

Tratamientos térmicos con microondas y su efecto en las propiedades fisicoquímicas de maíz morado

Microwave Heating Treatments and Their Effects on the Physicochemical Properties of Purple Corn

Tapia Guerrero D. S.¹, Fernández Villanueva I. ², Flores Sánchez M. G.¹, Cerón García A.¹ y Sosa Morales M. E.^{1*}

¹ Departamento de Alimentos, ² Departamento de Ciencias Ambientales. División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato.

msosa@ugto.mx*

Resumen

Se diseñaron y aplicaron tratamientos con microondas en lotes de 500 g de maíz morado (*Zea mays* L.) a potencias de 288 y 562 W, con el objetivo de alcanzar la temperatura de 70°C, reportada como eficiente contra mohos fitopatógenos. Posterior al calentamiento, se realizó un enfriamiento con aire forzado para detener los efectos del calentamiento y llegar a una temperatura ambiente (menor a 30°C). Las propiedades fisicoquímicas en los lotes tratados fueron determinadas con el fin de determinar posibles efectos de los tratamientos. El contenido de humedad no fue afectado por los tratamientos ($p>0.05$), así como la actividad de agua de los granos tratados a 288 W, la cual fue similar al control ($p>0.05$). Así mismo, para los parámetros de color estimados (L^* , a^* , b^* , C^* , H^* y ΔE), no se presentaron cambios entre el maíz tratado y el control ($p>0.05$). Los tratamientos con microondas estudiados no afectaron las principales propiedades fisicoquímicas en maíz morado. Se requieren análisis microbiológicos posteriores para considerar el tratamiento como una opción postcosecha.

Palabras clave: Maíz morado, calentamiento con microondas, color, actividad de agua.

Abstract

Microwave treatments were designed and applied in batches of 500 g of purple corn (*Zea mays* L.) at power levels of 288 and 562 W, with the objective of reaching the target temperature of 70°C reported as efficient against phytopathogenic molds. After heating, forced air cooling was carried out to stop the effects of heating and reach an ambient temperature (below 30°C). The physicochemical properties in the treated batches were determined to determine possible effects. The moisture content was not affected by the treatments ($p>0.05$), as well as the water activity of the grains treated at 288 W, which was similar to the control ($p>0.05$). Likewise, for the estimated color parameters (L^* , a^* , b^* , C^* , H^* , and ΔE), no changes were observed between the treated corn and the control batch ($p>0.05$). Therefore, the studied microwave treatments did not affect the main physicochemical properties of purple corn. Further microbiological analyses are required to consider the treatment as postharvest option.

Keywords: purple corn, microwave heating, color, water activity.

Introducción

El maíz morado (*Zea mays L.*), es originario de la región andina peruana. Debido a su color púrpura, los pigmentos del maíz morado se han utilizado durante mucho tiempo para pigmentar alimentos y bebidas. Su color se debe principalmente a la presencia de compuestos fenólicos como las antocianinas, éstas tienen propiedades nutraceuticas, antioxidantes, antiinflamatorias, antimutagénicas y anticarcinogénicas que contribuyen a la prevención de enfermedades relacionadas con el estilo de vida, como la obesidad, la diabetes y la hipertensión (Lao et al., 2017). Además de las antocianinas, el maíz morado contiene fitoquímicos como fenoles, flavonoides, ácido ferúlico, luteína, zeaxantina, criptoxantina, beta-carotenos, entre otros. Se ha observado que estas sustancias previenen el envejecimiento celular y la aparición de enfermedades degenerativas. (SAGARPA, 2017). La cianidina-3-glucósido, principal antocianina del maíz morado tiene un efecto protector sobre la escisión del ADN, una actividad de eliminación de radicales libres dependiente de la dosis, además de un potencial en la prevención del cáncer de colon, reducción de la inflamación e hiperplasia causada por estrés oxidativo severo y daño a las células de la piel por la radiación UV-B (Lieberman, 2007).

Después de la cosecha, el maíz está expuesto a condiciones ambientales variables que ponen en riesgo la calidad del grano desde el almacenamiento hasta el procesamiento (Abdullahi y Dandago, 2021). Las pérdidas en el almacenamiento pueden ser hasta del 30 al 40%, asociadas principalmente al desarrollo de hongos productores de micotoxinas y con ello, la generación de metabolitos secundarios altamente tóxicos que afectan la calidad del grano (SAGARPA, 2016). La seguridad alimentaria se ve comprometida por la capacidad que tienen algunas cepas de producir micotoxinas, estos metabolitos se han asociado a intoxicaciones agudas y enfermedades crónicas que afectan órganos vitales como el riñón, hígado y pulmones; además de alteraciones en el sistema inmunológico, sistema nervioso, genotoxicidad y carcinogénesis (Abrehame et al., 2023). Las principales especies productoras de micotoxinas son *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*, siendo las principales *A. flavus* y *A. parasiticus* (Martínez Batista et al., 2025).

Para inhibir el crecimiento de estos hongos se ha optado por métodos físicos para el control de fitopatógenos durante el almacenamiento de granos, entre estos destacan los tratamientos térmicos como puede ser el uso de microondas, el cual ha resultado ser un método efectivo para reducir carga microbiana logrando mantener las propiedades de los alimentos (Trueba-Vázquez et al., 2019). Los tratamientos con microondas se consideran de bajo costo, destacando por su calentamiento rápido y relativamente uniforme respecto a métodos térmicos tradicionales, además de no generar residuos tóxicos. Particularmente, las microondas producen el calentamiento interno del alimento debido a la polarización iónica y consecuente fricción molecular con lo que se consigue eliminar microorganismos y/o inactivar enzimas. La principal desventaja de estos tratamientos es la falta de uniformidad en el calentamiento, por lo que se implementaron los platos rotatorios y se recomienda el uso de recipientes con esquinas redondeadas o circulares (Tang, 2015; González-Monroy et al., 2018). Sin embargo, a pesar de esta efectividad, estos tratamientos pueden inducir cambios en las propiedades físicas del grano. Por ello, el objetivo del presente trabajo es diseñar y aplicar tratamientos térmicos con microondas en maíz morado, así como determinar si los tratamientos afectan las propiedades físicas de los granos tratados.

Materiales y métodos

Materia prima

Se adquirió maíz morado (Figura 1) en la Central de Abastos de Irapuato, Gto. Se eliminaron los granos con defectos y el material seleccionado se almacenó a 4°C en bolsas de plástico resellables hasta su uso.



Figura 1. Maíz morado usado para el estudio.

Cálculo de la potencia de salida en horno de microondas

Se pesaron 1000 g de agua a temperatura ambiente (20-25°C) en un recipiente apto para su uso en horno de microondas, el cual se introdujo en el horno de microondas (LG, Modelo MS-0745VS, México) y se programó una potencia inicial de 10% por 3 min. Al finalizar el ciclo, se tomaron cinco lecturas de temperatura utilizando un termómetro infrarrojo. El agua utilizada se reemplazaba por agua nueva a temperatura ambiente para calentar a 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100% de la potencia nominal, de acuerdo con el método IEC 60705 (Martin, 2008). Con los datos obtenidos se calculó la potencia en Watts de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$P = \frac{m * Cp * \Delta T}{t}$$

donde m es la masa de agua calentada (kg), Cp el calor específico del agua (kJ/kg°C), ΔT es la diferencia de temperatura (entre la inicial y al final del calentamiento, °C) y t el tiempo de calentamiento (s).

Tratamiento con microondas (MW)

Se partió de una unidad de 3 kg, del cual se conformaron lotes de maíz de 500 g. El diseño experimental consistió en evaluar tres potencias: 0 (control, sin calentamiento), 50 y 90% de potencia nominal, evaluadas por duplicado; las variables de respuesta se midieron por triplicado. Se registró la temperatura inicial del maíz antes del tratamiento. Posteriormente, los lotes se sometieron a calentamiento en el horno de microondas previamente descrito y se registró la temperatura en intervalos de 30 s. Este procedimiento se repitió sucesivamente hasta que el maíz alcanzara una temperatura de 70°C; esta temperatura ha sido reportada como adecuada contra mohos y bacterias patógenas en alimentos de baja humedad (Pérez-Reyes et al., 2021; Flores-Sánchez et al., 2026). Una vez alcanzada la temperatura objetivo, se inició el proceso de enfriamiento. Para ello, el maíz se sometió a una corriente de aire forzado (1 m/s) generada con ventilador de aspas, la temperatura en los granos de maíz se midió cada 30 s. El maíz se agitó lentamente para favorecer la disminución de la temperatura hasta que la temperatura fue inferior a 30°C. Como referencia, se dejó un lote sin tratamiento (control).

Análisis fisicoquímico

El contenido de humedad se determinó en las muestras control y en los lotes tratados. Cada muestra fue previamente triturada en un mortero. Posteriormente, se pesaron 3 g de muestra por duplicado y se sometieron a 105°C por 24 h en una estufa de secado (Shell Lab, USA). El color se determinó por triplicado usando un colorímetro (Color Flex EZ, CFE204483 HunterLab, USA), expresado en la escala CIElab. Para ello, se tomaron 20 g de granos de maíz en un vaso de precipitado de 50 mL y se midieron las coordenadas cromáticas L^* (luminosidad), a^* (verde-rojo) y b^* (azul-amarillo) en el colorímetro previamente calibrado con los mosaicos negro y blanco. Adicionalmente, se estimaron los parámetros Chroma ($C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$),

ángulo Hue ($H^* = \tan^{-1}(b^*/a^*)$) y la diferencia neta de color ($\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$) entre el control y las muestras tratadas con microondas. La actividad de agua (a_w) se midió usando un higrómetro eléctrico (Aqua Lab, CX2, Decagon Devices, WA, USA), el cual se calibró con carbón activado antes de realizar la lectura en 1 g de maíz triturado. Cada una de las variables fisicoquímicas evaluadas fueron medidas por triplicado. Para el caso de la medición de color las muestras fueron medidas por sextuplicado.

Análisis estadístico

Se verificó la normalidad de los datos (prueba de Shapiro-Wilk) y homogeneidad de las varianzas, por lo que se realizó un ANOVA y una prueba de comparación de medias por el método de Duncan a un nivel de confianza del 95% usando el software Statgraphics (Statgraphics Centurion 16 software, StatPoint Technologies Inc., Warrenton, VA).

Resultados y discusión

La potencia de salida a 50 y 90% resultó ser 288 y 562 W, respectivamente. En estos niveles se obtuvo baja desviación estándar, por lo que fueron elegidas para los tratamientos. Los perfiles de temperatura durante el calentamiento y el enfriamiento de los lotes se muestran en las Figuras 2 y 3.

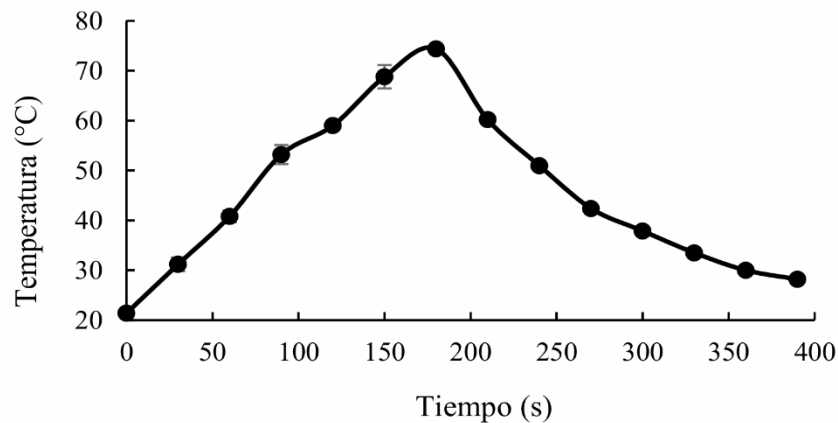


Figura 2. Curva de calentamiento-enfriamiento para tratamiento a 288 W (50% de potencia nominal) en maíz morado.

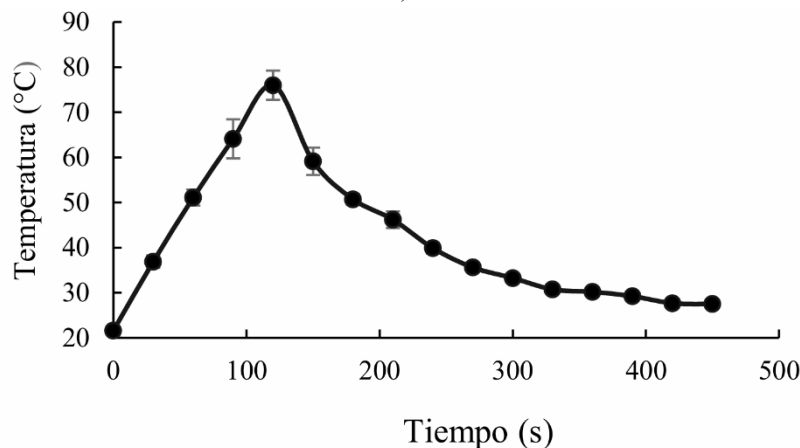


Figura 3. Curva de calentamiento-enfriamiento para tratamiento a 562 W (90% de potencia nominal) en maíz morado.

Al aplicar 288 W, el calentamiento duró 180 s, después de lo cual, tomó 210 s enfriar los lotes hasta lograr 28°C en los granos tratados. Para el caso de 562 W, el calentamiento tuvo una duración de 120 s hasta alcanzar 70°C (temperatura objetivo del calentamiento) y el enfriamiento tardó 330 s hasta alcanzar temperatura por debajo de 30°C (temperatura objetivo de la etapa de enfriamiento).

Los tratamientos con microondas no produjeron cambios significativos en el contenido de humedad ($p>0.05$), se presenta una mínima disminución de los tratamientos con respecto al control (Tabla 1). De acuerdo con la norma CXS 153-1985 (Codex Alimentarius Commission, 1985), el contenido de humedad máximo permitido en el maíz es de 15.5%, por lo tanto, se cumple este parámetro en el maíz morado. Sin embargo, se observó un incremento significativo ($p<0.05$) en la actividad de agua (a_w) en el tratamiento a 562 W en comparación con el control y el tratamiento a 288 W. Para este aumento observado, se elaboró la hipótesis de que podría estar asociado a una redistribución de la humedad interna del grano, el agua que estaba ligada a macromoléculas (almidón o proteínas) se vuelve más libre y el equipo detecte al maíz con mayor a_w . A pesar de este cambio, los valores de a_w se mantienen dentro de un rango bajo, lo que indica que el tratamiento no compromete de manera crítica la estabilidad del maíz.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de maíz morado control y después de los tratamientos con microondas.

Tratamiento	a_w	Contenido de humedad (% base húmeda)
Control	0.418 ± 0.012^a	9.99 ± 0.19^a
MW 288 W	0.428 ± 0.010^a	9.60 ± 0.21^a
MW 562 W	0.444 ± 0.007^b	9.70 ± 0.10^a

Promedios con la misma letra indican que no hay diferencia significativa entre ellos en cada columna ($p>0.05$).

En cuanto al color se obtuvieron cambios mínimos en los parámetros (L^* , a^* , b^*) del maíz morado, lo que indica que la apariencia, en cuanto a color se refiere, sigue conservándose (Tabla 2). El parámetro L^* sugiere que la luminosidad no se ve alterada por efecto de los tratamientos (53.54 a 53.88). Otros autores han reportado cambios en el color debido a tratamientos térmicos asociados a deshidratación superficial o redistribución de los pigmentos (Pathare et al., 2013). En el parámetro a^* y b^* no se presentaron cambios significativos para ambas coordenadas cromáticas ($p>0.05$). Respecto a los valores de Chroma (C^*) se aprecia que la saturación o fuerza de un color es baja (15.96 a 16.6) ofreciendo con ello un color de baja saturación o que tiende a ser grisáceo en el maíz, como puede observarse en la Figura 1. Lo anterior puede deberse a que los pigmentos como antocianinas no fueron degradados/oxidados por el tratamiento de forma significativa. Mientras tanto, para el parámetro del ángulo Hue (H^* entre los 43.11° y 44.1°) a pesar de corresponder a una tonalidad rojiza en el círculo cromático, por los valores de Chroma, su color tiende a ser rojo pálido. En cuanto a la diferencia neta de color (ΔE) no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($p>0.05$), además, no se obtuvieron valores mayores a ΔE de 5, por lo tanto, no son perceptibles las diferencias de color entre el maíz tratado por microondas y los parámetros de color de las muestras control (sin tratamiento térmico).

Con base en lo anterior, la aplicación de tratamientos térmicos a granos de maíz morado mediante el uso de microondas a 288 W y 562 W no altera sus propiedades fisicoquímicas. Lo anterior permite mantener los parámetros de calidad asociados a la apariencia típica de este grano. Resultados similares fueron reportados para otros granos, como trigo tratado con microondas a potencias entre 250 y 500 W (Vadivambal et al., 2007), maíz blanco a potencias de 293, 390 y 475 W (García-Mosqueda et al., 2019) y maíz palomero a 270 y 544 W (Trueba-Vázquez et al., 2019).

Sin embargo, se requieren estudios microbiológicos para comprobar la eficacia del tratamiento en la reducción de mohos.

Tabla 2. Parámetros de color en maíz morado antes y después de los tratamientos con microondas.

Tratamiento	Color CIEL*a*b*					
	L*	a*	b*	C*	H*	ΔE
Control	53.54 $\pm$ 2.27 ^a	9.61 $\pm$ 1.84 ^a	13.21 $\pm$ 1.96 ^a	16.41 $\pm$ 2.09 ^a	43.11 $\pm$ 3.23 ^a	0 ^a
MW 288 W	53.88 $\pm$ 1.99 ^a	9.08 $\pm$ 1.49 ^a	13.05 $\pm$ 1.14 ^a	15.96 $\pm$ 1.13 ^a	43.83 $\pm$ 2.83 ^a	3.61 $\pm$ 1.50 ^b
MW 562 W	53.81 $\pm$ 2.27 ^a	9.31 $\pm$ 1.09 ^a	13.69 $\pm$ 1.75 ^a	16.60 $\pm$ 1.68 ^a	44.10 $\pm$ 2.19 ^a	3.78 $\pm$ 1.24 ^b

Promedios con la misma letra indican que no hay diferencia significativa entre ellos en cada columna ($p > 0.05$).

Conclusiones

El tratamiento con microondas a potencias de 288 y 562 W aplicado a maíz morado no generó cambios significativos en las propiedades fisicoquímicas evaluadas. El contenido de humedad no fue afectado por los tratamientos, mientras que los valores de actividad de agua (a_w) se mantuvieron dentro de un rango bajo, lo cual favorece la estabilidad de los granos. En cuanto al color, se observaron variaciones mínimas no significativas de los tratamientos respecto al control, lo que indica que la luminosidad, los parámetros cromáticos, al igual que la saturación (C^*), tonalidad (H^*) no se ven afectados, por lo que no modifican el color. El tratamiento con microondas a 288 W puede ser una alternativa viable para maíz morado sin comprometer sus propiedades fisicoquímicas. Se recomienda realizar una evaluación microbiológica que permita corroborar la eficacia de los tratamientos con microondas en los principales microorganismos de interés postcosecha.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de los Apoyos Institucionales para Investigación de la Universidad de Guanajuato para D.S. Tapia Guerrero y M.G. Flores Sánchez. Este trabajo fue financiado por la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI, México), proyecto CBF2023-2024-1220.

Bibliografía

- Abdullahi, N., & Dandago, M. A. (2021). Postharvest losses in food grains – A review. *Turkish Journal of Food and Agriculture Sciences*, 3(2), 25–36. <https://doi.org/10.53663/turjfas.958473>
- Abrehame, S., Manoj, V. R., Hailu, M., Chen, Y. Y., Lin, Y.-C., Chen, C. Y., & Lin, C. S. (2023). Aflatoxins: source, detection, clinical features and prevention. *Processes*, 11(1), 204, 1–20. <https://doi.org/10.3390/pr11010204>
- Codex Alimentarius Commission. (1985). Standard for maize (corn) flour and maize (corn) meal (CXS 153-1985). Codex Alimentarius. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/shproxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B153-1985%252FCXS_153s.pdf
- Flores-Sánchez, M. G., Pérez-Reyes, M. E., Kaur, T., & Sosa-Morales, M. E. (2026). Effect of water activity and microwave heating on the physicochemical properties of Mexican red chili peppers (*Capsicum annuum* L.): *De Árbol and Guajillo*. *Journal of Food Process Engineering*, 49, e70481. <https://doi.org/10.1111/jfpe.70481>
- García-Mosqueda, C., Salas-Araiza, M.D., Cerón-García, A., Estrada-García, H.J., Rojas-Laguna, R., & Sosa-Morales, M.E. (2019). Microwave heating as a post-harvest treatment for white corn (*Zea mays*) against *Sitotroga cerealella*. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 53(3), 145–154. <https://doi.org/10.1080/08327823.2019.1643651>

- González-Monroy, A. D., Rodríguez-Hernández, G., Ozuna, C., & Sosa-Morales, M. E. (2018). Microwave-assisted pasteurization of beverages (tamarind and green) and their quality during refrigerated storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 49, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.07.016>
- Lao, F., Sigurdson, G. T., & Giusti, M. M. (2017). Health benefits of purple corn (*Zea mays* L.) phenolic compounds. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(2), 234–246. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12249>
- Lieberman, S. (2007). The antioxidant power of purple corn: A research review. *Alternative and Complementary Therapies*, 13(2), 107–110. <https://doi.org/10.1089/act.2007.13210>
- Martin, G. (2008). Factors That Affect Power and Uniformity of Heating in Microwave Ovens. In *Proceedings of 42nd Symposium of IMPI*. IMPI.
- Martínez Batista, E., Ramos Bell, S., Rayón Díaz, E., Díaz Cayetano, G., González Arias, C., Herrera González, J. A., Ireta Moreno, J., & Gutiérrez Martínez, P. (2025). Manejo postcosecha de fitopatógenos micotoxigénicos en maíz: Métodos convencionales y alternativas naturales. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 44(1), 1–19. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2503-2>
- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Julanda Al-Said, F. (2013). Measuring and analysis of colour in fresh and processed foods: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 36–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
- Pérez-Reyes, M. E., Tang, J., Barbosa-Cánovas, G. V., & Zhu, M. (2021). Influence of water activity and dry-heating time on egg white powders quality. *LWT*, 140, 110717.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2016). Claridades agropecuarias: almacenamiento en México. *Claridades Agropecuarias*, 271, 1–50. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/185452/revista_271.pdf
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2017). Potencial nutracéutico de los maíces pigmentados. Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232247/Potencial_nutraceutico_de_los_maices_pigmentados.pdf
- Tang, J. (2015). Unlocking potentials of microwaves for food safety and quality. *Journal of Food Science*, 80(8), E1776–E1793. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12959>
- Trueba-Vázquez, E., Fernández-Villanueva, G., Tapia-Cervantes, K. A., Salinas-Almanza, E. M., & Sosa-Morales, M. E. (2019). Tratamiento con microondas para control de plaga en *Zea mays* Everta y microbiológico en *Capsicum annuum*. *Jóvenes en la Ciencia*, 5(1), 1–4. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3060>
- Vadivambal, R., Jayas, D. S., & White, N. D. G. (2007). Wheat disinfestation using microwave energy. *Journal of Stored Products Research*, 43, 508–514.