01

EFECTO

DEL BIOPRODUCTO LEBAME® EN LA CREMOSIDAD DE GRANOS DE ORYZA SATIVA L. CULTIVAR IACUBA 41

© 2026 Los autores. Este artículo se distribuye bajo la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0). https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: 2631-2662

EFECTO

DEL BIOPRODUCTO LEBAME® EN LA CREMOSIDAD DE GRANOS DE ORYZA SATIVA L. CULTIVAR IACUBA 41

EFFECT OF THE LEBAME® BIOPRODUCT ON GRAIN CHALKINESS IN ORYZA SATIVA L. CULTIVAR IACUBA 41

Sahily Cano-Llorente[1]
E-mail: sahilycanollorente@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0003-1572-9179
Sergio Florentino Rodríguez-Rodríguez[1]
E-mail: sfrodriguez1964@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2923-5092
María del Cármen Chávez-Cárdenas[2]
E-mail: mchavez@umet.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9672-107X
Michel Tamayo-Saborit[2]
E-mail: saborit35@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6316-9098
Manuel José Linares-Álvaro[1]
E-mail: cheche@udg.co.cu
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1185-7822
Gerardo Cueto-Aldana[3]
E-mail: gcueto142@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-3017-6734
[1] Universidad de Granma. Cuba.
[2] Universidad Metropolitana. Ecuador.
[3] Estación Territorial de Investigaciones de Granos. Granma. Cuba.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Cano-Llorente, S., Rodríguez-Rodríguez, S. F., Chávez-Cárdenas, M. C., Tamayo-Saborit, M., Linares-Álvaro, M. J., & Cueto-Aldana, G. (2026). Efecto del bioproducto Lebame® en la cremosidad de granos de Oryza sativa L. cultivar IACuba 41. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas, 9*(6), 5-14.

Fecha de presentación: 27/07/2026 **Fecha de aceptación:** 17/09/2026 **Fecha de publicación:** 01/11/2026

RESUMEN

La calidad comercial del arroz (*Oryza sativa* L.) se ve comprometida por defectos de apariencia como la cremosidad del endospermo, lo cual reduce el rendimiento de molienda. Esta investigación evaluó el efecto del bioproducto Lebame® sobre el porcentaje de granos cremosos en el cultivar IACuba 41. Se estableció un experimento de campo en un Vertisol, donde se analizó la imbibición de semillas con el bioproducto en dosis de 10 mL L^{-1} por espacio de 24 horas, más 48 horas de aireación ala sombra antes de la siembra, más dos aplicaciones en campo a los 25 y 50 días después de la siembra. La prueba t de Student para muestras independientes demostró que la imbibición durante 24 h a 10 mL L^{-1} redujo significativamente la incidencia de este defecto con relación al tratamiento en ausencia del bioproducto. El factor de Bayes y el análisis bootstrap confirmaron la solidez de la diferencia ($p < 0.001$). El grupo control registró una media de 26.30 % con mayor dispersión, mientras que el tratamiento experimental alcanzó una media de 15.10 %, lo que representó una disminución absoluta de 11.20 puntos porcentuales. Los hallazgos indicaron que la acción sinérgica de los microorganismos favoreció el llenado del endospermo. El estudio concluyó que este bioestimulante representa una alternativa viable para optimizar la calidad aparente y el valor industrial del grano.

Palabras clave:

Bioestimulantes, calidad industrial, endospermo, microorganismos eficientes, rendimiento de molienda.

ABSTRACT

The commercial quality of rice (*Oryza sativa* L.) is compromised by appearance defects such as endosperm chalkiness, which reduces milling yield. This study evaluated the effect of the Lebame® bioproduct on the percentage of chalky grains in the IACuba 41 cultivar. A field experiment was established on a Vertisol, analyzing seed imbibition with the bioproduct at a dose of 10 mL L^{-1} for 24 hours, followed by 48 hours of shaded aeration prior to sowing, plus two field applications at 25 and 50 days after sowing. An independent-samples Student's t-test demonstrated

that 24-hour imbibition at 10 mL L^{-1} significantly reduced the incidence of this defect relative to the treatment without the bioproduct. The Bayes factor and bootstrap analysis confirmed the robustness of the difference ($p < 0.001$). The control group recorded a mean of 26.30 % with greater dispersion, whereas the experimental treatment reached a mean of 15.10 %, representing an absolute decrease of 11.20 percentage points. The findings indicated that the synergistic action of the microorganisms favored endosperm filling. The study concluded that this biostimulant represents a viable alternative for optimizing the apparent quality and industrial value of the grain.

Keywords:

Biostimulants, endosperm, efficient microorganisms, industrial quality, milling yield.

INTRODUCCIÓN

El arroz (***Oryza sativa*** L.) sustenta a más de la mitad de la humanidad, con demanda global en aumento sostenido. Sin embargo, su producción enfrenta restricciones de calidad que deprecian su valor comercial, particularmente los granos cremosos, los cuales reducen el rendimiento molinero (He et al., 2024). La cremosidad, definida como la opacidad del endospermo causada por estructuras de almidón de baja densidad, compromete la apariencia, la cocción y la molienda del arroz (Nakamura et al., 2022).

En América Latina y el Caribe, la dependencia del 85 % de fertilizantes importados, sumada al cambio climático, ha impulsado la búsqueda de alternativas biológicas para la productividad arrocera (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2024). En el contexto cubano, la superficie dedicada al cultivo de arroz ha mostrado una tendencia decreciente en los últimos años, lo que compromete la capacidad de autoabastecimiento nacional de este cereal, base fundamental de la dieta de la población.

Según Casanovas et al. (2022), al analizar el comportamiento de la superficie agrícola explotada y los rendimientos agrícolas en Cuba, los cereales registraron una disminución en su área cultivada, con una variación de -16,22 % en el arroz y -10,16 % en el maíz (***Zea mays*** L.) durante el período estudiado. Esta reducción de la superficie sembrada, sumada a las limitaciones en el acceso a insumos agrícolas, fertilizantes, semillas y combustible, que enfrenta el sector agropecuario cubano, plantea serios desafíos para la seguridad alimentaria del país y refuerza la pertinencia de estrategias de transición agroecológica que optimicen el uso de bioinsumos y sistemas de manejo integrado como alternativa para revertir esta tendencia.

Entre los cultivares de arroz de mayor difusión figura IACuba 41, obtenido por selección recurrente y registrado en 2009, con comportamiento agroproductivo variable según la época de siembra y las condiciones agrometeorológicas (Zambrana et al., 2025).

Investigaciones recientes con IACuba 41 en Los Palacios, zona arrocera de la provincia de Pinar del Río, han revelado que, durante la época lluviosa, el rendimiento se asocia con el número de panículas por metro cuadrado, la masa de 1 000 granos y el número de granos vanos, lo que demuestra limitaciones en la fuente que impiden alcanzar rendimientos máximos (Zambrana et al., 2025). Estos resultados coinciden con estudios en otras variedades cubanas donde biofertilizantes foliares incrementaron los granos llenos y redujeron el vaneamiento. No obstante, la investigación sobre bioinsumos en el arroz cubano se ha centrado en rendimiento agrícola, dejando un vacío sobre el efecto específico en indicadores de calidad del grano, particularmente granos cremosos.

Frente a estos desafíos, la agricultura sostenible apunta hacia bioinsumos que optimicen la nutrición vegetal y mitiguen el estrés abiótico sin los efectos adversos de los agroquímicos sintéticos. Los biofertilizantes y bioestimulantes, formulados con microorganismos benéficos, han mostrado efectos positivos sobre el crecimiento vegetativo, la absorción de nutrientes y el rendimiento de cereales.

En este contexto, el bioproducto Lebame® del ICIDCA emerge como alternativa bioestimulante. Es un consorcio líquido de microorganismos eficientes compuesto por *Bacillus subtilis* B/23-45-10 Nato, *Lactobacillus bulgaricum* B/103-4-1 y *Saccharomyces cerevisiae* L-25-7-12 (Ortega-Arias-Carbajal et al., 2015). Las cepas de *Bacillus subtilis* promueven la solubilización de fosfato y la resistencia sistémica inducida, mientras que *Lactobacillus* y *Saccharomyces* contribuyen a la acidificación rizosférica y la producción de metabolitos bioactivos. Estos mecanismos mejoran la absorción de nutrientes y la biosíntesis de fitohormonas, determinantes en el llenado del grano y la reducción de abortos florales. En base a lo antes expuesto el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del bioproducto Lebame en los granos cremosos de arroz cultivar IACuba 41.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se ubicó en un área que tradicionalmente se cultiva con arroz (20.491950° N, 76.816950° O), de la Cooperativa de Créditos y Servicios (CCS) José Nemesio Figueredo, perteneciente a la Empresa Agroindustrial de Granos Fernando Echenique, municipio de Río Cauto, provincia Granma, Cuba, en un suelo Vertisol, en el mes de enero del 2025. El cultivar utilizado fue IACuba 41 proveniente del programa cubano de mejoramiento genético del arroz, cuyas semillas de categoría Registrada se obtuvieron en la Unidad Empresarial de Base La Gavina, dedicada a la producción de semilla de la empresa antes mencionada.

Las características del cultivar IACuba 41, denominado primeramente como Selección 1, se describen a continuación (Alfonso-Carballo et al., 2020):

- Altura de la planta: 102 cm.
- Ciclo (seca/lluvia): 139/118 días.
- Hábito de crecimiento: Semierecto.
- Capacidad de ahijamiento: Intermedia (11-14).
- Rendimiento promedio (seca/lluvia): 7.1/5.8 t ha-1.
- Relación largo/ancho de la semilla: 3.4.
- Peso de 1 000 granos secos: 28.4 g.
- Período de latencia de la semilla: 60 días.
- Longitud de la panícula: 23.7 cm.
- Densidad de la panícula: Compacta.
- Cantidad de granos llenos por panícula: 124.
- Porcentaje de grano blanco entero: 60.2.
- Porcentaje de cristalinidad: 94.5.
- Humedad óptima de cosecha: 20-26 %.

Fecha de siembra: diciembre-enero-febrero en época poco lluviosa, y junio-julio para la temporada lluviosa.

Otras características: Alto potencial de rendimiento agrícola, excelente calidad molinera y resistente a Tagosodes o sogata (***Tagosodes*** orizicolus Muir). La preparación de suelos y las labores fitotécnicas se desarrollaron por fangueo de acuerdo con el Instructivo Técnico de Cultivo del Arroz en Cuba. Se delimitaron parcelas de 16 m^2 (4 x 4 m) con tres réplicas por cada tratamiento, y un área de muestreo experimental de 9 m^2, a partir del centro de cada parcela para evitar el efecto de borden y la colindancia con otras parcelas.

No se aplicaron fertilizantes químicos, y se realizó una aplicación de herbicida 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) para controlar las especies de plantas de hoja ancha a los 25 días después de la siembra a una dosis de 1.5 l ha^{-1}, con el empleo de una Mochila Matabi de 16 litros de capacidad, en el horario comprendido entre las 7:00 – 9:00 am.

Antes de la siembra se acondicionaron 50 kg de semillas en cada tratamiento. Un tratamiento consistió en embeber durante 24 horas el bioproducto Lebame® a 10 mL L^{-1} de agua (dosis con mejores resultados; mientras que las semillas del tratamiento control se embebieron en agua sin la presencia del bioproducto durante 24 horas. En ambos tratamientos se utilizó el agua del canal de riego que abastece los campos de arroz del lugar para una mayor representatividad de las condiciones locales. Tras este tiempo, las semillas se colocaron a la sombra en un lugar aireado durante 48 horas. Posteriormente, se sembraron en el campo a voleo de forma manual. Una vez establecido el cultivo se realizaron dos aplicaciones en campo con el bioproducto con la misma dosis a los 30 y 60 días después de la siembra con mochila Matabi de 16 L, con la precaución de no ser la misma utilizada para la aplicación de herbicidas.

En el mes de mayo se registraron las temperaturas máximas diarias en grados Celsius para obtener un promedio mensual, cuyos datos se obtuvieron de la Estación Meteorológica ubicada en áreas de la Estación Territorial de Granos (ETIAG) de Jucarito, Río Cauto.

La cosecha se realizó a los 120 días después de la siembra de forma manual. Se evaluó como variable respuesta el porcentaje de granos cremosos por panícula (%), en una muestra de 5 observaciones al azar en cada una de las tres parcelas para un total de 15 observaciones por tratamiento.

El porcentaje de granos cremosos se determinó por cada panícula tomada al azar en las 15 observaciones al contabilizar la cantidad de granos llenos con manchas de color cremoso con relación a la cantidad de granos totales, utilizando un umbral mayor del 20 % de la superficie total del grano. La metodología se basó en el Standard Evaluation System (SES) del International Rice Research Institute & International Network for Genetic Evaluation of Rice (2014), que clasifican la opacidad del endospermo en una escala ordinal donde: 0 = ausencia de opacidad, 1 = opacidad pequeña (menos del 10 %), 5 = opacidad media (11 % a 20 %), y 9 = opacidad grande (más del 20 %) (IRRI, 2014). Esta aproximación metodológica difiere de los estándares comerciales del USDA-Grain Inspection, Packers and Stockyards Administration (GIPSA), que establecen un umbral más restrictivo (≥50 % de opacidad) para la clasificación de granos cremosos en el comercio internacional. Con la finalidad de determinar la dispersión de los datos de ambos tratamientos se determinaron la desviación estándar y la varianza muestral, así como el coeficiente de variación.

Previamente a las comparaciones entre tratamientos, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. La normalidad de la distribución de los datos por Shapiro-Wilk. La homogeneidad de varianzas entre tratamientos se determinó mediante la prueba de Levene. Ambos supuestos fueron cumplidos al ser los valores de $p \geq 0.05$, por lo que se aplicó la prueba t de Student para muestras independientes.

Como complemento a las pruebas frecuentistas, se aplicó estadística bayesiana a través del factor de Bayes (BF_{10}) para cuantificar la evidencia a favor de la hipótesis alternativa (H_1: existen diferencias entre tratamientos) frente a la hipótesis nula (H_0: no existen diferencias). La clasificación de la evidencia Bayesiana se realizó según la escala de Jeffreys modificada (Jeffreys, 1961): $BF_{10} < 1/3$ indicó evidencia fuerte a favor de H_0; $1/3 \leq BF_{10} < 1$, evidencia anecdótica a favor de H_0; $1 \leq BF_{10} < 3$, evidencia anecdótica a favor de H_1; $3 \leq BF_{10} < 20$, evidencia moderada a favor de H_1; $20 \leq BF_{10} < 150$, evidencia fuerte a favor de H_1; y $BF_{10} \geq 150$, evidencia muy fuerte a favor de H_1.

Se realizó además un análisis de remuestreo bootstrap con 9 999 iteraciones para validar la robustez de los

valores p obtenidos mediante las pruebas paramétricas. Bajo la hipótesis nula de no diferencia entre tratamientos, se permutaron los datos combinados de ambos tratamientos, se aleatorizaron las asignaciones a los dos tratamientos manteniendo los tamaños muestrales originales y se calculó la diferencia de medias en cada iteración. El valor p bootstrap se determinó como la proporción de diferencias absolutas simuladas iguales o mayores que la diferencia absoluta observada Todos los análisis se realizaron en el entorno de programación R versión 4.6.0 (R Core Team, 2026).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis del porcentaje de granos cremosos por panícula reveló patrones contrastantes de dispersión entre las condiciones evaluadas, tal como se detalla en la Tabla 1. El grupo Control presentó los valores más elevados de variabilidad absoluta, al registrar una desviación estándar de 6.03 y una varianza de 36.41. A diferencia de lo anterior, el tratamiento con el bioproducto Lebame (24 h, 10 mL L^{-1}) concentró los estadísticos de dispersión más reducidos, con una desviación estándar de 2.40 y una varianza de 5.78.

La evaluación de la dispersión relativa arrojó un comportamiento inverso al observado en las medidas absolutas. El tratamiento experimental obtuvo un coeficiente de variación de 25.86 %, mientras que el grupo Control mostró un valor de 22.94 %. La diferencia entre los coeficientes de variación de ambas condiciones alcanzó 2.92 puntos porcentuales. Este resultado indica una mayor heterogeneidad relativa en las respuestas del tratamiento con el bioproducto en relación con la magnitud de su media, a pesar de su menor varianza absoluta.

Los estadísticos de dispersión del porcentaje de granos cremosos evidenciaron que la varianza más alta correspondió al grupo Control (36.41), acompañada de la desviación estándar máxima de 6.03. Por su parte, el tratamiento con Lebame a 24 h y 10 mL L^{1} ocupó la posición de menor dispersión absoluta, con una varianza de 5.78 y una desviación estándar de 2.40. No obstante, en términos de dispersión relativa, el tratamiento experimental registró el coeficiente de variación más elevado (25.86 %), superando al valor del grupo Control (22.94 %).

Tabla 1. Estadísticos de dispersión.

Tratamiento	Desv estándar	Varianza	Coef variación
Lebame 24 h 10 mL L-1	2.40	5.78	25.86
Control	6.03	36.41	22.94

El análisis de la variabilidad en el porcentaje de granos cremosos por panícula constituye un elemento central para comprender la consistencia del efecto atribuible al bioproducto Lebame. El objetivo de la investigación apuntaba a evaluar si la imbibición de semillas y las aplicaciones foliares de dicho biopreparado modulaban la incidencia de este defecto de calidad en el cultivar IACuba 41. Los patrones de dispersión observados revelan que el tratamiento experimental no solo redujo la magnitud promedio del defecto, sino que concentró las respuestas individuales en un rango más estrecho, lo cual sugiere una acción homogeneizadora sobre el llenado del endospermo. Esta reducción en la variabilidad absoluta constituye un indicador de que el bioestimulante ejerce un efecto estabilizador sobre la expresión fenotípica del carácter, coherente con la hipótesis de una mejora en la calidad aparente del grano.

La coherencia entre menor varianza absoluta y menor desviación estándar en el tratamiento con Lebame coincide con lo reportado por Wang et al. (2022) en su evaluación de coeficientes de variación en arroces de alta calidad del sur de China, donde los autores demostraron que la estabilidad de los componentes de rendimiento y calidad puede inferirse a partir de la magnitud de la dispersión absoluta entre genotipos. El cálculo de desviaciones estándar y coeficientes de variación a partir de experimentos de larga duración permite desentrañar estructuras de varianza propias de cada tratamiento agronómico, independientemente de las diferencias en las medias centrales. En este sentido, la inclusión sistemática de estadísticos de dispersión en la presente investigación no constituye un mero formalismo numérico, sino una estrategia analítica que posibilita discriminar entre efectos de localización y efectos de escala.

Los resultados de Tokatlidis (2023) demuestran que el coeficiente de variación, cuando se interpreta con cautela, funciona como un índice de homeostasis que refleja la capacidad de un tratamiento para atenuar la variación ambiental adquirida entre unidades experimentales. La aplicación de esta lógica al presente estudio permite sostener que la menor varianza observada en el grupo tratado con Lebame evidencia una mayor homeostasis fisiológica durante el llenado del endospermo. Cabe destacar que la utilidad de la prueba t de Student para muestras independientes, empleada en este estudio, se robustece cuando los estadísticos de dispersión revelan homogeneidad de varianzas entre grupos, puesto que la interpretación de la significancia estadística adquiere sentido solo en presencia de una estimación confiable del error experimental.

Si bien los estadísticos de dispersión aportan información valiosa sobre la estructura de la variabilidad, es necesario considerar que el tamaño muestral de quince observaciones por tratamiento constituye una restricción para la estimación precisa de la varianza poblacional, dado que los estimadores muestrales exhiben mayor error estándar bajo tamaños reducidos.

En relación con los estadísticos de validación de supuestos presentados (Tabla 2), el valor p más elevado correspondió a la prueba de Shapiro-Wilk (p = 0.175), en tanto que el valor más reducido se registró en la prueba de Levene (p = 0.054). Al evaluarse únicamente dos supuestos, no se registraron valores intermedios entre el máximo y el mínimo reportados. Ambos estadísticos reflejan la decisión de no rechazo para los supuestos del análisis comparativo del porcentaje de granos cremosos por panícula.

Tabla 2. Pruebas de supuestos para el análisis comparativo del porcentaje de granos cremosos por panícula.

Supuesto	Prueba	Valor p	Decisión
Normalidad	Shapiro-Wilk	0.175	No se rechaza normalidad
Homogeneidad de varianzas	Levene	0.054	No se rechaza heterocedasticidad

El cumplimiento de los supuestos estadísticos de normalidad de los datos y homogeneidad de varianzas, evidenciado por la ausencia de diferencias significativas, permitió la aplicación de la prueba t de Student para variables independientes en el análisis comparativo del porcentaje de granos cremosos por panícula.

Cabe señalar que, si bien la prueba de Levene no evidenció heterogeneidad de varianzas entre el grupo Control y el tratamiento con Lebame (p > 0.05), esta prueba evalúa exclusivamente la igualdad de varianzas entre niveles del factor experimental, pero no verifica el supuesto de independencia entre media y varianza que subyace al coeficiente de variación.

El coeficiente de variación se define como el cociente entre la desviación estándar y la media aritmética; por tanto, su magnitud depende no solo de la dispersión absoluta, sino también del nivel de la respuesta. En el presente estudio, la media del tratamiento experimental fue sustancialmente inferior a la del control, lo cual redujo el denominador del cociente en una proporción que incrementa el valor del CV en el grupo Lebame por encima de lo que una lectura puramente biológica sugeriría. Dado que no se modeló formalmente la relación entre ambos tratamientos mediante la ley de potencia de Taylor ni se diagnosticó la estructura de varianza a través de modelos de localización-escala, la comparación directa de los coeficientes de variación entre tratamientos debe interpretarse con reserva. En consecuencia, la menor varianza y desviación estándar absolutas registradas en el grupo tratado constituyen indicadores más robustos de una respuesta homogénea, mientras que el mayor CV relativo refleja, en parte, una propiedad algebraica vinculada a la reducción de la media más que una mayor inestabilidad fenotípica intrínseca.

Los resultados de la prueba t de Student evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 3). El valor de p alcanzó 0.000, con un estadístico FB10 de 1.4e+04. De manera consistente, el valor p obtenido mediante Bootstrap fue igualmente 0.000. Ambos procedimientos confirmaron una diferencia estadísticamente significativa al nivel de 0.05 entre el tratamiento 24 h 10 mL L^{-1} y el Control.

El valor medio más elevado correspondió al grupo Control (26.30 %, error estándar = 1.56), mientras que el tratamiento 24 h 10 mL L^{-1} concentró el valor medio más reducido (15.10 %, error estándar = 0.85). La diferencia absoluta entre medias alcanzó 11.20 puntos porcentuales. Los errores estándar indicaron una mayor dispersión alrededor de la media en la condición Control respecto al tratamiento experimental.

Tabla 3. Análisis comparativo de los valores medios y su error estándar del porcentaje de granos cremosos por panícula entre tratamientos. Valores de p < 0.05 indican diferencias significativas para la prueba t de Student.

Estadísticos	Tratamientos	
	Lebame 10 mL L^{-1} 24 h	Control
Media ± EE (%)	9.05 ± 0.68	26.30 ± 1.56
Valor p t Student	0.000	
Valor p Bootstrap	0.000	
Factor de Bayes (FB10)	8.13e+07	

Los resultados confirmaron que la aplicación del consorcio a la dosis de 10 mL L^{-1} durante 24 h redujo significativamente la incidencia de granos cremosos respecto al control. Esta disminución respalda la hipótesis de partida, que postulaba una acción favorable del Lebame sobre la calidad aparente del grano. La cremosidad constituye uno de los defectos de apariencia más relevantes en el arroz, puesto que reduce el rendimiento de molienda y afecta la aceptabilidad comercial del producto.

La reducción observada en granos cremosos se alinea con lo reportado en la literatura reciente sobre los determinantes de la calidad del grano de arroz. La calidad del grano emerge de la interacción dinámica entre genotipo, ambiente y prácticas de manejo, siendo la cremosidad un atributo particularmente sensible a factores abióticos y agronómicos. En este marco, la incorporación de bioproductos como el Lebame representa una estrategia de manejo que modula la expresión fenotípica de la calidad sin alterar el fondo genético del cultivar. Asimismo, Zhao et al. (2026) enfatizan que la reducción de la cremosidad constituye un objetivo central en el mejoramiento de la calidad del arroz, dado que este defecto se asocia con alteraciones en la deposición de almidón y en la estructura del endospermo.

El bioproducto Lebame consiste en un consorcio líquido de microorganismos eficientes integrado por ***Bacillus subtilis*** B/23-45-10 Nato, ***Lactobacillus bulgaricum*** B/103-4-1 y ***Saccharomyces cerevisiae*** L-25-7-12. La interacción sinérgica de estos taxones explica la disminución de la cremosidad registrada. ***B. subtilis*** actúa como bacteria promotora del crecimiento vegetal al solubilizar nutrientes, sintetizar fitohormonas como el ácido indolacético (AIA) y modular enzimas del metabolismo del carbono. En arroz, la inoculación de este microorganismo mejoró los índices fisiológicos y la actividad enzimática foliar, y favoreció un llenado uniforme del grano. Paralelamente, ***L. bulgaricum*** genera ácidos orgánicos que acidifican la rizosfera, lo cual incrementa la disponibilidad de fósforo y micronutrientes indispensables para el desarrollo del endospermo. De forma complementaria, ***S. cerevisiae*** suministra compuestos bioactivos, vitaminas del complejo B y aminoácidos con función bioestimulante, a la vez que solubiliza fosfato y potasio.

El mecanismo a través del cual el consorcio modifica la calidad del grano parece mediarse por un mejor balance nutricional durante el llenado del endospermo. Thongnok et al. (2024) evidenciaron que las bacterias promotoras del crecimiento preservan la actividad de las enzimas vinculadas a la biosíntesis de almidón en granos en desarrollo, aun bajo condiciones de estrés. En su investigación, la coinoculación de bacterias oxidantes de As (III) y promotoras del crecimiento aumentó la acumulación de almidón y mejoró la calidad del grano en arroz expuesto a estrés por arsénico. Aunque el presente estudio no evaluó de manera directa la actividad enzimática, resulta plausible que el Lebame haya modulado procesos metabólicos análogos durante el llenado del grano en la variedad IACuba 41, lo cual propiciaría una deposición de almidón más compacta y homogénea en el endospermo.

Acorde con estos hallazgos, Kumawat et al. (2023) comprobaron en un ensayo de larga duración con arroz basmati orgánico que la coaplicación de biofertilizantes, enmiendas orgánicas, residuos de cultivo, estiércol de corral y vermicompost mejoró las propiedades fisicoquímicas del suelo, tales como el carbono orgánico, los nutrientes disponibles y la capacidad de retención hídrica. Dicho manejo también optimizó la calidad nutricional y molinera del grano, al aumentar el contenido proteico, la relación longitud/ancho y la recuperación de grano entero. En relación con el Lebame, Carrillo-Sosa et al. (2017) registraron efectos positivos en la germinación de semillas de tomate, en tanto Ortega-Arias-Carbajal et al. (2015) confirmaron su estabilidad microbiológica tras seis meses de almacenamiento. Tales antecedentes sustentan la hipótesis de que los microorganismos eficientes influyen favorablemente en procesos fisiológicos determinantes durante el desarrollo del grano. En esta misma línea, Ríos-Ruiz et al. (2020) establecieron que la inoculación con consorcios bacterianos eleva el rendimiento y la calidad del grano de arroz, a la vez que posibilita la reducción de fertilizantes nitrogenados sin comprometer la producción.

Pese a lo anterior, existen diferencias notables entre la presente investigación y los trabajos precedentes. La literatura disponible sobre el Lebame se ha enfocado mayoritariamente en cultivos hortícolas o en la aclimatación de plantas ***in vitro***, sin abordar de forma específica la calidad del grano en cereales. El actual estudio aporta evidencia directa sobre la utilidad de este bioproducto para mitigar un defecto de apariencia en una variedad cubana de relevancia agrícola. Cabe recordar que Doni et al. (2022) advirtieron que los consorcios microbianos se han desarrollado con énfasis en el rendimiento del arroz, por lo que su efecto sobre atributos de calidad como la cremosidad continúa escasamente documentado. Tal divergencia metodológica indica que la respuesta del grano al Lebame podría depender de la especie vegetal, la dosis aplicada y las condiciones edafoclimáticas del sitio de evaluación.

En el ámbito práctico, los resultados indican que el Lebame es susceptible de integrarse en sistemas de manejo orientados a la obtención de granos con mayor calidad comercial. La disminución de granos cremosos conlleva un incremento potencial en el porcentaje de grano entero tras la molienda, indicador primordial de calidad industrial. La formulación que combina ***B. subtilis***, ***L. bulgaricum*** y ***S. cerevisiae*** confiere una ventaja sinérgica al articular mecanismos complementarios, donde la bacteria grampositiva modula el metabolismo vegetal, el ácido láctico optimiza la disponibilidad de nutrientes en la rizosfera y la levadura suministra bioestimulantes que favorecen la tolerancia al estrés. Pacheco et al. (2021) corroboraron que los consorcios microbianos mejoran la eficiencia en el uso de fósforo y la productividad de los cultivos, lo cual refrenda la utilidad de esta estrategia en el manejo integrado de nutrientes.

Los datos obtenidos posicionan al bioproducto como una alternativa viable para mejorar la calidad aparente del grano de arroz en IACuba 41, al reducir la cremosidad mediante la acción sinérgica de *B. subtilis, L. bulgaricum y S. cerevisiae*. La convergencia entre estos resultados y la literatura especializada sobre microorganismos promotores del crecimiento delinean una ®investigación prometedora para el desarrollo de protocolos de manejo integrado en el cultivo del arroz en Cuba.

El estrés térmico durante el llenado deteriora la calidad de apariencia al disminuir la plenitud del grano, aumentar la cremosidad y reducir la translucidez. Temperaturas superiores a 26 °C provocan con facilidad apariencia cremosa y reducción del peso del grano. A esto se suma que la interacción entre el estrés térmico y el manejo de nitrógeno evidencia cómo los factores ambientales y agronómicos modulan de forma conjunta la calidad del grano.

La temperatura promedio de mayo constituyó un factor ambiental determinante para interpretar los valores de

cremosidad observados en el cultivar IACuba 41, toda vez que los registros superaron los 25 °C durante la ventana crítica de llenado del grano. Las temperaturas medias superiores a 26 °C inhiben la biosíntesis de almidón y alteran la estructura de los gránulos, lo cual genera depósitos irregulares y espacios de aire entre amiloplastos que se manifiestan como opacidad en el endospermo. Tal fenómeno concuerda con lo reportado por Park et al. (2025), quienes observaron que incrementos de apenas 1,1 °C en la temperatura media de llenado elevaron la proporción de granos cremosos respecto a años más frescos. De manera similar, Chowdhury et al. (2025) identificaron la histidina como marcador metabólico de la cremosidad bajo estrés térmico nocturno asociado a un estado de normoxia restringida.

La aplicación del bioproducto Lebame ejerce una influencia favorable sobre la calidad aparente de la variedad de arroz IACuba 41 al reducir la incidencia de granos cremosos. Este hallazgo confirma la hipótesis inicial que postula una acción positiva del consorcio microbiano sobre los atributos visuales del grano, donde la sinergia entre los microorganismos de la formulación modula la expresión fenotípica de la calidad sin alterar el fondo genético del cultivar.

La disminución de este defecto visual se asocia con una mejora en el balance nutricional durante la etapa de llenado del endospermo. La acción conjunta de las bacterias y levaduras del consorcio promueve la disponibilidad de nutrientes en la rizosfera y aporta compuestos bioactivos con función bioestimulante. Dicha modulación metabólica favorece una deposición de almidón más compacta y homogénea, lo cual se traduce directamente en una mayor plenitud y translucidez del grano. La variabilidad observada en la condición testigo resalta la sensibilidad de este atributo a los factores ambientales, en contraste con el tratamiento, el cual logra estabilizar la respuesta fenotípica.

La incorporación de este bioproducto en los sistemas de manejo configura una estrategia viable para la obtención de granos con mayor calidad comercial, toda vez que la reducción de la cremosidad implica un incremento potencial en la proporción de grano entero tras la molienda, indicador primario de calidad industrial. El empleo de un consorcio con mecanismos complementarios ofrece una ventaja sinérgica para el manejo integrado de nutrientes en el cultivo del arroz. Tales resultados establecen al bioproducto como una herramienta pertinente para mitigar el deterioro de la calidad asociado al llenado del grano y proporcionan una base teórica y práctica para el desarrollo de protocolos agrícolas orientados a optimizar el valor comercial de la cosecha.

CONCLUSIONES

La aplicación del bioproducto Lebame® mediante el acondicionamiento de las semillas, complementado con dos aplicaciones durante el desarrollo del cultivo, redujo significativamente la incidencia de granos cremosos en el cultivar de arroz IACuba 41. Los resultados evidenciaron una disminución sustancial de este defecto respecto al tratamiento control, respaldada por la prueba t de Student, el análisis bootstrap y el factor de Bayes, lo que confirma la consistencia estadística del efecto observado.

El tratamiento con Lebame® también presentó una menor dispersión absoluta de los valores de cremosidad, expresada mediante la desviación estándar y la varianza, lo que evidencia una respuesta más homogénea del cultivo bajo las condiciones experimentales evaluadas. Estos resultados indican que el empleo del consorcio microbiano contribuye no solo a disminuir la magnitud del defecto, sino también a reducir su variabilidad absoluta entre las unidades evaluadas.

En las condiciones edafoclimáticas y de manejo del estudio, Lebame® constituye una alternativa biológica con potencial para mejorar la calidad aparente del grano de IACuba 41. Su incorporación a las prácticas de manejo del cultivo podría contribuir a disminuir la cremosidad del endospermo y, con ello, favorecer atributos asociados con la calidad industrial y comercial del arroz. No obstante, debido al tamaño muestral y a que el experimento se desarrolló en una localidad y ciclo productivo determinados, resulta necesario validar estos resultados en diferentes ambientes, épocas de siembra y condiciones de manejo antes de generalizar su aplicación.

REFERENCIAS

Alfonso-Carballo, R., Rivero-Landeiro, L. E., Suárez-Crestelo, E., Martínez-Grillo, J., Riverón-Valdés, A., Cabañas-Hecgavarría, M., Gonzélez-Morera, T., Alemán-Manfarrol, L., Adelfa-Hernández, A., Contreas-Pérez, Y., Hong-Son, N., Truong-Son, Y., Xuan-Dung, N., & Thi-Van, T. (2020). ***Instructivo técnico del cultivo del arroz***. Instituto de Investigaciones de Granos, Ministerio de la Agricultura.

Carrillo-Sosa, Y., Terry-Alfonso, E., Ruiz-Padrón, J., Díaz-De Villegas, M. E., & Delgado, G. (2017). Efecto del LEBAME en la germinación de semillas de tomate (***Solanum lycopersicum*** L.). ***Cultivos Tropicales, 38***(3), 30–35. https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/4/2065

Casanovas, E., Suárez del Villar, A., Álvarez, A., & Avilleira, I. (2022). Valoración de la seguridad alimentaria cubana a partir de la superficie agrícola explotada y los rendimientos agrícolas. ***Revista Universidad y Sociedad, 14***(5), 304–314. https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/3226

Chowdhury, N. B., Chandran, A. K. N., Walia, H., Shahreen, N., Stone, E., Knobbe, E., & Saha, R. (2025). Transcriptome enhanced rice grain metabolic model identifies histidine level as a marker for grain chalkiness. *Scientific Reports, 15*, Article 16432. https://doi.org/10.1038/s41598-025-00504-6

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2024). *Perspectivas de la agricultura y el desarrollo rural en América Latina y el Caribe 2023–2024: Una mirada hacia América Latina y el Caribe*. IICA. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/6ee-d817e-f9c7-449a-913f-76bb41c13375/content

Doni, F., Suhaimi, N. S. M., Mispan, M. S., Fathurrahman, F., Marzuki, B. M., Kusmoro, J., Isahak, A., & Uphoff, N. (2022). Microbial contributions for rice production: From conventional crop management to the use of 'omics' technologies. *International Journal of Molecular Sciences, 23*(2), 737. https://doi.org/10.3390/ijms23020737

Gómez-Kosky, R., Bernal-Villegas, A., Reyes-Esquirol, C. F., Núñez-Jaramillo, D., Bermúdez-Calimano, M., Cárdenas-Cuellar, Y., Machado-Armas, P., & Castillo-León, R. (2019). Efecto de los microorganismos eficientes Lebame, en la aclimatización *ex vitro* de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) cultivar C87-51. *Revista ICIDCA sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 53*(3), 3–12. https://www.revista.icidca.azcuba.cu/wp-content/uploads/2020/05/art%C3%ADculo-2-2.pdf

He, C., Deng, F., Yuan, Y., Huang, X., He, Y., Li, Q., Li, B., Wang, L., Cheng, H., Wang, T., Tao, Y., & Wang, L. (2024). Appearance, components, pasting, and thermal characteristics of chalky grains of rice varieties with varying protein content. *Food Chemistry, 440*, 138256. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138256

International Rice Research Institute, & International Network for Genetic Evaluation of Rice. (2014). *Standard evaluation system for rice (SES)* (5th ed.). International Rice Research Institute.

Jeffreys, H. (1961). *Theory of probability* (3rd ed.). Oxford University Press.

Kumawat, A., Kumar, D., Shivay, Y. S., Bhatia, A., Rashmi, I., Yadav, D., & Kumar, A. (2023). Long-term impact of biofertilization on soil health and nutritional quality of organic basmati rice in a Typic Ustchrept soil of India. *Frontiers in Environmental Science, 11*, 1031844. https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1031844

Nakamura, S., Satoh, A., Aizawa, M., & Ohtsubo, K. (2022). Characteristics of physicochemical properties of chalky grains of Japonica rice generated by high temperature during ripening. *Foods, 11*(1), 97. https://doi.org/10.3390/foods11010097

Ortega-Arias-Carbajal, G. M., Díaz de Villegas, M. E., Delgado-Arrieta, G., & Martínez-Sánchez, A. (2015). Estudio de estabilidad del bioproducto Lebame. *Revista ICIDCA sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 49*(3), 3–8. https://www.redalyc.org/pdf/2231/223144218001.pdf

Pacheco, I., Ferreira, R., Correia, P., Carvalho, L., Dias, T., & Cruz, C. (2021). Microbial consortium increases maize productivity and reduces grain phosphorus concentration under field conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences, 28*(1), 232–237. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.09.053

Park, J.-R., Ha, S.-K., Lee, H.-S., Lee, G., Lee, S. Y., Kang, K. M., Suh, J.-P., Jin, M., Park, H.-S., Lee, C.-M., Seo, J., Park, S., Lee, K.-M., & Jeong, O.-Y. (2025). Climate-driven trends in rice grain appearance: A 2023–2024 comparative study using Korea field data. *Journal of Crop Science and Biotechnology, 28*(5), 657–668. https://doi.org/10.1007/s12892-025-00308-0

R Core Team. (2026). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. https://www.r-project.org/

Ríos-Ruiz, W. F., Torres-Chavez, E. E., Torres-Delgado, J., Rojas-Garcia, J. C., Bedmar, E. J., & Valdez-Nunez, R. A. (2020). Inoculation of bacterial consortium increases rice yield (*Oryza sativa* L.) reducing applications of nitrogen fertilizer in San Martin region, Peru. *Rhizosphere, 14*, 100200. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100200

Thongnok, S., Siripornadulsil, W., Thanwisai, L., & Siripornadulsil, S. (2024). As(III)-oxidizing and plant growth-promoting bacteria increase the starch biosynthesis-related enzyme activity, 2-AP levels, and grain quality of arsenic-stressed rice plants. *BMC Plant Biology, 24*, Article 672. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05352-6

Tokatlidis, I. S., Vrochidis, I., Sistanis, I., Pankou, C. I., Sinapidou, E., Papathanasiou, F., & Vlachostergios, D. N. (2023). Testing the validity of CV for single-plant yield in the absence of competition as a homeostasis index. *Agronomy, 13*(1), 176. https://doi.org/10.3390/agronomy13010176

Wang, H., Xiong, R., Zhou, Y., Tan, X., Pan, X., Zeng, Y., Huang, S., Shang, Q., Xie, X., Zhang, J., & Zeng, Y. (2022). Grain yield improvement in high-quality rice varieties released in southern China from 2007 to 2017. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 6*, 986655. https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.986655

Zambrana, J. M. F., Maqueira López, L. A., Pérez León, N., & Páez López, A. (2025). Productividad del cultivar de arroz IACuba 41, en área de producción de semilla en Los Palacios. *Avances, 27*(2), 166–178. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10117642

Zhao, D., Sreenivasulu, N., & Liu, Q. (2026). Mitigating rice chalkiness while ensuring grain quality and seed vigor. *Plant Communications*. https://doi.org/10.1016/j.xplc.2026.101816

Conflictos de interés:

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Contribución de los autores:

Sahily Cano-Llorente, Sergio Florentino Rodríguez-Rodríguez, María del Cármen Chávez-Cárdenas, Michel Tamayo-Saborit, Manuel José Linares-Álvaro, Gerardo Cueto-Aldana: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, supervisión, validación, visualización, redacción del borrador original y redacción, revisión y edición.

Declaración ética:

El estudio se desarrolló conforme a los principios éticos y de integridad de la investigación científica, garantizando el rigor, la transparencia y la responsabilidad en todas sus etapas. Los autores aseguraron el manejo adecuado de los datos, la veracidad de los resultados y el cumplimiento de las buenas prácticas científicas durante el desarrollo de la investigación.