



DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE FUNCIONALIZADO CON COMPUESTOS ACTIVOS, Y PECTINA OBTENIDA DE LA CÁSCARA DE CACAO, PARA FINES TECNOLÓGICOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

DESIGN AND EVALUATION OF AN EDIBLE COATING, FUNCTIONALIZED WITH ACTIVE COMPOUNDS, AND PECTIN OBTAINED FROM THE COCOA SHELL, FOR TECHNOLOGICAL PURPOSES IN THE FOOD INDUSTRY

¹Gina K. Andrade M, ²Leidy J. Sampedro G

^{1,2}Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia

Recibido: 20/10/2023 Aprobado 20/11/2023

RESUMEN

A pesar de los grandes avances en el campo de la conservación de los alimentos, la industria se enfrenta a elevadas pérdidas económicas, por descomposición y disminución en la calidad final del producto, afectándose sus características de: textura, sabor, olor, valor nutritivo y vida útil. El uso de películas y recubrimientos comestibles es una alternativa prometedora para garantizar la calidad de los alimentos durante su procesado, distribución y almacenamiento; están constituidas por finas películas de polímeros naturales (polisacáridos, proteínas, lípidos) biodegradables, siendo así una tecnología respetuosa con el medio ambiente que responde a la demanda creciente por parte de los consumidores de alimentos naturales, seguros, saludables y obtenidos mediante un procesado mínimo. Con el presente proyecto de investigación se buscó diseñar y evaluar un recubrimiento comestible (RC), empleando para ello pectina obtenida a partir de los residuos generados durante la cosecha y postcosecha de dos variedades de cacao (*criollo* y *trinitario*), adicionado con almidón de maíz, glicerol, como plastificante, y aceite esencial de canela nanoemulsionado, como ingrediente bioactivo que le generó a la película un carácter antioxidante. Para el montaje del recubrimiento comestible se estableció un diseño experimental factorial por triplicado, para evaluar el efecto de la relación pectina-almidón (P/A), y porcentaje de pectina sobre la funcionalidad y resistencia de la película. Finalmente, con los resultados se realizó un

Citación: Andrade, G. , & Gomez Sampedro, L. J. . (2023). Diseño y evaluación de un recubrimiento comestible funcionalizado con compuestos activos, y pectina obtenida de la cáscara de cacao, para fines tecnológicos en la industria alimentaria. *Publicaciones E Investigación*, 17(4). <https://doi.org/10.22490/25394088.7508>

¹gkate02@gmail.com / <https://orcid.org/0009-0004-3993-5839>

²leidyj.gomez@unad.edu.co / <https://orcid.org/0000-0001-9078-7051>

<https://doi.org/10.22490/25394088.7508>

proceso de optimización para determinar las mejores condiciones para la elaboración del recubrimiento, y bajo estas condiciones se desarrolló la solución filmogénica. La película comestible optimizada, fue elaborada con pectina de cacao a una concentración de (1 % p/p), y almidón de maíz al (1,22 % p/p), formando así la solución matriz; adicionada con glicerol al (2 % p/p) y aceite esencial de canela nanoemulsionado al (0,02 % p/p); la cual fue sometida a pruebas de calidad fisicoquímicas y mecánicas. Los resultados del ANOVA del diseño experimental mostraron que no se evidenció efecto significativo de las variables independientes %P y (P/A), sobre el color del RC, contrario a lo que sucedió con las variables de respuesta de la actividad antioxidante y resistencia del RC optimizado.

Palabras clave: aceite esencial de canela, actividad antioxidante, conservación, nano-emulsión, envase activo, antimicrobiano.

ABSTRACT

Despite the significant advances in food preservation, the industry faces high economic losses due to decomposition and a decrease in the product's final quality, affecting its texture, taste, smell, nutritional value, and shelf-life characteristics. Using edible films and coatings is a promising alternative to ensure food quality during processing, distribution, and storage. They consist of thin films of biodegradable natural polymers (polysaccharides, proteins, lipids), thus being an environmentally friendly technology that responds to the growing demand by consumers for natural, safe, healthy foods obtained through minimal processing. With the present research project, we sought to design and evaluate an edible coating (RC), using pectin obtained from the waste generated during the harvest and postharvest of two varieties of cocoa (criollo and trinitario), added with corn starch, glycerol, as a plasticizer, and essential oil of cinnamon nano emulsified, as a bioactive ingredient that generated an antioxidant character to the film. For the assembly of the edible coating, a factorial experimental design 2^2 in triplicate was established to evaluate the effect of the pectin-starch ratio (P / A), and percentage of pectin on the functionality and strength of the film. Finally, with the results, an optimization process was carried out to determine the best conditions for the elaboration of the coating, and under these conditions, the filmogenic solution was developed. The optimized edible film was made with cocoa pectin at a concentration of (1% w / w), and corn starch (1.22% w / w), thus forming the matrix solution added with glycerol (2% w/w) and cinnamon essential oil nano emulsified (0.02% w/w); which was subjected to physicochemical and mechanical quality tests. The results of the ANOVA of the experimental design showed that there was no significant effect of the independent variables %P and (P/A) on the color of the CR, contrary to what happened with the response variables of the antioxidant activity and resistance of the optimized CR.

Keywords: Cinnamon essential oil, antioxidant activity, preservation, nano-emulsion, cocoa pectin, active packaging, antimicrobial.



1. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el montaje del RC, se realizó un diseño experimental tipo factorial 2^2 por triplicado, tomando como factores de estudio: porcentaje de pectina (%P), y la relación pectina-almidón (P/A), según se indica en la Tabla 1; y como variables de repuesta: la capacidad antioxidante, el

color y la resistencia mecánica del RC. El análisis preliminar de los datos, la adecuación del modelo, la significancia estadística de los coeficientes de regresión y la interacción entre las variables independientes (P/A; %P) fueron llevados a cabo mediante el análisis de varianza (ANOVA).

Adicionalmente, se llevó a cabo la optimización del modelo polinomial obtenido en el diseño experimental 2^2 , para determinar las condiciones de relación pectina-almidón (P/A), y porcentaje de pectina (%P), que maximizan la capacidad antioxidante y la resistencia mecánica del RC, y presentan las mejores características de color.

TABLA 1. LOS FACTORES DE ESTUDIO PARA EL DISEÑO EXPERIMENTAL TIPO FACTORIAL 2^2

| Factores de estudio | Niveles |
|-------------------------------|---------|
| Porcentaje pectina de cacao: | |
| %P1 | 1.0 % |
| %P2 | 2.0 % |
| Proporción pectina / almidón: | |
| P/A1 | 1:1 |
| P/A2 | 1:2 |

1.2 Preparación de la solución filmógena

Se realizaron las 4 soluciones filmogénicas requeridas para el diseño experimental descrito anteriormente, todos los ensayos se llevaron a cabo por triplicado. Las soluciones filmógenas, se prepararon siguiendo el procedimiento descrito por Zambrano *et al.* (2017). Cada solución se preparó como se indica en la Tabla 2. Se partió de alistar las diferentes disoluciones estructurales: nanoemulsión de aceite esencial de canela a la concentración indicada (2 % p/p) como ingrediente activo, como solución matriz (agua + pectina + almidón); y la solución plastificante (glicerol + agua destilada / desionizada). La solución preparada con almidón se calentó previamente a 68 °C, para alcanzar su punto de gelificación y solubilidad, mientras, la solución preparada a base de pectina se hizo a temperatura ambiente.

TABLA 2. DISEÑO EXPERIMENTAL PROPUESTO PARA LA FORMULACIÓN DEL RECUBRIMIENTO BIODEGRADABLE

| Componente | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 | Muestra 4 |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <i>Material hidrocoloide:</i> | | | | |
| Almidón de maíz | 1 g | 2 g | 2 g | 4 g |
| <i>Pectina de cacao</i> | 1 g | 1 g | 2 g | 2 g |
| <i>Plastificante:</i> | | | | |
| Glicerol | 2 g | 2 g | 2 g | 2 g |
| <i>Nano emulsión:</i> | | | | |
| Aceite esencial de canela 2% | 1 g | 1 g | 1 g | 1 g |
| <i>Agua destilada /desionizada</i> | 95 g | 94 | 93 g | 91 |
| Total | 100 g | 100 g | 100 g | 100 g |

La mezcla final se mantuvo en agitación a 800 RPM, y finalmente se incorporó el ingrediente activo (antioxidante y antimicrobiano). Las películas se elaboraron por el método de vertido y secado en placas de plástico, con dimensiones de diámetro y altura (94x16) mm, sirviendo entre (5 y 7) mL por cada caja. Luego las cajas con solución filmogénica, fueron expuestas a una temperatura de 35 °C, por un tiempo de secado de 2 horas; temperatura de refrigeración a 4 °C y HR del 75 % por 12 horas; y a temperatura ambiente (25 °C)

por 15 horas respectivamente. Transcurrido el tiempo de secado, se desmoldó la película biodegradable, y se sometió a pruebas de calidad.

1.2 Evaluación de las propiedades del recubrimiento comestible

Análisis del color. Esta prueba se llevó a cabo mediante la determinación de las coordenadas del espacio CIE-Lab (L^* , a^* , b^*) en un colorímetro digital 3NH YS3020 (Figura 4), con aditamento para análisis de líquidos. El

experimento se realizó a las 4 muestras sin diluir, tanto en estado líquido como sólido, y por triplicado.

Actividad antioxidante. Se empleó la técnica in vitro DPPH, para medir la capacidad antioxidante del ingrediente activo utilizado para la elaboración del recubrimiento biodegradable (aceite esencial de canela).

La actividad antioxidante del RC, se llevó a cabo a través del método aplicado por Brand-Williams *et al.* (1995), el cual se basa en la reducción del radical libre DPPH. 1,1 –difencil-2-picril-hidrazilo, a una absorbancia medida entre (515 – 518) nm. La actividad antioxidante fue expresada como el porcentaje de inhibición, también llamado porcentaje de DPPH consumido, empleando para ello las ecuaciones 1 y 2:

$$\% \text{ de inhibición DPPH} = 1 - \frac{\text{Absorbancia muestra}}{\text{Absorbancia blanco}} * 100 \quad (1)$$

$$\% \text{ de DPPH Consumido} = \frac{\text{Abs Blanco} - \text{Abs muestra}}{\text{Abs blanco}} * 100 \quad (2)$$

El pH (potencial de hidrógeno). Se midió directamente a las muestras líquidas, con el potenciómetro EZODO modelo ZG1, analizando por triplicado cada una de las soluciones filmógenas (ver Tabla 2).

Resistencia mecánica: esta característica se midió manualmente, exponiendo la película comestible (discos con un diámetro de 80 mm), a una fuerza externa de alargamiento, aplicada en dos puntos extremos de la misma, y su comportamiento se evaluó empleando la siguiente tabla de referencia.

TABLA 3. ESCALA DE MEDICIÓN CUALITATIVA DE LA RESISTENCIA MECÁNICA – TRACCIÓN

| Resistencia | Características |
|-------------|--|
| Baja (1) | Mínima resistencia, y quebradiza ante la acción mecánica. |
| Media (2) | Poca resistencia, no se rasga fácilmente. |
| Alta (3) | Muy resistente a la tracción mecánica. Se requirió mayor fuerza, para desgarrar en algún punto la superficie de la película. |

1.3 Optimización de la solución filmogénica

Se llevó a cabo la optimización del modelo polinomial obtenido en el diseño experimental 2², para determinar las condiciones de relación pectina-almidón (P/A) y porcentaje de pectina (%P), que maximizan la capacidad antioxidante y resistencia mecánica de los RC y presentan las mejores características de color. El ajuste del modelo empírico se verificó a la luz de los resultados experimentales, realizando tres replicas experimentales y comparando estos resultados con los predichos por el modelo polinomial ajustado.

de la lámina sólida, a partir de la solución filmogénica, permitieron evaluar preliminarmente características sensoriales similares, como olor y color. En la Figura 1, se pueden observar las PC, obtenidas por los métodos de secado en placa: refrigeración a 4 °C, secado al horno a 35 °C y secado natural a temperatura ambiente. Sin embargo, la película que mostró mejor textura y resistencia a la tracción mecánica, se obtuvo por medio del secado a 35 °C por un tiempo promedio de 2 horas; siendo este último el más eficiente para la formación de la película biodegradable.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 Elaboración del recubrimiento comestible a partir de aceite esencial de canela y pectina de cacao

Las diferentes técnicas empleadas para la obtención

Las muestras formaron una capa delgada, con buena resistencia, color translúcido, y un sabor ligeramente ácido (pH 3.62); características obtenidas por ambos sistemas de secado, al ambiente a una temperatura promedio de 25 °C, y secado en horno a una temperatura de 35 °C (Tabla 4).

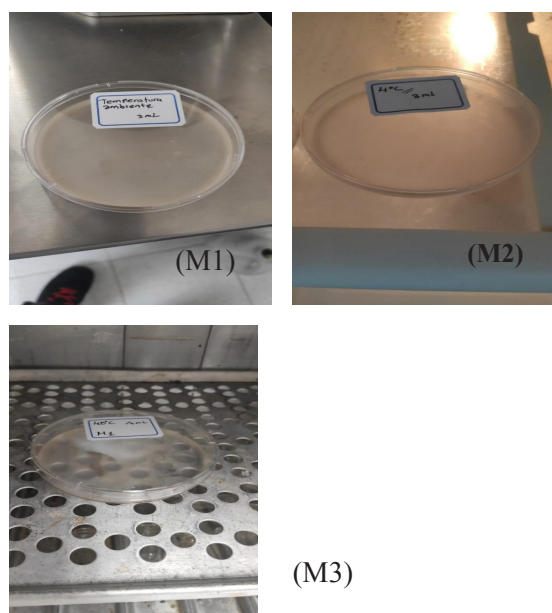


Figura 1. Servido de recubrimiento comestible por diferentes técnicas: M1; M2; M3.

Nota: M1 (caja de Petri + solución de recubrimiento comestible: secado al medio ambiente); M2 (caja de Petri + solución de recubrimiento

comestible: secado en refrigeración a 4 °C); M3 (caja de Petri + solución de recubrimiento comestible: secado en horno a 35 °C).

Tabla 4. EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS RC BIODEGRADABLES

| Característica | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 | Muestra 4 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| pH | 3,6 | 3,62 | 3,67 | 3,64 |
| Resistencia | 2 | 1 | 3 | 1 |
| Color (L) | 34 | 35,54 | 36,09 | 46,02 |

2.2 Evaluación fisicoquímica de la solución filmogénica

La solución filmógena preparada a partir de aceite esencial de canela al 2 %, conservada en condiciones de refrigeración alrededor de 6 °C, se sometió a diferentes pruebas, como: capacidad antioxidante, pH, espesor, y color; se obtuvieron los siguientes resultados.

Evaluación antioxidante de la solución filmogénica. Las muestras de solución filmógena fueron consideradas activas para la prueba de capacidad

antioxidante, ya que todas las muestras presentaron un porcentaje de DPPH consumido superior al 65 %. De las muestras ensayadas, los valores de % de inhibición del DPPH o DPPH consumido calculados, varían entre máximos y mínimos de (85,66 y 66,21) % para los ensayos con DPPH (Tabla 5). Los resultados de capacidad antioxidante fueron significativos, a pesar de haber diluido las muestras, los porcentajes de DPPH consumido fueron altos (mayores a 50 %), indicando una capacidad antioxidante alta en la muestra.

TABLA 5. PORCENTAJE DE INHIBICIÓN DPPH EN MUESTRAS DE RECUBRIMIENTO BIODEGRADABLE CON ACEITE DE CANELA AL 0,02 %, Y LECTURA DE ABSORBANCIA A UNA LONGITUD DE ONDA EN ESPECTRO DE 515 NM

| Muestra (sln filmógena) | % de DPPH consumido | Equivalente trolox $\mu\text{M}/\mu\text{L}$ de muestra | Equivalente trolox $\mu\text{M}/\text{g}$ de aceite de canela |
|-------------------------|---------------------|---|---|
| 1 | 67,599 | 0,7811 | 128,8806 |
| 2 | 73,636 | 0,8514 | 140,4851 |
| 3 | 68,323 | 0,7895 | 130,2736 |
| 4 | 85,666 | 0,9916 | 163,6070 |
| Optimizada | 63,083 | 0,5945 | 2,9726 |

Evaluación del color. De acuerdo a la coordenada CIELab L^* (luminosidad acromática), los resultados arrojados por la técnica, ubicaron a las muestras en un rango entre (30 – 36), de lo cual se puede deducir que las mismas presentan poca luminosidad, translucidez o claridad; lo anterior debido a que cuando el valor de L^* se encuentra entre (0-50) indica una tendencia a la opacidad, mientras que un valor entre (51-100) indica que la muestra tiende a tomar un color translucido, esto analizando la variable correspondiente a la luminosidad L^* (Mendoza & Borges, 2015).

Así mismo, analizando las coordenadas CIELab a^* y b^* , se puede deducir que las muestras proyectan estímulos acromáticos, puesto que los valores para dichos parámetros se mueven hacia el centro de la esfera CIELab (L^* , a^* y b^*) con un valor mínimo para el parámetro a^* (-0,33) y un valor máximo de (0,09); con respecto al parámetro b^* , su valor mínimo fue de (-1,63), y el valor máximo alcanzado fue de (2,53); es decir que las muestras carecen de tono y saturación. Lo anterior, debido a que no hay presencia de pigmentos de la gama (rojo, verde, amarillo, azul) en las formulaciones empleadas para elaborar las soluciones filmogénicas.

TABLA 6. COORDENADAS CIELAB - PRUEBA DE COLOR PARA MUESTRAS FILMOGÉNICAS

| Muestra de PC | Coordenadas de color - CIELab | | | | |
|---------------|-------------------------------|-------|-------|------|---------|
| | L^* | a^* | b^* | c | h |
| 1 | 34,00 | -0,17 | -1,01 | 1,01 | 260,51° |
| 2 | 35,54 | -0,24 | -1,63 | 1,65 | -81,63° |
| 3 | 36,09 | -0,29 | -1,29 | 1,32 | 257,29° |
| 4 | 46,02 | 0,09 | 2,53 | 2,53 | 88,05° |
| Optimizada | 41,25 | -0,33 | -1,3 | 1,34 | 255,81° |

Resistencia de la película comestible. Las películas obtenidas por el método de vertido en placa (casting), presentaron valores de resistencia a la tensión, que oscilaron entre 2 y 3 puntos de acuerdo a la tabla de referencia 6, este valor se debió gracias a la incorporación y relación de

pectina-almidón, aportándole significativamente firmeza y resistencia a la película preformada, gracias a sus propiedades estabilizantes y gelificantes; por otro lado, la incorporación de glicerol, ayudó a mejorar en gran medida la flexibilidad y elasticidad de la película biodegradable.

2.3 Efecto de P/A y %P sobre las características del RC

En concordancia con el modelo, las superficies de respuesta muestran que las variaciones en los factores

en el rango trabajado, no representan cambios significativos sobre el color de los RC. Por otro lado, el factor P/A fue el que mostró mayor influencia sobre la actividad antioxidante y resistencia de los RC.

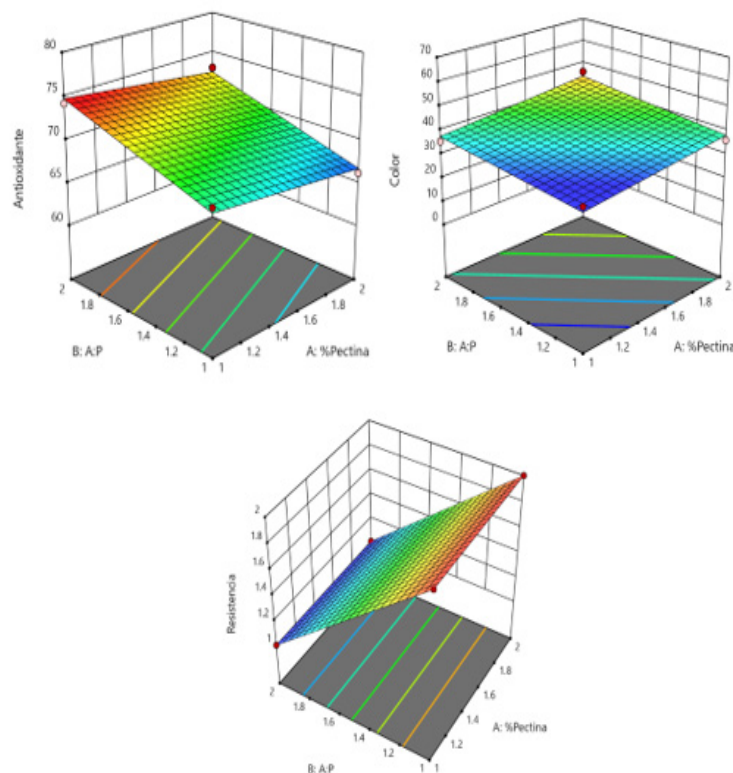


Figura 2. Gráficos de contornos del efecto de los factores % pectina y relación (P/A) sobre las características del recubrimiento comestible

Tras la optimización de las ecuaciones polinómicas obtenidas, se definió la formulación optimizada de la solución filmogénica que más se ajustó a los parámetros deseados en la película comestible (ver Tabla 7):

maximización de la capacidad antioxidante, la resistencia mecánica y el color; y, por otro lado, buscando minimizar el porcentaje de almidón de maíz empleado en la composición de la matriz.

TABLA 7. FORMULACIÓN OPTIMIZADA POR DISEÑO PARA ELABORAR EL RECUBRIMIENTO BIODEGRADABLE

| Componentes | | | | | |
|-------------------------------------|---|----------------------------------|---|----------------|-------|
| Material hidrocoloide: almidón maíz | Material hidrocoloide: pectina de cacao | Material plastificante: glicerol | Nanoemulsión: aceite esencial de canela | Agua destilada | Total |
| 1,22 g | 1 g | 2 g | 1 g | 94,78 g | 100 g |

La solución filmógena optimizada, preparada a partir de aceite de canela al 2 %, conservada en condiciones de refrigeración alrededor de 6 °C, se

sometió a diferentes pruebas, como: capacidad antioxidante, resistencia y color; se obtuvieron los siguientes resultados.

TABLA 8. VALORES PREDICHOS Y EXPERIMENTALES EN LA OPTIMIZACIÓN DE % P Y A/P PARA FORMULACIÓN DE LA SOLUCIÓN FILMOGÉNICA PARA ELABORACIÓN DE LOS RC

| Variable respuesta (MO) | Valor experimental | Valor predicho | Error relativo % |
|--|--------------------|----------------|------------------|
| Capacidad antioxidante: % DPPH consumido | 63,083±0,016 | 70,62 | 10,67 |
| Color: L* | 41,25±0,06 | 34,3391 | 16,74 |
| Resistencia - PC | 2,5±0,71 | 1,77 | 29,2 |

3. CONCLUSIONES

Para la formulación de la solución filmógena, se usaron carbohidratos y componentes biopoliméricos, que le confirieron propiedad plastificante al recubrimiento, reflejada en su respuesta mecánica a la tracción; se añadieron sustancias lipídicas que por un lado le proporcionaron una característica hidrofóbica, impidiendo el paso o salida del agua, y, por otro lado, le aportaron un carácter antioxidante.

A la luz de los resultados arrojados por el diseño de optimización, se logró con una relación A/P (1.22:1), e incorporación de 1 % de pectina de cacao, maximizar la plasticidad y resistencia del recubrimiento biodegradable, así como la capacidad antioxidante del mismo.

La solución filmogénica optimizada, presentó una actividad antioxidante expresada en términos de porcentaje de inhibición DPPH, y equivalente trolox ($\mu\text{M}/\mu\text{L}$ solución), de 63.083, y 0.5945, respectivamente. valor que manifiesta la alta actividad antioxidante de la solución, pues a pesar que las muestras fueron diluidas para el ensayo, este estuvo por encima del 50 % de significancia.

Con respecto a la coordenada L (luminosidad acromática), la muestra optimizada, arrojó un valor que lo ubica en un rango entre (40 – 50), de lo cual se puede

deducir que las muestras presentan poca translucidez o claridad (Schanda, 2007). La resistencia de la muestra optimizada fue de (2,5 ± 0,71), ubicándolo como un RC con buena resistencia a la tracción, que no se desgarró fácilmente ante una fuerza externa.

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento de los autores, a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), y a Expotech 2023, por la invitación a participar en estos espacios de intercambio de conocimiento y experiencias, en favor del desarrollo profesional y personal.

REFERENCIAS

- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.-E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30.
- Mendoza, Z. M. S. H. & Borges, P. H. M. (2015). Análisis colorimétrico del extracto acuoso de hojas de teca. *Revista Árvore*, 39(5), 953-961. <https://www.redalyc.org/pdf/488/48842815018.pdf>
- Zambrano, J., Valera, A., Maffei, M., Materano, W., Quintero, I., & Graterol, K. (2017). Efecto de un recubrimiento comestible formulado con mucílago del cactus (*Opuntia elatior Mill.*) sobre la calidad de frutos de piña mínimamente procesados. *Bioagro*, 29(2), 129-136.