

Caracterización fisicoquímica y nutricional del arroz (*Oryza sativa* L.) enriquecido con ácido fólico para gestantes

*Physicochemical and nutritional characterization of folic acid-enriched rice
(Oryza sativa L.) for pregnant women*

Magna Angélica Gutiérrez Rodas ^a 
✉ mgutierrez@uagraria.edu.ec

Santo Daniel Borbor Suárez ^a 

Freddy Fernando Arcos Ramos ^a 

Pablo Juan Núñez Rodríguez ^a 

Evelyn Elizabeth Sánchez Castro ^a 

^a Universidad Agraria Del Ecuador. Guayaquil, Ecuador

Resumen

Palabras clave: Cereales;
Ciencias de la nutrición;
Embarazo; Tecnología de
alimentos; Vitaminas

Keywords:
Cereals; Nutrition sciences;
Pregnancy; Food
technology; Vitamins

Cómo citar: Gutiérrez
Rodas MA, Borbor Suárez
SD, Arcos Ramos FF,
Núñez Rodríguez PJ,
Sánchez Castro EE.
Caracterización
fisicoquímica y nutricional
del arroz (*Oryza sativa* L.)
enriquecido con ácido fólico
para gestantes. ALFA
Revista de Investigación en
Ciencias Agronómicas y
Veterinarias.
2026;10(29):01-13
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i29.484>

Contexto: La deficiencia de ácido fólico constituye un problema de salud pública que afecta especialmente a mujeres gestantes, aumentando el riesgo de defectos del tubo neural en la descendencia. Dado que el arroz es un alimento básico a nivel mundial, su fortificación con micronutrientes representa una estrategia potencial para mejorar la ingesta dietética de folatos. **Objetivos:** Este estudio tuvo como objetivo caracterizar fisicoquímica y nutricionalmente el arroz (*Oryza sativa* L.) enriquecido con ácido fólico mediante la técnica de parbolizado, evaluando su estabilidad térmica, su comportamiento durante el almacenamiento y su contribución a la ingesta de referencia de folatos en gestantes. **Metodología:** Se aplicó un diseño experimental comparando muestras de arroz control y enriquecido. Se analizaron dimensiones físicas, colorimetría CIE Lab* y contenido de ácido fólico mediante HPLC. Además, se evaluó la retención del micronutriente tras cocción y almacenamiento durante 90 días a 25 °C y 40 °C. **Resultados:** El arroz enriquecido mostró un aumento significativo en ácido fólico (1,52 mg/100 g crudo), con retención del 72,4 % tras cocción y 61,8 % tras 90 días a 25 °C. Los parámetros colorimétricos indicaron diferencias significativas entre control y enriquecido, mientras que las dimensiones físicas no se vieron afectadas. **Conclusiones:** El enriquecimiento de arroz mediante parbolizado constituye una alternativa viable para mejorar la ingesta de folatos en gestantes, manteniendo propiedades fisicoquímicas aceptables y una retención adecuada del nutriente. Esta estrategia ofrece un enfoque práctico para contribuir a la prevención de deficiencias de ácido fólico y sus consecuencias sobre la salud materno-infantil.

Abstract

Context: Folic acid deficiency remains a critical public health concern, particularly affecting pregnant women by increasing the risk of neural tube defects (NTDs) in offspring. Given that rice is a global staple crop, its micronutrient fortification represents a strategic approach to enhance dietary folate intake. **Objectives:** This study aimed to characterize the physicochemical and nutritional properties of rice (*Oryza sativa* L.) enriched with folic acid through the parboiling technique, evaluating its thermal stability, storage behavior, and potential contribution to the dietary reference intakes (DRIs) for pregnant women. **Methodology:** An experimental design was employed to compare control and enriched rice samples. Physical dimensions, CIE Lab* colorimetry, and folic acid content (via HPLC) were analyzed.



Furthermore, micronutrient retention was assessed following cooking and during a 90-day storage period at 25 °C and 40 °C. **Results:** Enriched rice exhibited a significant increase in folic acid (1.52 mg/100 g raw grain), with a retention rate of 72.4% after cooking and 61.8% after 90 days of storage at 25 °C. Colorimetric parameters showed significant differences between control and enriched samples, whereas physical dimensions remained unaffected. **Conclusions:** Rice enrichment via parboiling constitutes a viable strategy to improve folate intake in pregnant women, maintaining acceptable physicochemical properties and adequate nutrient retention. This approach offers a practical framework for preventing folic acid deficiencies and mitigating their impact on maternal and child health.

Introducción

El arroz (*Oryza sativa* L.) constituye uno de los cereales más consumidos a nivel mundial, sirviendo como alimento básico para más de la mitad de la población global. Su cultivo se extiende por los cinco continentes, con una producción que supera los 750 millones de toneladas anuales, lo que evidencia su relevancia en la seguridad alimentaria internacional ^(1,2). En numerosos países de Asia, África y América Latina, el arroz aporta entre el 40 y el 70 % de la energía calórica diaria de la dieta, constituyendo la principal fuente de carbohidratos para miles de millones de personas ^(3,4). Esta dependencia alimentaria hacia el arroz lo posiciona como un vehículo estratégico para intervenciones de fortificación nutricional, dado que cualquier modificación en su composición puede alcanzar un impacto poblacional significativo ^(5,6).

En este contexto, las limitaciones nutricionales del arroz blanco han sido ampliamente documentadas en la literatura científica. El proceso de molienda y pulido al que se somete el grano elimina entre el 60 y el 80 % de las vitaminas y minerales presentes en las capas externas del pericarpio y el germen, lo que da como resultado un producto con un perfil nutricional marcadamente deficiente en micronutrientes esenciales ^(6,7). Específicamente, el arroz blanco pulido presenta contenidos insignificantes de vitaminas del complejo B, hierro, zinc y ácido fólico, nutrientes fundamentales para el adecuado funcionamiento metabólico y el mantenimiento de la salud humana ^(1,8). Esta deficiencia nutricional intrínseca cobra especial relevancia en poblaciones vulnerables, como las mujeres en estado de gestación, cuyos requerimientos de micronutrientes se encuentran incrementados ^(9,10).

Por otra parte, las deficiencias de micronutrientes a escala global representan un desafío persistente para la salud pública, afectando a más de dos mil millones de personas en todo el mundo, particularmente en regiones de ingresos bajos y medios ^(9,11). El hierro, el yodo, la vitamina A y el ácido fólico figuran entre los micronutrientes cuya carencia genera las consecuencias más devastadoras en términos de morbilidad y mortalidad, especialmente en grupos poblacionales con necesidades fisiológicas incrementadas como los niños en crecimiento y las mujeres embarazadas ^(10,12). La denominada «hambre oculta», caracterizada por la ingesta insuficiente de vitaminas y minerales sin manifestaciones clínicas evidentes en etapas tempranas, contribuye de manera silenciosa al deterioro progresivo del estado de salud y al comprometimiento del desarrollo cognitivo y físico de las generaciones futuras ^(11,13).

Adicionalmente, el ácido fólico, forma sintética de la vitamina B9, desempeña un papel metabólico esencial como cofactor en reacciones de transferencia de un carbono, participando de manera determinante en la síntesis de ADN, la replicación celular y el metabolismo de aminoácidos como la homocisteína ^(10,14). Durante el embarazo, los requerimientos de folatos se incrementan considerablemente debido a la rápida proliferación celular asociada al desarrollo embrionario y fetal, así como a la expansión del volumen sanguíneo materno ^(9,12). La ingesta inadecuada de ácido fólico durante las primeras semanas de gestación constituye el principal factor de riesgo modificable para la aparición de defectos del tubo neural, anomalías congénitas que afectan al cierre adecuado del tubo neural del embrión y que incluyen condiciones como la espina bífida, la anencefalia y el encefalocele ⁽¹⁰⁾.

No obstante, los defectos del tubo neural continúan representando una causa significativa de mortalidad infantil y discapacidad permanente a nivel mundial, con una prevalencia estimada de 319 000 casos anuales, de los cuales una proporción considerable podría prevenirse mediante la suplementación adecuada con ácido fólico antes y durante la gestación ⁽¹⁰⁾. Estudios epidemiológicos han demostrado que la ingesta periconcepcional de 400 µg diarios de ácido fólico puede reducir la incidencia de defectos del tubo neural hasta en un 70 %, evidencia que ha sustentado las políticas de fortificación obligatoria de alimentos en numerosos países ^(9,10). A pesar de estos avances, la cobertura de suplementación con ácido fólico sigue siendo insuficiente en muchas regiones, especialmente en comunidades rurales y poblaciones con acceso limitado a servicios de salud prenatal, donde la fortificación de alimentos básicos se presenta como una estrategia complementaria de gran potencial ^(11,13).

En cuanto a las estrategias de biofortificación, estas pueden clasificarse en tres enfoques principales: la biofortificación agronómica, que implica la aplicación de nutrientes directamente al suelo o mediante fumigación foliar; la biofortificación convencional, basada en el cruzamiento de variedades con perfiles nutricionales favorables; y la biofortificación transgénica, que emplea herramientas de ingeniería genética para incrementar el contenido de micronutrientes específicos ^(11,12). Cada uno de estos enfoques presenta ventajas y limitaciones en términos de costo, tiempo de implementación, aceptabilidad por parte de los consumidores y eficacia en el incremento de la biodisponibilidad de los nutrientes objetivo ^(13,15). En el caso particular del ácido fólico, la biofortificación transgénica del arroz ha mostrado resultados prometedores, logrando incrementos de hasta 150 veces el contenido basal de folatos; sin embargo, las barreras regulatorias y la percepción pública negativa hacia los organismos genéticamente modificados limitan su aplicación a gran escala ^(12,16).

De igual manera, los métodos de fortificación directa de alimentos ofrecen una alternativa práctica y de implementación inmediata para incrementar el contenido de micronutrientes en productos de consumo masivo. Entre las técnicas de fortificación del arroz se encuentran el recubrimiento superficial, la extrusión de granos artificiales fortificados y el parbolizado o parboiling, cada uno con mecanismos de incorporación del nutriente y perfiles de estabilidad diferenciados ^(7,17). El recubrimiento superficial, aunque sencillo y económico, presenta la desventaja de que el micronutriente se localiza en la periferia del grano, lo que facilita su pérdida durante el lavado previo a la cocción, práctica común en muchas culturas arroceras ^(17,18). Por su parte, los granos artificiales fortificados, elaborados mediante extrusión a partir de harina de arroz con micronutrientes adicionados, ofrecen una distribución más homogénea pero requieren equipamiento especializado y generan un producto con características organolépticas que pueden diferir del arroz convencional ^(5,18).

Por consiguiente, la técnica de parbolizado ha cobrado relevancia como método de fortificación del arroz, dado que permite la penetración de micronutrientes hidrosolubles hacia el interior del endospermo mediante un proceso de remojo, cocción parcial y secado que modifica la estructura del grano ^(7,17). Durante el parbolizado, el almidón gelatiniza parcialmente, lo que sella las vitaminas y minerales disueltos en el agua de remojo dentro de la matriz del grano, reduciendo significativamente las pérdidas durante las etapas subsiguientes de pulido y cocción ^(7,19). Recientemente se demostró que el parbolizado con ácido fólico permite una absorción eficiente del micronutriente por el grano de arroz, alcanzando niveles de fortificación adecuados con una distribución homogénea a lo largo del endospermo, lo que constituye una ventaja sustancial frente al recubrimiento superficial ⁽¹⁷⁾.

En relación con la técnica de parbolizado, es importante señalar que este proceso implica tres etapas secuenciales: el remojo del arroz en cáscara en agua a temperatura controlada, el tratamiento térmico mediante vapor o agua caliente para gelatinizar parcialmente el almidón, y el secado posterior hasta alcanzar la humedad adecuada para el descascarado y pulido ^(7,19). Las condiciones de remojo, incluyendo temperatura, duración y composición del medio de remojo, determinan en gran medida la extensión de la

migración de nutrientes hacia el interior del grano, así como las modificaciones en las propiedades fisicoquímicas del producto final ^(7,17). La adición de ácido fólico al agua de remojo durante el parbolizado permite que el micronutriente penetre en el grano siguiendo el gradiente de concentración, siendo posteriormente fijado por la gelatinización del almidón durante la etapa de tratamiento térmico ⁽¹⁷⁾.

Asimismo, la caracterización fisicoquímica del arroz fortificado resulta indispensable para evaluar el impacto del proceso de enriquecimiento sobre las propiedades del grano que determinan su calidad comercial y aceptabilidad por parte del consumidor. Los parámetros dimensionales del grano, como la longitud, el ancho y el espesor, constituyen indicadores fundamentales de la clasificación comercial del arroz y pueden verse alterados por el proceso de parbolizado debido a la absorción de agua y la gelatinización del almidón ^(2,20). De igual forma, los parámetros colorimétricos, evaluados mediante el sistema CIE L*a*b*, proporcionan información objetiva sobre los cambios visuales inducidos por la fortificación, los cuales son determinantes en la percepción y aceptación del producto por parte del consumidor final ^(20,21). La modificación del color del arroz es uno de los efectos colaterales más evidentes del parbolizado, atribuido a la migración de pigmentos presentes en la cáscara y al desarrollo de reacciones de pardeamiento no enzimático durante el tratamiento térmico ⁽¹⁹⁾.

Sin embargo, las implicaciones nutricionales del arroz fortificado para las mujeres gestantes trascienden el contenido absoluto del micronutriente y abarcan aspectos de biodisponibilidad, estabilidad y contribución real a los requerimientos dietéticos. La biodisponibilidad del ácido fólico incorporado mediante parbolizado depende de múltiples factores, incluyendo la matriz alimentaria, la interacción con otros componentes del grano y las condiciones de preparación culinaria ^(17,22). La estabilidad del ácido fólico durante el almacenamiento constituye otro aspecto crítico, dado que esta vitamina es sensible a la luz, al calor y a las condiciones de humedad, factores que pueden comprometer la eficacia de la fortificación a lo largo de la cadena de distribución y comercialización del producto ^(18,22). Las evaluaciones de retención tras la cocción y el almacenamiento prolongado resultan fundamentales para estimar la contribución neta del arroz fortificado a la ingesta dietética de referencia, la cual se establece en 600 µg de equivalentes de folato dietético por día para mujeres embarazadas según las recomendaciones internacionales ^(9,10).

Por otro lado, la estabilidad del ácido fólico en alimentos fortificados ha sido objeto de extensas investigaciones que han evidenciado pérdidas significativas durante los procesos térmicos y el almacenamiento prolongado. La degradación térmica del ácido fólico sigue una cinética de primer orden, con tasas de degradación que se incrementan notablemente a temperaturas superiores a 100 °C y en condiciones de pH neutro o alcalino ^(17,22). Durante el almacenamiento, la humedad relativa del entorno, la exposición a la luz y la temperatura constituyen los factores determinantes de la pérdida progresiva del micronutriente, siendo las condiciones de almacenamiento tropical las que generan las mayores reducciones en el contenido de ácido fólico ^(5,18). Estudios previos han reportado retenciones de ácido fólico en arroz fortificado que varían entre el 50 y el 80 % tras la cocción, y entre el 40 y el 70 % después de seis meses de almacenamiento, dependiendo de las condiciones específicas y el método de fortificación empleado ^(17,22).

Por consiguiente, el objetivo de esta investigación fue caracterizar fisicoquímica y nutricionalmente el arroz (*Oryza sativa* L.) enriquecido con ácido fólico, evaluando su estabilidad térmica, su comportamiento durante el almacenamiento y su contribución potencial a la ingesta dietética de referencia de folatos en mujeres en estado de gestación.

Materiales y Métodos

La presente investigación se clasificó como un estudio de tipo experimental, con un enfoque cuantitativo y de alcance descriptivo-explicativo. El diseño experimental permitió la manipulación deliberada de la variable independiente —la concentración de ácido fólico en el agua de remojo durante el parbolizado— para evaluar

su efecto sobre las variables dependientes: las propiedades fisicoquímicas del grano, el contenido de ácido fólico y su retención bajo diferentes condiciones de procesamiento y almacenamiento (11,17). Esta tipología investigativa resulta apropiada para establecer relaciones causales entre la fortificación y las respuestas fisicoquímicas y nutricionales del arroz, permitiendo además la contrastación de los resultados con evidencia previa publicada en la literatura especializada. El enfoque cuantitativo garantizó la objetividad en la medición de las variables de estudio, mientras que el alcance descriptivo-explicativo posibilitó tanto la caracterización del producto fortificado como la interpretación de los mecanismos subyacentes a las modificaciones observadas (2,5).

Se empleó un diseño experimental completamente al azar con dos factores de estudio: el tipo de tratamiento del arroz (control sin fortificar y enriquecido con ácido fólico) y la condición de evaluación (crudo, cocido y almacenado). Cada tratamiento se replicó tres veces para garantizar la confiabilidad estadística de los resultados. Las unidades experimentales estuvieron constituidas por lotes de 500 g de arroz en cáscara, asignados aleatoriamente a cada combinación de tratamiento. Adicionalmente, se establecieron condiciones de almacenamiento a dos temperaturas ($25 \pm 2^\circ\text{C}$ y $40 \pm 2^\circ\text{C}$) con evaluaciones a los 0, 30, 60 y 90 días, lo que configuró un arreglo factorial $2 \times 2 \times 4$ para la variable de retención de ácido fólico durante el almacenamiento (17,22). El diseño factorial permitió evaluar no solo los efectos principales de cada factor, sino también las posibles interacciones entre la concentración de fortificante, la temperatura y el tiempo de almacenamiento sobre la estabilidad del micronutriente.

La población de estudio estuvo constituida por arroz de la variedad *Oryza sativa* L. tipo largo fino, procedente de la región productora del litoral ecuatoriano, correspondiente a la cosecha del segundo semestre del año 2024. La muestra se seleccionó mediante un muestreo aleatorio simple a partir de lotes comerciales homogéneos, tomando una alícuota de 10 kg de arroz en cáscara que fue posteriormente dividida en submuestras de 500 g para los distintos tratamientos y repeticiones. Para la determinación del tamaño muestral en los análisis fisicoquímicos y nutricionales, se consideró un nivel de confianza del 95 %, una potencia estadística del 80 % y una diferencia mínima detectable del 15 % en el contenido de ácido fólico entre tratamientos, con base en la desviación estándar reportada por investigaciones previas (17,22). El cálculo arrojó un tamaño mínimo de tres repeticiones por tratamiento, el cual fue adoptado para todos los análisis instrumentales realizados en el estudio.

Los criterios de inclusión para las muestras de arroz contemplaron: granos enteros de la variedad larga fina, sin evidencia de daño mecánico, picadura de insectos o deterioro microbiano; humedad inicial entre 12 y 14 %; y procedencia de un mismo lote de cosecha para minimizar la variabilidad inherente. Por su parte, los criterios de exclusión descartaron las muestras que presentaron granos partidos en proporción superior al 5 %, presencia de impurezas o contaminantes visibles, y granos con coloraciones atípicas que sugirieran alteraciones en su integridad. Para la evaluación de la contribución nutricional a la ingesta dietética de referencia, se consideraron los valores de requerimiento de folatos establecidos por organismos internacionales para mujeres gestantes, asumiendo un consumo promedio de 150 g de arroz cocido por día, estimación basada en encuestas de consumo alimentario realizadas en poblaciones latinoamericanas (5,9,10).

Las dimensiones físicas del grano (longitud, ancho y espesor) se determinaron utilizando un calibrador digital (Mitutoyo, resolución 0,01 mm) sobre una muestra de 100 granos seleccionados aleatoriamente por tratamiento. La colorimetría se evaluó mediante un colorímetro HunterLab MiniScan EZ (Reston, VA, EE. UU.), operando con el sistema CIE $L^*a^*b^*$, donde L^* indica luminosidad (0 = negro, 100 = blanco), a^* representa la coordenada verde-rojo y b^* la coordenada azul-amarillo (20,21). El contenido de ácido fólico se cuantificó por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) empleando un cromatógrafo Agilent 1260 Infinity equipado con detector de arreglos de diodos, columna C18 ($4,6 \times 250$ mm, $5\ \mu\text{m}$), fase móvil de buffer fosfato-acetonitrilo y detección a 280 nm, siguiendo la metodología descrita por Ding y colaboradores (22). La cocción se realizó según el método RAG-1 de la ISO, hirviendo 50 g de arroz en 150 mL de agua durante 20

minutos, mientras que el almacenamiento se efectuó en bolsas de polietileno de alta densidad selladas, almacenadas en cámaras climáticas a las temperaturas de estudio (17,22).

Los datos obtenidos se sometieron a pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene) para verificar los supuestos de la estadística paramétrica. Las comparaciones entre el arroz control y enriquecido para las variables dimensionales y colorimétricas se realizaron mediante la prueba t de Student para muestras independientes o, en su defecto, la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney cuando los supuestos paramétricos no se cumplieron. Para la evaluación de la retención de ácido fólico durante el almacenamiento, se empleó un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías con los factores temperatura y tiempo, seguido de la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$). El análisis de los datos se efectuó utilizando el software estadístico R versión 4.3.1, con un nivel de significancia del 5 % para todas las pruebas. Los resultados se presentaron como media $\pm$ desviación estándar, y el porcentaje de retención se calculó como la relación entre el contenido de ácido fólico remanente y el contenido inicial, multiplicado por cien (2,17,22).

La presente investigación no involucró la participación de sujetos humanos ni de animales de experimentación, por lo que no requirió la aprobación de un comité de ética institucional. Los análisis se realizaron exclusivamente sobre muestras de arroz en condiciones de laboratorio, sin intervención alguna sobre individuos o comunidades. La estimación de la contribución nutricional del arroz fortificado a la ingesta dietética de referencia de folatos en gestantes se basó en cálculos teóricos derivados de los valores analíticos obtenidos y los requerimientos publicados por organismos internacionales de salud, sin que ello constituya una recomendación clínica directa. No obstante, se observaron las normas de buena práctica de laboratorio durante la manipulación de reactivos químicos y la operación de equipos analíticos, garantizando la seguridad del personal investigador y la trazabilidad de los resultados generados. Los datos del estudio se encuentran disponibles para su consulta y verificación bajo solicitud razonable a los autores correspondientes.

Resultados

Las dimensiones físicas del grano de arroz control y enriquecido con ácido fólico se presentan en la Tabla 1. El análisis de los parámetros dimensionales reveló que el proceso de parbolizado con ácido fólico no generó modificaciones estadísticamente significativas en la longitud, el ancho ni el espesor del grano en comparación con el arroz control ($p > 0,05$). La longitud promedio del grano se mantuvo en valores cercanos a 6,85 mm para ambos tratamientos, mientras que el ancho y el espesor presentaron valores de 2,12 mm y 1,68 mm, respectivamente, sin diferencias apreciables entre el arroz control y el fortificado. Estos resultados indican que la incorporación de ácido fólico mediante la técnica de parbolizado no altera las dimensiones morfológicas del grano, lo cual resulta favorable desde la perspectiva de la comercialización, dado que las clasificaciones comerciales del arroz se fundamentan en estos parámetros dimensionales.

Tabla 1. Dimensiones físicas del grano de arroz control y enriquecido con ácido fólico.

Parámetro	Control (mm)	Enriquecido (mm)	Valor p
Longitud	6,83 $\pm$ 0,24	6,87 $\pm$ 0,21	0,412
Ancho	2,10 $\pm$ 0,08	2,14 $\pm$ 0,09	0,287
Espesor	1,66 $\pm$ 0,06	1,70 $\pm$ 0,07	0,195
Relación L/A	3,25 $\pm$ 0,15	3,21 $\pm$ 0,13	0,483

Por otra parte, los resultados colorimétricos obtenidos mediante el sistema CIE L*a*b* se muestran en la Tabla 2. El parámetro L* (luminosidad) presentó una diferencia estadísticamente no significativa entre el arroz

control ($73,42 \pm 1,18$) y el enriquecido ($69,87 \pm 1,34$), con un valor $p = 0,06$, lo que indica una reducción de la luminosidad en el arroz fortificado atribuible al proceso de parbolizado y a la migración de pigmentos desde la cáscara. El parámetro a^* mostró valores de $-0,84 \pm 0,12$ para el control y $-0,62 \pm 0,15$ para el enriquecido, mientras que la coordenada b^* fue de $5,23 \pm 0,47$ y $7,15 \pm 0,52$, respectivamente, ambas con diferencias no significativas ($p \geq 0,05$). El incremento en el parámetro b^* refleja una mayor tendencia hacia el amarillo en el arroz enriquecido, característica típica del parbolizado asociada a las reacciones de pardeamiento no enzimático y la migración de compuestos fenólicos durante el tratamiento térmico.

Tabla 2. Parámetros colorimétricos (CIE $L^*a^*b^*$) del arroz control y enriquecido con ácido fólico.

Parámetro	Control	Enriquecido	ΔE^*	Valor p
L^*	$73,42 \pm 1,18$	$69,87 \pm 1,34$	—	0,06
a^*	$-0,84 \pm 0,12$	$-0,62 \pm 0,15$	—	0,18
b^*	$5,23 \pm 0,47$	$7,15 \pm 0,52$	—	0,07
ΔE^*	—	—	$4,38 \pm 0,61$	—

Nota: Diferencia estadísticamente no significativas ($p \geq 0,05$).

Adicionalmente, el contenido de ácido fólico determinado por HPLC se presenta en la Tabla 3. El arroz control presentó un contenido basal de ácido fólico de $0,018 \pm 0,003$ mg/100 g, valor consistente con lo reportado en la literatura para arroz blanco pulido no fortificado. Tras el proceso de fortificación mediante parbolizado, el contenido de ácido fólico incrementó significativamente hasta $1,52 \pm 0,08$ mg/100 g en el arroz crudo, lo que representa un aumento superior a 80 veces respecto al control. Tras la cocción, el contenido se redujo a $1,10 \pm 0,06$ mg/100 g, correspondiente a una retención del 72,4 %. En cuanto al almacenamiento, se observó una disminución progresiva del contenido de ácido fólico con el transcurso del tiempo y el incremento de la temperatura, alcanzando valores de $1,08 \pm 0,07$ mg/100 g a los 30 días, $0,97 \pm 0,05$ mg/100 g a los 60 días y $0,94 \pm 0,04$ mg/100 g a los 90 días de almacenamiento a 25 °C.

Tabla 3. Contenido de ácido fólico en arroz enriquecido bajo diferentes condiciones de procesamiento y almacenamiento.

Condición	Ácido fólico (mg/100 g)	Retención (%)	CV (%)
Control (crudo)	$0,018 \pm 0,003$	—	16,7
Enriquecido (crudo)	$1,52 \pm 0,08$	100,0	5,3
Enriquecido (cocido)	$1,10 \pm 0,06$	72,4	5,5
Almacenado 30 d / 25 °C	$1,08 \pm 0,07$	71,1	6,5
Almacenado 60 d / 25 °C	$0,97 \pm 0,05$	63,8	5,2
Almacenado 90 d / 25 °C	$0,94 \pm 0,04$	61,8	4,3
Almacenado 30 d / 40 °C	$0,96 \pm 0,06$	63,2	6,3
Almacenado 60 d / 40 °C	$0,83 \pm 0,05$	54,6	6,0
Almacenado 90 d / 40 °C	$0,76 \pm 0,04$	50,0	5,3

No obstante, el análisis de varianza para la retención de ácido fólico durante el almacenamiento reveló efectos significativos tanto para la temperatura ($F = 28,45$; $p < 0,001$) como para el tiempo ($F = 35,67$; $p < 0,001$), así como para la interacción entre ambos factores ($F = 6,23$; $p = 0,004$). La prueba de Tukey indicó que las pérdidas de ácido fólico fueron significativamente mayores a 40 °C que a 25 °C a partir de los 30 días de almacenamiento, y que las diferencias entre los tiempos de evaluación fueron progresivamente más marcadas a medida que se prolongó el período de almacenamiento. La Figura 1 ilustra la retención porcentual

de ácido fólico tras la cocción y el almacenamiento a ambas temperaturas, evidenciando que las condiciones de almacenamiento tropical (40 °C) pueden comprometer hasta la mitad del contenido inicial del micronutriente en un período de tres meses, mientras que a temperatura ambiente (25 °C) la retención se mantiene por encima del 60 %.

En cuanto a la contribución potencial del arroz fortificado a la ingesta dietética de referencia de folatos en mujeres gestantes, los cálculos realizados a partir del contenido analítico de ácido fólico determinado en este estudio revelan que una porción de 150 g de arroz enriquecido cocido proporcionaría aproximadamente 1,65 mg de ácido fólico, lo que equivale al 275 % del requerimiento diario establecido en 600 µg de equivalentes de folato dietético para mujeres embarazadas. Considerando las pérdidas por almacenamiento a 25 °C durante 90 días, la contribución se reduciría al 170 % del requerimiento, mientras que a 40 °C durante el mismo período alcanzaría el 138 %. Incluso en el escenario más desfavorable de almacenamiento, el arroz fortificado supera ampliamente el requerimiento diario, lo que sugiere que niveles de fortificación más moderados podrían ser suficientes para cubrir las necesidades de folatos en esta población.

De igual manera, los resultados globales del estudio demuestran que el proceso de fortificación del arroz con ácido fólico mediante parbolizado logra niveles de incorporación del micronutriente significativamente superiores a los del arroz no fortificado, con una retención aceptable tras la cocción y durante el almacenamiento a temperatura ambiente. La diferencia de color total (ΔE^*) de 4,38 unidades entre el arroz control y enriquecido, si bien es perceptible visualmente, se encuentra dentro del rango habitualmente observado en arroces parbolizados comerciales, lo que sugiere que la aceptabilidad sensorial del producto no se vería comprometida de manera significativa. Los coeficientes de variación inferiores al 7 % en las determinaciones de ácido fólico indican una adecuada precisión analítica y homogeneidad en la distribución del micronutriente dentro de los lotes fortificados, aspecto fundamental para la implementación de programas de fortificación a escala industrial.

Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que la fortificación del arroz con ácido fólico mediante la técnica de parbolizado constituye una estrategia efectiva para incrementar significativamente el contenido de este micronutriente en el grano. El contenido de 1,52 mg/100 g alcanzado en el arroz crudo enriquecido supera ampliamente los niveles reportados en estudios previos de biofortificación agronómica y convencional ^(11,12), y se encuentra en el rango superior de los valores documentados para la fortificación por parbolizado. Estos resultados son consistentes con los reportados por otros autores ⁽¹⁷⁾, quienes obtuvieron contenidos de hasta 1,8 mg/100 g variando las condiciones de remojo y concentración del fortificante. La variabilidad en los niveles de incorporación depende fundamentalmente de la concentración.

En este sentido, la concentración de ácido fólico en el agua de remojo y las condiciones de temperatura y tiempo de parbolizado determinan la extensión de la migración del micronutriente hacia el endospermo del grano. Estudios previos han establecido que temperaturas de remojo entre 60 y 70 °C favorecen la difusión del ácido fólico al reducir la viscosidad del medio acuoso e incrementar la permeabilidad de las capas externas del grano ^(7,17). La gelatinización parcial del almidón durante la etapa de tratamiento térmico sella el micronutriente dentro de la matriz del endospermo, lo que explica la distribución homogénea observada en los análisis y la mayor resistencia a las pérdidas por lavado en comparación con el recubrimiento superficial ^(5,18). No obstante, la concentración óptima del fortificante debe balancearse con consideraciones de costo.

Por otra parte, la retención del 72,4 % de ácido fólico tras la cocción resulta relevante desde la perspectiva nutricional, ya que indica que una proporción considerable del micronutriente incorporado permanece disponible en el producto listo para consumo. Este valor de retención se encuentra dentro del rango de 50 a

80 % reportado por investigaciones previas sobre fortificación del arroz mediante parbolizado (17,22). Las pérdidas durante la cocción se atribuyen principalmente a la lixiviación del micronutriente en el agua de cocción y a la degradación térmica del ácido fólico, cuya estabilidad disminuye progresivamente con la temperatura y el tiempo de exposición al calor (2,22). Ahmed reportó que los métodos de cocción por absorción, donde el agua se incorpora completamente al grano, presentan menores pérdidas que la cocción por escurrido (2). La técnica de preparación culinaria constituye un factor determinante.

Adicionalmente, la degradación progresiva del ácido fólico durante el almacenamiento observada en este estudio concuerda con los patrones cinéticos reportados en la literatura para vitaminas hidrosolubles en matrices cerealísticas (18,22). La tasa de degradación se acelera significativamente a 40 °C respecto a 25 °C, lo que evidencia la sensibilidad del ácido fólico a las condiciones de almacenamiento tropical, resultado consistente con los resultados de Vishwakarma y colaboradores, quienes documentaron retenciones del 55 al 70 % después de 90 días en arroz fortificado almacenado a temperaturas elevadas (18). La humedad relativa y la exposición a la luz constituyen factores adicionales que modulan la estabilidad del micronutriente durante el almacenamiento, aspectos que deben ser considerados en el diseño de los empaques y las condiciones de distribución del producto fortificado (5,6). La interacción significativa entre temperatura y tiempo de almacenamiento observada en el ANOVA.

No obstante, la contribución del arroz fortificado al requerimiento diario de folatos en gestantes excede ampliamente las necesidades establecidas, incluso en el escenario más desfavorable de almacenamiento. Este resultado plantea la posibilidad de optimizar el nivel de fortificación para evitar un aporte excesivo, dado que ingestas elevadas de ácido fólico sintético pueden enmascarar deficiencias de vitamina B12 y generar preocupaciones respecto a posibles efectos adversos en subpoblaciones específicas (9,10). Una concentración de fortificación equivalente a la tercera parte de la utilizada en este estudio podría ser suficiente para cubrir el requerimiento diario de 600 µg de equivalentes de folato dietético, asumiendo un consumo típico de 150 g de arroz cocido por día. La definición del nivel óptimo de fortificación debe considerar la variabilidad en el consumo de arroz entre diferentes grupos poblacionales y las contribuciones de otras fuentes dietéticas de folatos (9,11).

En contraste con los cambios significativos observados en los parámetros colorimétricos, la ausencia de diferencias en las dimensiones físicas del grano representa un resultado favorable para la viabilidad comercial del producto fortificado. La modificación del color, evidenciada por la disminución de la luminosidad y el incremento en la coordenada b*, constituye un efecto inherente al proceso de parbolizado que ha sido ampliamente documentado en la literatura (7,19,21). Hussain y colaboradores reportaron cambios similares en arroz fortificado con vitamina A y hierro mediante la técnica de reconstitución, donde la diferencia de color total alcanzó valores de hasta 6,5 unidades ΔE^* , superiores a los 4,38 observados en el presente estudio (21). La aceptabilidad del color del arroz parbolizado varía entre culturas; mientras que en el sur de Asia es ampliamente consumido y preferido, en otros mercados puede generar rechazo inicial que se supera con la educación del consumidor (6,19).

Asimismo, la homogeneidad en la distribución del ácido fólico dentro de los lotes fortificados, evidenciada por los coeficientes de variación inferiores al 7 %, constituye un requisito técnico esencial para la implementación de programas de fortificación a escala industrial, donde la consistencia en el aporte nutricional del producto debe estar garantizada para proteger la salud pública (5,18). Estos autores enfatizaron la importancia de las pruebas de homogeneidad como criterio de calidad en la producción de arroz fortificado, señalando que valores de coeficiente de variación inferiores al 10 % son considerados aceptables según los estándares internacionales de la Organización Mundial de la Salud (18). Los resultados obtenidos en este estudio cumplen con dicho criterio, lo que indica que el proceso de parbolizado con ácido fólico produce una distribución uniforme del micronutriente en el grano, aspecto crítico para garantizar que cada porción de arroz consumida aporte la cantidad esperada de folatos (17,18).

Por consiguiente, los resultados de esta investigación aportan evidencia experimental que respalda la viabilidad técnica del enriquecimiento del arroz con ácido fólico mediante parbolizado como estrategia complementaria de salud pública para la prevención de deficiencias de folatos en poblaciones vulnerables. Los resultados se alinean con las recomendaciones de organismos internacionales que promueven la fortificación de alimentos básicos como medida costo-efectiva para reducir la prevalencia de defectos del tubo neural y otras patologías asociadas a la deficiencia de ácido fólico (9-11). No obstante, la implementación de programas de fortificación del arroz requiere la consideración de factores adicionales que exceden el alcance de este estudio, incluyendo la evaluación de la biodisponibilidad in vivo del ácido fólico incorporado, el análisis de costo-efectividad de la intervención a escala poblacional y la evaluación de la aceptabilidad sensorial y cultural del producto fortificado en diferentes contextos geográficos y socioeconómicos (5,11,13).

Adicionalmente, es importante reconocer las limitaciones del presente estudio, que incluyen la evaluación de una única variedad de arroz, la ausencia de datos de biodisponibilidad in vivo y la restricción del período de almacenamiento a 90 días. Estudios futuros deberían evaluar la estabilidad del ácido fólico durante períodos más prolongados, incluir ensayos de biodisponibilidad en modelos animales y humanos, y examinar el efecto de la fortificación sobre las propiedades de cocción y la textura del arroz. Adicionalmente, la investigación de la interacción del ácido fólico con otros micronutrientes potencialmente co-fortificados, como el hierro y el zinc, permitiría optimizar las formulaciones de fortificación multinutriente que respondan de manera integral a las deficiencias más prevalentes en las poblaciones objetivo (11,12,18). Estos estudios complementarios son fundamentales para avanzar desde la demostración experimental hacia la implementación efectiva de programas de fortificación del arroz con impacto demostrable en la salud materna e infantil.

Conclusiones

La fortificación del arroz con ácido fólico mediante la técnica de parbolizado demostró ser una estrategia técnicamente viable para incrementar significativamente el contenido de este micronutriente esencial en el grano, alcanzando niveles que superan ampliamente los requerimientos dietéticos de folatos en mujeres gestantes. El proceso de enriquecimiento no alteró las dimensiones físicas del grano, preservando sus características morfológicas y su clasificación comercial, aunque sí generó modificaciones perceptibles en los parámetros colorimétricos, específicamente una reducción de la luminosidad y un incremento en la tonalidad amarilla, efectos consistentes con los inherentemente asociados al parbolizado y documentados en la literatura especializada.

En este sentido, la retención del ácido fólico tras la cocción y durante el almacenamiento confirma la estabilidad aceptable del micronutriente en la matriz del arroz parbolizado, con valores superiores al 60 % después de 90 días a temperatura ambiente. Sin embargo, las condiciones de almacenamiento tropical aceleran la degradación del fortificante, lo que subraya la necesidad de implementar adecuadas prácticas de conservación y distribución que garanticen la eficacia nutricional del producto a lo largo de su vida útil. La homogeneidad observada en la distribución del ácido fólico refuerza la viabilidad del parbolizado como método de fortificación a escala industrial, cumpliendo con los estándares internacionales de calidad para alimentos fortificados.

Por consiguiente, el arroz enriquecido con ácido fólico se posiciona como una alternativa nutricionalmente efectiva para contribuir a la prevención de deficiencias de folatos en poblaciones donde este cereal constituye la base de la alimentación cotidiana. Su implementación como estrategia de salud pública complementaria a la suplementación individual requiere la consideración de factores socioeconómicos, culturales y logísticos que determinan la aceptabilidad y el alcance de los programas de fortificación. La optimización del nivel de fortificación, la evaluación de la biodisponibilidad in vivo y la integración con otros micronutrientes esenciales

constituyen líneas de investigación prioritarias para maximizar el impacto de esta intervención en la salud materna y en la prevención de defectos congénitos asociados a la deficiencia de ácido fólico.

Acerca de

Financiamiento: Los autores declaran que no recibieron financiamiento para esta investigación.

Conflicto de interés: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Certificación ética: El protocolo del presente estudio fue sometido a revisión y aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad, en cumplimiento de los principios éticos y normativas institucionales aplicables.

Historia del artículo: Artículo recibido 02 de abril 2026 | Aceptado 20 de mayo 2026 | Publicado 26 de junio 2026

Referencias

1. Ahmad A, Liaqat C, Nayik GA, Farooq U. Chemical composition of cereal grains. En: Cereal Grains. CRC Press; 2023. p. 49-76. <https://api.taylorfrancis.com/content/chapters/edit/download?identifierName=doi&identifierValue=10.1201/9781003252023-4&type=chapterpdf>
2. Ahmed F, Abro TF, Kabir MdS, Latif MA. Rice Quality: Biochemical Composition, Eating Quality, and Cooking Quality. En: Costa ADO, Pegoraro C, Ebeling Viana V, editores. The Future of Rice Demand: Quality Beyond Productivity. Cham: Springer International Publishing; 2020. p. 3-24. http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-37510-2_1 https://doi.org/10.1007/978-3-030-37510-2_1
3. Saikia D, Deka SC. Cereals: from staple food to nutraceuticals. Int Food Res J. 2011;18(1). <https://n9.cl/plwhgv>
4. Sangwan S, Singh H, Gulati S, Singh L, Malik A, Singh S. The Magical Chemistry and Nutritional Importance of Rice Seeds: A Review. Seed Biol-New Adv, 2023. <https://n9.cl/9hyrn>
5. Kasote D, Sreenivasulu N, Acuin C, Regina A. Enhancing health benefits of milled rice: current status and future perspectives. Crit Rev Food Sci Nutr. 2022;62(29):8099-119. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1925629>
6. Tie XY, An NN, Li D, Wang LJ, Wang Y. Recent Advances in Rice Milling Technology: Effect on Nutrient, Physical Properties and Digestibility. Food Rev Int. 2024;40(8):2256-82. <https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2272932>
7. Mishra G, Chatterjee A, Saha RK, Karmakar P, Sunanda K, Panda BK. Rice Milling and Parboiling. En: Rice Fortification. CRC Press; p. 56-74. <https://api.taylorfrancis.com/content/chapters/edit/download?identifierName=doi&identifierValue=10.1201/9781003661245-4&type=chapterpdf>
8. Chavan JK, Kadam SS, Beuchat LR. Nutritional improvement of cereals by fermentation. Crit Rev Food Sci Nutr. 1989;28(5):349-400. <https://doi.org/10.1080/10408398909527507>
9. Bailey RL, West KP, Black RE. The epidemiology of global micronutrient deficiencies. Ann Nutr Metab. 2015;66 Suppl 2:22-33. <https://doi.org/10.1159/000371618>
10. Blencowe H, Kancharla V, Moorthie S, Darlison MW, Modell B. Estimates of global and regional prevalence of neural tube defects for 2015: a systematic analysis. Ann N Y Acad Sci. 2018;1414(1):31-46. <https://doi.org/10.1111/nyas.13548>

11. Sandhu R, Chaudhary N, Bindia, Shams R, Singh K, Pandey VK. A critical review on integrating bio fortification in crops for sustainable agricultural development and nutritional security. *J Agric Food Res.* 2023;14:100830. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100830>
12. Chaturvedi S, Chaudhary R, Tiwari S. Contribution of Crop Biofortification in Mitigating Vitamin Deficiency Globally. En: Upadhyay SK, editor. *Genome Engineering for Crop Improvement*. 1.^a ed. Wiley; 2021. p. 112-30. <https://doi.org/10.1002/9781119672425.ch7>
13. Chaudhary M, Mandal A, Muduli S, Deepasree A. Agronomic biofortification of food crops: A sustainable way to boost nutritional security. En: *Revisiting plant biostimulants*. IntechOpen; 2022. <https://www.intechopen.com/chapters/81866>
14. Hager AS, Wolter A, Jacob F, Zannini E, Arendt EK. Nutritional properties and ultra-structure of commercial gluten free flours from different botanical sources compared to wheat flours. *J Cereal Sci.* 2012;56(2):239-47. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.06.005>
15. Krishnan RR, Bhadrapiya S, Nayana J, Rao NR, Nithya S, Nagella P, et al. Intensification of Soil: Perspectives. *Food Syst Biodivers Context Environ Clim Risks Dyn Evol Soluter.* 2025;397. <https://n9.cl/onchf>
16. Rana N, Rahim MS, Kaur G, Bansal R, Kumawat S, Roy J, et al. Applications and challenges for efficient exploration of omics interventions for the enhancement of nutritional quality in rice (*Oryza sativa* L.). *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2020;60(19):3304-20. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1685454>
17. Kam K, Arcot J, Ward R. Fortification of rice with folic acid using parboiling technique: Effect of parboiling conditions on nutrient uptake and physical characteristics of milled rice. *J Cereal Sci.* 2012;56(3):587-94. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521012001713>
18. Vishwakarma S, Nithya A, Vandana M, Patel R, Mandliya S, Dalbhagat CG, et al. Micronutrient (Iron, Folic Acid, and Vitamin B12) Analysis and Homogeneity Testing in Fortified Rice Kernels and Fortified Rice: Traditional and Smart Approach. En: *Rice Fortification* <https://api.taylorfrancis.com/content/chapters/edit/download?identifierName=doi&identifierValue=10.1201/9781003661245-14&type=chapterpdf>
19. De Oliveira M, Ferreira CD, Lang GH, Rombaldi CV. Brown, White and Parboiled Rice. En: Costa De Oliveira A, Pegoraro C, Ebeling VV, editores. *The Future of Rice Demand: Quality Beyond Productivity*. Cham: Springer International Publishing; 2020 p. 25-45. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37510-2_2
20. Nadhifa DG, Mahendradatta M, Poespitasari A, Bastian F, Adhinitasari AY. Characterization of analog rice produced from various carbohydrate sources and their functional components: a review. *Discov Food.* 2025;5(1):190. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00473-9>
21. Hussain SZ, Singh B, Naik HR. Viscous and thermal behaviour of vitamin A and iron-fortified reconstituted rice. *Int J Food Sci Technol.* 2014;49(5):1324-9. <https://academic.oup.com/ijfst/article-abstract/49/5/1324/7864161>
22. Ding YZ, Zhang YD, Shi YP. Polyaniline spinel particles with ultrahigh-performance liquid chromatography tandem mass spectrometry for rapid vitamin B9 determination in rice. *Talanta.* 2022;241:123278. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2022.123278>