

Aplicación de extractos ricos en antocianinas como indicadores de frescura en carne de res

Jorge Saldaña Jaramillo¹, Nayeli Castañeda Cuevas², Víctor Manuel Langarica Rivera³, Cesar Alejandro Torres Negrete⁴, Martha Cecilia Zúñiga Hernández⁵
^{1 2 3} Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Tamazula.

^{4 5} Agro González S.P.R. de R.L

Resumen - El deterioro de la carne de res envasada en fresco constituye un problema relevante en términos de inocuidad y calidad, debido a que los sistemas convencionales de envasado no proporcionan información dinámica sobre el estado real del producto. En este estudio experimental presuntivo se evaluó la aplicación de extractos ricos en antocianinas obtenidos de arándano (*Vaccinium spp.*) y col morada (*Brassica oleracea*) como indicadores de frescura en carne de res, aprovechando su capacidad de cambiar de color en respuesta a variaciones de pH asociadas al deterioro. Los extractos fueron obtenidos mediante reflujo con etanol al 70% (v/v) e incorporados en papel filtro como soporte del sistema indicador. Los cambios de color se analizaron mediante técnicas de colorimetría y se correlacionaron con las variaciones de pH en muestras de carne sometidas a diferentes condiciones de temperatura. Los resultados mostraron un incremento del pH bajo condiciones de deterioro, acompañado de cambios visibles en la coloración del sistema desarrollado. Se concluye que los extractos ricos en antocianinas representan una alternativa viable como indicadores de frescura, con potencial aplicación en sistemas inteligentes de monitoreo de calidad en la industria cárnica.

Palabras clave: Antocianinas, carne de res, pH, colorimetría, indicadores de frescura.

¹ Jorge Saldaña Jaramillo, Coordinador de la carrera de Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Tamazula. jorge.saldana@tamazula.tecmm.edu.mx

² Nayeli Castañeda Cuevas, Docente del departamento de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Tamazula. nayeli.castaneda@tamazula.tecmm.edu.mx

³ Víctor Manuel Langarica Rivera, Docente del departamento de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Tamazula. victor.langarica@tamazula.tecmm.edu.mx

⁴ Cesar Alejandro Torres Negrete, Ing. Agro González S.P.R. de R.L. cesar.t.negrete@gmail.com

⁵ Martha Cecilia Zúñiga Hernández, Ing. en Agro González S.P.R. de R.L. ceczyh7@gmail.com

Abstract – The deterioration of fresh packaged beef represents a significant issue in terms of food safety and quality, as conventional packaging systems do not provide

dynamic information about the actual condition of the product. In this presumptive experimental study, the application of anthocyanin-rich extracts obtained from blueberry (*Vaccinium spp.*) and red cabbage (*Brassica oleracea*) was evaluated as freshness indicators for beef, taking advantage of their ability to change color in response to pH variations associated with spoilage. The extracts were obtained by reflux using 70% (v/v) ethanol and subsequently incorporated into filter paper as a support for the indicator system. Color changes were analyzed using colorimetric techniques and correlated with pH variations in meat samples subjected to different temperature conditions. The results showed an increase in pH under spoilage conditions, accompanied by visible changes in the coloration of the developed system. It is concluded that anthocyanin-rich extracts represent a viable alternative as freshness indicators, with potential application in intelligent quality monitoring systems in the meat industry.

Keywords: Anthocyanins, beef, pH, colorimetry, freshness indicators.

I. INTRODUCCIÓN

La carne de res es un alimento de alto valor nutricional en la dieta humana; sin embargo, presenta una elevada susceptibilidad al deterioro microbiológico y fisicoquímico debido a su composición rica en nutrientes y alta actividad de agua, condiciones que favorecen el crecimiento de microorganismos alterantes y patógenos [1], [2]. Esta situación convierte la calidad e inocuidad del producto en un aspecto crítico dentro de la industria alimentaria, particularmente durante las etapas de almacenamiento, transporte y comercialización [3].

Durante el almacenamiento, la carne experimenta cambios en parámetros como pH, color, textura y olor, los cuales están estrechamente relacionados con procesos bioquímicos y actividad microbiana [4]. En particular, el incremento del pH se asocia con la degradación de proteínas y la generación de compuestos nitrogenados volátiles, lo que constituye un indicador confiable del deterioro del alimento [1], [2]. No obstante, estos cambios no siempre son perceptibles en etapas

iniciales, lo que incrementa el riesgo de consumo de productos en condiciones no aptas.

Los sistemas convencionales de envasado y etiquetado se basan principalmente en fechas de caducidad estimadas, por lo que no reflejan de manera precisa el estado real de frescura del alimento bajo condiciones variables de almacenamiento [5]. Esta limitación ha impulsado el desarrollo de sistemas de envasado inteligente capaces de proporcionar información en tiempo real sobre la calidad del producto.

En este contexto, los compuestos naturales sensibles a cambios fisicoquímicos han cobrado relevancia como alternativa para el desarrollo de indicadores de frescura. Entre ellos, las antocianinas destacan por su capacidad de respuesta a variaciones de pH, derivada de su estructura química, la cual induce cambios de color según las condiciones del medio [6], [7]. Estos pigmentos se encuentran ampliamente distribuidos en frutas y hortalizas como el arándano (*Vaccinium spp.*) y la col morada (*Brassica oleracea*), los cuales han sido estudiados por su potencial aplicación en sistemas alimentarios como indicadores naturales [7], [8].

En condiciones ácidas, con un pH cercano a 3, las antocianinas permanecen en su forma protonada, es decir, los grupos fenólicos (-OH) conservan sus átomos de hidrógeno. Bajo estas condiciones, la molécula se comporta como un catión y presenta una absorción de luz dentro de la región azul-verde del espectro visible (450–560 nm), lo que origina una coloración roja perceptible al ojo humano. A medida que el pH del medio incrementa, las antocianinas experimentan un proceso de desprotonación debido a la pérdida de protones en los grupos fenólicos. Este cambio estructural modifica sus propiedades de absorción de luz, desplazándola hacia la región amarillónaranja del espectro visible (570–620 nm). Como consecuencia, los pigmentos adquieren tonalidades azuladas o violáceas, ver Figura 1, [9] y [10].

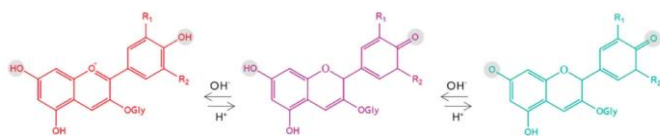


Figura 1. Cambio de Color de la antocianina [10]

Diversos estudios han demostrado que las antocianinas pueden emplearse como sensores visuales del deterioro de alimentos, debido a su respuesta cromática frente a los cambios de pH generados por la actividad microbiana [11]. Esta propiedad permite establecer una correlación directa entre el estado de frescura del alimento y la señal visual observada, lo que las convierte en una alternativa viable para sistemas de monitoreo en productos altamente perecederos como la carne.

El presente estudio se fundamenta en la necesidad de desarrollar herramientas más eficientes que los métodos convencionales de evaluación de frescura. Considerando que el deterioro de la

carne está estrechamente relacionado con el incremento del pH, se propone el uso de antocianinas como indicadores colorimétricos naturales. El objetivo del trabajo es evaluar la aplicación de extractos de arándano (*Vaccinium spp.*) y col morada (*Brassica oleracea*) como indicadores de frescura en carne de res, analizando su respuesta frente a variaciones de pH bajo distintas condiciones de almacenamiento, así como explorar el posible efecto sinérgico entre ambos extractos para mejorar la sensibilidad del sistema indicador.

II METODOLOGÍA

Extracción de antocianinas. se realizó mediante un proceso de reflujo utilizando etanol al 70% (v/v) como solvente, debido a su eficiencia en la solubilización de compuestos fenólicos. El material vegetal fue sometido a calentamiento controlado durante el proceso de extracción para favorecer la liberación de pigmentos desde la matriz vegetal. Posteriormente, los extractos obtenidos se enfriaron a temperatura ambiente y se almacenaron a 4 °C para preservar su estabilidad y evitar su degradación hasta su uso.

Preparación del sistema indicador. Se depositó 1 mL de extracto sobre papel filtro previamente cortado en secciones de 2.25 cm². Las muestras impregnadas se secaron en estufa a 50 °C hasta la eliminación completa del solvente, asegurando la fijación del extracto en el soporte. Una vez secas, se realizó la medición del color inicial mediante análisis colorimétrico.

Preparación de muestras de carne y determinación de pH. Se pesaron 3 g de carne de res, los cuales se colocaron en tubos tipo Falcon. Posteriormente, se añadieron 27 mL de agua destilada y la mezcla se homogenizó utilizando un agitador vortex para asegurar una dispersión uniforme. El pH se determinó mediante un potenciómetro digital (Hanna Instruments® pH-211). Las mediciones se realizaron al inicio del experimento y después de 24 h de almacenamiento.

Condiciones de almacenamiento. Las muestras de carne y los sistemas indicadores se mantuvieron en contacto indirecto en cajas Petri bajo diferentes condiciones de temperatura: temperatura ambiente, 30 °C, 40 °C y 50 °C, durante un periodo de 24 h, con el objetivo de evaluar el efecto del almacenamiento sobre el deterioro del alimento.

Análisis colorimétrico. Transcurrido el periodo de almacenamiento, se evaluaron los cambios de color en los sistemas indicadores mediante un colorímetro LabScan modelo XE, operado con el software EasyMatch QC versión 4.12.12. Los parámetros de color obtenidos se utilizaron para correlacionar las variaciones cromáticas con los cambios de pH en las muestras de carne.

Se utilizó ChatGPT como herramienta de apoyo en la redacción, organización y revisión del documento, sin sustituir el análisis crítico, la interpretación ni la responsabilidad

académica del autor.

III. RESULTADOS

- Caracterización de los extractos

Los resultados colorimétricos de los extractos de antocianinas obtenidos de arándano (*Vaccinium* spp.), col morada (*Brassica oleracea*) y su mezcla se presentan en la Tabla I. Se observaron diferencias en los valores RGB, evidenciando variaciones en intensidad y tonalidad entre los tratamientos:

Tabla I. Parámetros colorimétricos

Muestra	Parámetros colorimétricos
Arándano	R: 225, G: 169, B: 225
Col morada	R: 181, G: 128, B: 181
Mezcla (Arándano+Col)	R: 159, G: 70, B: 159

La mezcla presentó una disminución notable en el componente verde (G), lo que se asocia con una mayor saturación del color en tonos púrpura. Este comportamiento sugiere una mayor absorción en el espectro visible, lo cual puede explicarse por la interacción entre antocianinas aciladas (col morada) y no aciladas (arándano), generando un efecto combinado que incrementa la intensidad cromática, fenómeno previamente descrito en la literatura como un factor que incrementa la estabilidad y expresión del color en matrices vegetales [6], [7].

Este comportamiento es consistente con lo reportado por Castañeda-Ovando et al. [8], quienes señalan que la estructura química de las antocianinas influye directamente en su absorción espectral y estabilidad cromática.

Además, la mayor intensidad observada en la mezcla (ver Figura 2) tiene implicaciones funcionales relevantes, ya que permite una mejor discriminación visual de los cambios de color asociados a variaciones de pH durante el deterioro de la carne. En este sentido, la combinación de extractos no solo incrementa la intensidad inicial del color, sino que también podría mejorar la sensibilidad del sistema indicador, facilitando la detección de cambios sutiles en las primeras etapas de alteración del producto, lo cual concuerda con estudios sobre envases inteligentes que destacan la importancia de matrices pigmentarias más estables para la detección temprana de cambios fisicoquímicos en alimentos [11].

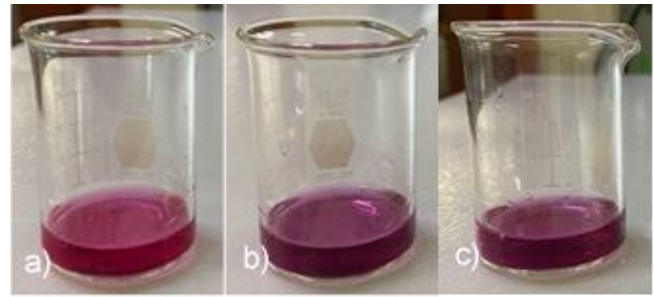


Figura 2. Comparación visual de la intensidad cromática de los extractos de antocianinas: a) Arándano (*vaccinium* spp.), b) Col morada (*brassica oleracea*) y c) mezcla de ambos extractos.

- Cambios de pH en la carne

Después de 24 horas de almacenamiento, se observaron diferencias claras en los valores de pH de la carne de res bajo las distintas condiciones evaluadas. La muestra fresca presentó un pH inicial de 6.05, característico de carne en condiciones adecuadas. Sin embargo, las muestras sometidas a temperaturas elevadas y ambiente mostraron incrementos notables en este parámetro, alcanzando valores de 8.29 a 30°C, 7.70 a 40°C y 7.64 a temperatura ambiente, mientras que a 50°C se registró un valor de 6.23. (Ver Figura 2).

El incremento más significativo se presentó a 30°C, lo cual sugiere que esta temperatura favorece condiciones óptimas para la actividad microbiana y la degradación proteica, reportado por [1] y [2] sobre condiciones óptimas para el crecimiento microbiano en productos cárnicos

Este proceso conduce a la formación de compuestos básicos, como aminas volátiles, responsables del aumento del pH. En contraste, el comportamiento observado a 50°C indica una posible inhibición del crecimiento microbiano debido a la temperatura, lo que limita los procesos de deterioro, tal como ha sido reportado en estudios de conservación térmica de productos cárnicos [2].

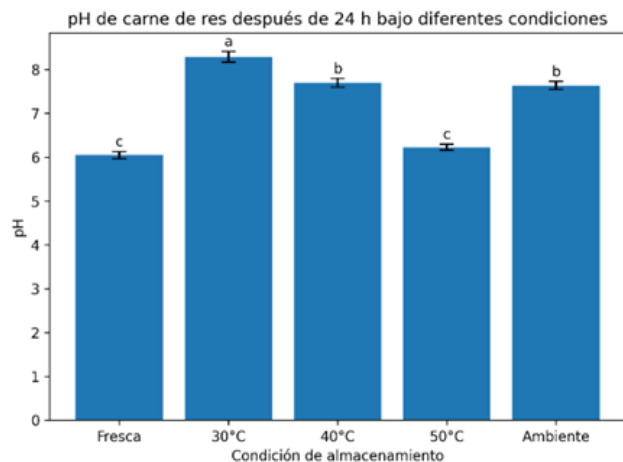


Figura 2. Variación del pH en muestras de carne de res tras 24 horas de almacenamiento bajo distintas condiciones de temperatura. Los datos se expresan como media ± desviación estándar. Diferentes letras sobre las barras (a–c) indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con una prueba Tuckey ($p < 0.05$).

Desde una perspectiva comparativa, los resultados evidencian que las condiciones de almacenamiento tienen un efecto directo sobre la estabilidad fisicoquímica de la carne. Las muestras a 40 °C y temperatura ambiente mostraron valores intermedios de pH, lo que sugiere un deterioro progresivo pero menos acelerado en comparación con 30 °C.

El aumento del pH se asocia a la formación de compuestos nitrogenados volátiles derivados de la degradación proteica, fenómeno ampliamente documentado como indicador de deterioro en carne [4].

- Cambio de color en sistema indicador

El sistema indicador basado en antocianinas mostró un viraje de color evidente (Tabla II), caracterizado por la transición de tonalidades púrpura iniciales hacia colores más claros con tendencia a azul, fenómeno directamente asociado al incremento del pH en las muestras de carne. Este comportamiento es característico de las antocianinas, cuya estructura química se modifica conforme el medio se vuelve menos ácido, generando cambios en su espectro de absorción y, en consecuencia, en su coloración. lo cual es característico de la transición estructural de las antocianinas en función del pH del medio [6], [7].

Tabla II. Variación cromática del sistema basado en antocianinas en contacto con carne de res molida, antes y después de 24 horas de almacenamiento.

Color después													
Color original													
T°C	TA	30	40	50	TA	30	40	50	TA	30	40	50	
	Arándano				Col morada				Mezcla				

Las muestras presentaron un pH inicial de 6.05, correspondiente a carne en condiciones adecuadas; sin embargo, tras 24 horas de almacenamiento se observaron incrementos significativos, alcanzando valores de 8.29 a 30 °C, 7.70 a 40 °C y 7.64 a temperatura ambiente, mientras que a 50 °C se registró un valor de 6.23 (Figura 2).

El mayor incremento a 30 °C sugiere condiciones óptimas para la actividad microbiana y la degradación proteica, lo que

favorece la formación de compuestos básicos como aminas volátiles. En contraste, el comportamiento a 50 °C podría asociarse a una disminución de la actividad microbiana, limitando el avance del deterioro.

La intensidad del cambio cromático fue más pronunciada en las condiciones con mayor incremento de pH, evidenciando una relación directa entre el grado de deterioro y la respuesta del sistema indicador. La correlación entre incremento de pH y cambio de color observada en este estudio es consistente con investigaciones previas sobre indicadores naturales aplicados a alimentos perecederos [8], [11].

Adicionalmente, la mezcla de extractos de arándano y col morada presentó mayor sensibilidad visual, con variaciones cromáticas más intensas y fácilmente distinguibles (Figura 3), lo cual puede atribuirse a la combinación de diferentes tipos de antocianinas, favoreciendo una respuesta más amplia ante cambios de pH y mejorando la detección temprana del deterioro.

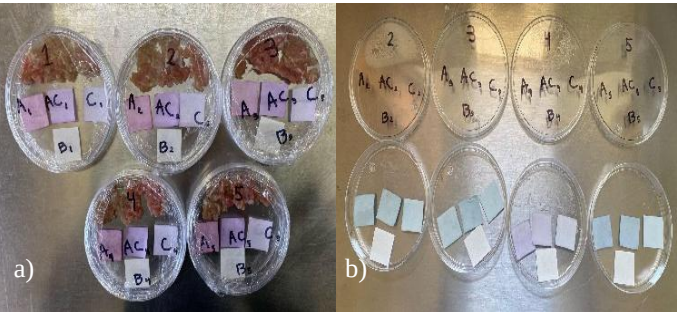


Figura 3. Comparación visual de la respuesta cromática del sistema basado en antocianinas en contacto con carne de res molida, antes y después de 24 horas de almacenamiento: a) estado inicial y b) estado posterior al almacenamiento

En este sentido, la mezcla no solo mejora la intensidad inicial del color, sino que también incrementa la capacidad del sistema para detectar cambios sutiles en las primeras etapas del deterioro, lo que la posiciona como la alternativa más eficiente para su aplicación como indicador de frescura.

IV CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que la aplicación de extractos ricos en antocianinas constituye una estrategia efectiva para la evaluación de la frescura en carne de res, al evidenciar una relación directa entre el incremento del pH y el cambio de color del sistema indicador. Las antocianinas mostraron una respuesta sensible y consistente frente a las variaciones fisicoquímicas asociadas al deterioro del alimento, permitiendo la identificación visual del grado de

alteración bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

Asimismo, la combinación de extractos de arándano (*Vaccinium* spp.) y col morada (*Brassica oleracea*) presentó una mayor intensidad y sensibilidad cromática en comparación con los extractos individuales, lo que sugiere un efecto sinérgico que mejora el desempeño del sistema indicador.

En términos de proyección, estos resultados evidencian el potencial de las antocianinas para su aplicación en sistemas inteligentes de envasado y monitoreo de calidad en la industria alimentaria. Se recomienda profundizar en la evaluación de su estabilidad bajo condiciones reales de almacenamiento y distribución, así como su incorporación en matrices poliméricas o materiales de empaque activo.

Adicionalmente, la integración de herramientas de análisis digital de color e inteligencia computacional podría permitir la cuantificación automatizada de los cambios cromáticos, contribuyendo al desarrollo de sistemas de monitoreo más precisos y reproducibles. En conjunto, estas tecnologías se alinean con los principios de la Industria 4.0, al favorecer la trazabilidad, la reducción de pérdidas por deterioro y el fortalecimiento del control de calidad en productos cárnicos.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento al Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula de Gordiano Jalisco, México, por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo. De igual manera, se reconoce el respaldo del personal docente y técnico de los laboratorios de análisis y microbiología, quienes contribuyeron con asesoría, equipo e infraestructura para el desarrollo experimental.

Asimismo, se agradece a los compañeros y estudiantes que participaron en las distintas etapas del proyecto, así como a las instancias que facilitaron el acceso a materiales y recursos necesarios para la ejecución del estudio.

Finalmente, se reconoce el esfuerzo colaborativo que hizo posible la consolidación de este trabajo, orientado al fortalecimiento de la investigación en el área de Ingeniería en Industrias Alimentarias

REFERENCIAS

[1] F. Adzitey, "Carne con exudado pálido, suave y acuoso (PSE) y carne oscura, firme y seca (DFD): causas y medidas para reducir su incidencia—Una

revisión breve," *International Food Research Journal*, vol. 18, no. 1, pp. 11–20, 2011.

[2] E. Borch, M. L. Kant-Muermans y Y. Blixt, "Deterioro bacteriano de la carne y productos cárnicos curados," *International Journal of Food Microbiology*, vol. 33, no. 1, pp. 103–120, 1996, doi: 10.1016/0168-1605(96)01135-X.

[3] V. Guillard *et al.*, "La próxima generación de envases sostenibles para preservar el medio ambiente en un contexto de economía circular," *Frontiers in Nutrition*, vol. 5, p. 121, 2018, doi: 10.3389/fnut.2018.00121.

[4] D. Dave y A. E. Ghaly, "Mecanismos de deterioro de la carne y técnicas de conservación: una revisión crítica," *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, vol. 6, no. 4, pp. 486–510, 2011, doi: 10.3844/ajabssp.2011.486.510.

[5] J. P. Kerry, M. N. O'Grady y S. A. Hogan, "Utilización pasada, actual y potencial de sistemas de envasado activo e inteligente para productos cárnicos: una revisión," *Meat Science*, vol. 74, no. 1, pp. 113–130, 2006, doi: 10.1016/j.meatsci.2006.04.024.

[6] J. He y M. M. Giusti, "Antocianinas: colorantes naturales con propiedades promotoras de la salud," *Annual Review of Food Science and Technology*, vol. 1, pp. 163–187, 2010, doi: 10.1146/annurev.food.080708.100754.

[7] H. E. Khoo, A. Azlan, S. T. Tang y S. M. Lim, "Antocianidinas y antocianinas: pigmentos coloreados como ingredientes alimentarios, farmacéuticos y sus posibles beneficios para la salud," *Food & Nutrition Research*, vol. 61, no. 1, p. 1361779, 2017, doi: 10.1080/16546628.2017.1361779.

[8] A. Castañeda-Ovando *et al.*, "Estudios químicos de las antocianinas: una revisión," *Food Chemistry*, vol. 113, no. 4, pp. 859–871, 2009, doi: 10.1016/j.foodchem.2008.09.001.

[9] Garzón, Gloria Astrid. (2008). Las Antocianinas Como Colorantes Naturales Y Compuestos Bioactivos: Revisión. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 27-36. Retrieved May 07, 2026, http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2008000300002&lng=en&tlng=es.

[10] "Why Do Anthocyanins Change Color?," DDW The Color House, 2023. [En línea]. Disponible en: DDW The Color House. <https://learn.ddwcolor.com/why-do-anthocyanins-change-color/>

[11] B. Kuswandi *et al.*, "Envases inteligentes: sensores para el monitoreo de la calidad e inocuidad de los alimentos," *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, vol. 5, no. 3–4, pp. 137–146, 2011, doi: 10.1007/s11694-011-9116-x.

Biografía autores

1 Jorge Saldaña Jaramillo, Coordinador de la carrera de Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez
Unidad Académica Tamazula.
jorge.saldana@tamazula.tecmm.edu.mx

2 Nayeli Castañeda Cuevas, Docente del departamento de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez
Unidad Académica Tamazula.
nayeli.castaneda@tamazula.tecmm.edu.mx

3 Víctor Manuel Langarica Rivera, Docente del departamento de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez
Unidad Académica Tamazula.
victor.langarica@tamazula.tecmm.edu.mx

4 Cesar Alejandro Torres Negrete, Ing. en Industrias Alimentarias, Dpto. Control de Calidad en Agro González S.P.R. de R.L. cesar.t.negrete@gmail.com

5 Martha Cecilia Zúñiga Hernández, Ing. en Industrias Alimentarias, Dpto de Calidad en Campo en Agro González S.P.R. de R.L. ceczyh7@gmail.com