W. A., Álvarez-Berríos, N., Aponte-Gonzalez, F., Archibald, W., Bowden, J. H., Carrubba, L., Crespo, W., Fain, S. J., González, G., Goulbourne, A., Harmsen, E., Khalyani, A. H., Holupchinski, E., Kossin, J. P., Leinberger, A. J., Marrero-Santiago, V. I., Martinez-Sanchez, O., McGinley, K., … Torres-Gonzalez, S. (2018). *Chapter 20: US Caribbean. Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: The Fourth National Climate Assessment, Volume II*. U.S. Global Change Research Program. https://doi.org/10.7930/NCA4.2018.CH20

Dupraz, J., & Burnand, B. (2021). Role of Health Professionals Regarding the Impact of Climate Change on Health—An Exploratory Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14.

Ebi, K. L., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., Dear, R. de, Havenith, G., Honda, Y., Kovats, R. S., Ma, W., Malik, A., Morris, N. B., Nybo, L., Seneviratne, S. I., Vanos, J., & Jay, O. (2021). Hot weather and heat extremes: Health risks. *The Lancet*, *398*(10301), 698–708. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01208-3

Gould, W. A., Fain, S., Pares, I., McGinley, K., Perry, A., & Steele, R. (2015). *Caribbean Regional Climate Sub Hub Assessment of Climate Change Vulnerability and Adaptation and Mitigation Strategies* (p. 67). Caribbean Climate Hub, International Institute of Tropical Forestry.

Kaminski, I. (2023). Does climate change threaten human right to health? *The Lancet Planetary Health*, *7*(4), e268–e269. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00058-X

Leiserowitz, A., Goddard, E., Wood, E., Ordaz Reynoso, N., Thulin, E., Rosenthal, S., Marlon, J., & Buttermore, N. (2023). *International Public Opinion on Climate Change*. Yale Program on Climate Change Communication and Data for Good at Meta.

López-Marrero, T., & Wisner, B. (2012). Not in the Same Boat: Disasters and Differential Vulnerability in the Insular Caribbean. *Caribbean Studies*, *40*(2), 129–168. https://doi.org/10.1353/crb.2012.0034

Oppong, F. B., Gonzalez, S., Hibbert, K., Méndez-Lázaro, P. A., & González-Cruz, J. E. (2025). Climatology and Large-Scale Drivers of Extreme Heatwaves in the Caribbean: From 1971 to 2025. *Geophysical Research Letters*, *52*(24), e2025GL117649. https://doi.org/10.1029/2025GL117649

Pagán-Santana, M., Amaya, C., Rivera-Gutiérrez, R., & Caporali, S. (2021). Chronic Diseases among Agricultural Workers in a Rural Area of Puerto Rico. *Journal of Agromedicine*, *26*(2), 211–219. https://doi.org/10.1080/1059924X.2020.1824829

Rodríguez-Cruz, L. A., Álvarez-Berríos, N., & Niles, M. T. (2022). Social-ecological interactions in a disaster context: Puerto Rican farmer households' food security after Hurricane Maria. *Environmental Research Letters*. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac6004

Rodríguez-Cruz, L. A., Moore, M., & Niles, M. T. (2021). Puerto Rican Farmers' Obstacles Toward Recovery and Adaptation Strategies After Hurricane Maria: A Mixed-Methods Approach to Understanding

Adaptive Capacity. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *5*, 662918. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.662918

Rodríguez-Cruz, L. A., & Niles, M. T. (2021). Awareness of climate change's impacts and motivation to adapt are not enough to drive action: A look of Puerto Rican farmers after Hurricane Maria. *PLOS ONE*, *16*(1), e0244512. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244512

Romanello, M., Napoli, C. di, Green, C., Kennard, H., Lampard, P., Scamman, D., Walawender, M., Ali, Z., Ameli, N., Ayeb-Karlsson, S., Beggs, P. J., Belesova, K., Ford, L. B., Bowen, K., Cai, W., Callaghan, M., Campbell-Lendrum, D., Chambers, J., Cross, T. J., … Costello, A. (2023). The 2023 report of the Lancet Countdown on health and climate change: The imperative for a health-centred response in a world facing irreversible harms. *The Lancet*, *402*(10419), 2346–2394. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(23)01859-7

Shinbrot, X. A., Jones, K. W., Rivera-Castañeda, A., López-Báez, W., & Ojima, D. S. (2019). Smallholder Farmer Adoption of Climate-Related Adaptation Strategies: The Importance of Vulnerability Context, Livelihood Assets, and Climate Perceptions. *Environmental Management*, *63*(5), 583–595. https://doi.org/10.1007/s00267-019-01152-z

COMUNIDAD

Autores, agenda y convocatoria

SOBRE LOS AUTORES

Julio César Hernández, Ph.D.

Depto. de Economía Agrícola y Sociología Rural, Estación Experimental Agrícola, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez

Profesor del Depto. de Economía Agrícola y Sociología Rural del Recinto Universitario de Mayagüez. Sus áreas de interés incluyen econometría aplicada, economía internacional, desarrollo económico, economía de la salud, economía demográfica y evaluación económica. Posee una Maestría en Economía de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, y un Doctorado en Economía Aplicada de Western Michigan University. A lo largo de su carrera, el Dr. Hernández ha ocupado posiciones destacadas tanto en la academia como en el servicio público. Entre 2013 y 2015 se desempeñó como Director del Programa de Planificación Económica y Social de la Junta de Planificación de Puerto Rico, fungiendo como economista principal del Gobierno de Puerto Rico.

Héctor Tavárez, Ph.D.

Depto. de Economía Agrícola y Sociología Rural, Estación Experimental Agrícola, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez

Posee un doctorado en Ciencias Ambientales/Economía de la Universidad de Idaho y una maestría en Economía de la Universidad de Puerto Rico. Actualmente es Catedrático en el Depto. de Economía Agrícola y Sociología Rural de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Ha trabajado en diferentes temas relacionados al medio ambiente y la agricultura, los cuales incluyen: (1) la valoración económica de los servicios ecosistémicos, oportunidades de recreación y agua para consumo doméstico; (2) los efectos de los cambios de uso de terreno en la agricultura; (3) la disposición a pagar por productos agrícolas diferenciados; y (4) la evaluación económica de prácticas de conservación de suelo en la producción agrícola. Además, ha trabajado en temas relacionados con el desarrollo económico, incluyendo la relación entre criminalidad y economía, la economía circular, entre otros.

Andrew Hemann-Holland

Depto. de Economía Agrícola y Sociología Rural, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez

Estudiante de maestría del Departamento de Economía Agrícola y Sociología Rural de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Es fundador y director ejecutivo de la Fundación Monte Azul, organización sin fines de lucro que opera una Academia de Agricultura Sostenible e Innovación en Puerto Rico desde 2021.

Merari Feliciano Rivera, Ph.D.

Depto. de Ciencias Agroambientales, Universidad de Puerto Rico

La Dra. Merari Feliciano Rivera es catedrática en Ciencias Agroambientales en la Universidad de Puerto Rico. Posee un doctorado en Fitopatología de la Universidad de Kentucky y grados de la UPR Mayagüez. Dirige el Laboratorio de Biotecnología y Patología Vegetal, integrando investigación y formación estudiantil. Su trabajo abarca diagnóstico molecular, cultivo de tejidos y manejo de enfermedades vegetales, aportando soluciones científicas para la agricultura.

Prof. Mildred Cortés Pérez

Depto. de Economía Agrícola y Sociología Rural, Estación Experimental Agrícola, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez

La Prof. Mildred Cortés Pérez es catedrática en el Departamento de Economía Agrícola y Sociología Rural del Colegio de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez (UPRM). Posee una Maestría en Artes (M.A., 1995) de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras. A lo largo de su trayectoria, ha contribuido a la enseñanza formal, la investigación y la educación informal en economía agrícola desde la Estación Experimental Agrícola de la UPR.

Elvin A. Román Aponte

Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez

Estudiante graduado del programa doctoral de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Su investigación sobre polinización de pitahaya se realiza en la Estación Experimental Agrícola.

Agr. Francisco Rivera, MSA, MBA
Especialista en Manejo de Sistemas Agroforestales y Pastos del Caribe, NRCS

Francisco Rivera es especialista en agroforestería y manejo de pastizales del USDA Natural Resources Conservation Service (NRCS) en el Área del Caribe. Su trabajo se enfoca en prácticas de conservación aplicadas a sistemas agrícolas y agroforestales, incluyendo manejo de coberturas vegetales, conservación de suelos, retención de agua, secuestro de carbono y sistemas de café bajo sombra. También ha participado en investigaciones de campo, capacitación técnica y colaboraciones con agricultores, estudiantes y profesores para promover prácticas productivas y ambientalmente sostenibles en el Caribe.

Luis Alexis Rodríguez Cruz
Depto. de Tecnología Agrícola, Universidad de Puerto Rico, Utuado

Integrante del Departamento de Tecnología Agrícola de la Universidad de Puerto Rico en Utuado. Su trabajo vincula agricultura, seguridad alimentaria y cambio climático en el Caribe.

Marysel Pagán Santana
Migrant Clinicians Network, San Juan

Integrante de Migrant Clinicians Network en San Juan. Su trabajo aborda la salud ocupacional de las comunidades agrícolas y el desarrollo de capacidades en los centros de salud comunitaria.

¿Quieres escribir en el próximo número?
Envía tu propuesta a correoaepr@gmail.com

CONVOCATORIA: NORMAS PARA AUTORES

- Extensión sugerida: 1,500 a 2,500 palabras, con resumen de 100 a 150 palabras.
- Referencias en formato APA 7ª. edición; cifras y gráficas con fuente y año.
- Enfoque en Puerto Rico y lenguaje accesible para público no especializado.

ÚNETE A LA ASOCIACIÓN

Economía para decidir mejor

Conocimiento. Acceso a análisis, datos y debates sobre la economía de Puerto Rico.

Comunidad. Una red de economistas y profesionales afines de toda la Isla.

Voz. Un espacio para publicar tus ideas en este boletín.

https://www.economistaspr.com/membresia

ASOCIACIÓN DE ECONOMISTAS DE PUERTO RICO

P.O. Box 360665 · San Juan, Puerto Rico 00936-0665

Correo electrónico: correoaepr@gmail.com · Página web: www.economistaspr.com

© 2026 Asociación de Economistas de Puerto Rico. Todos los derechos reservados.