

## Diseño de pretratamientos antioxidantes para el secado de cascara de plátano con infrarrojo y aire caliente

Y. Gutiérrez-Aguirre<sup>\*1</sup>, C. Ozuna-López<sup>2</sup>, Ma. Del R. Abraham-Juárez<sup>2</sup>, M.G.L. Acosta-Castillo<sup>1</sup>, M.A. Rocha-Mendoza<sup>1</sup> y E. Mares-Mares<sup>1</sup>

**1** Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico Superior de Guanajuato. Carr. Guanajuato-Puentecillas km 10.5 Puentecillas. CP. 36262. Guanajuato, Gto., México. **2** Departamento de Alimentos, Posgrado en Biociencias. División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. Carr. Irapuato-Silao km 9. Ex-Hacienda El Copal. CP. 36000. Irapuato, Gto., México.

[\\*emares@itesg.edu.mx](mailto:emares@itesg.edu.mx)

### RESUMEN

El aprovechamiento de subproductos agroindustriales como la cascara de plátano se ve limitada por la oxidación de sus componentes aún cuando se emplean tecnologías emergentes para el desarrollo de productos. El objetivo fue diseñar un pretratamiento antioxidante empleando la metodología de superficie de respuesta y secar la cascara con aire caliente e infrarrojo. Se empleó un diseño Box-behnken con MiniTab19 para establecer las concentraciones de ácido cítrico, ascórbico y bisulfito de sodio de acuerdo con los límites establecidos por COFEPRIS. Se evaluó el vector de color con la escala CIELAB. Posteriormente, se analizaron los resultados para optimizar la variable de respuesta y obtener una harina con el máximo de luminosidad. Las concentraciones optimizadas de los aditivos se aplicaron como pretratamiento al secado. De acuerdo con los resultados, el modelo de mejor ajuste es del tipo cuadrático con una  $R^2$  de 93.8%. Las concentraciones óptimas de los aditivos fueron de ácido cítrico al 0.165%, de bisulfito de Sodio al 0.19% y ácido ascórbico al 0.25%. Así mismo, se obtuvo una harina más luminosa empleando el secado por infrarrojo. En conclusión, se diseñó un pretratamiento con la menor cantidad de aditivos para obtener harina de cascara de plátano estable a la oxidación.

**Palabras clave:** Cáscara, plátano, antioxidantes, secado, infrarrojo.

### ABSTRACT

The use of agro-industrial by-products such as banana peel is limited by the oxidation of its components, even when emerging technologies are used for product development. The objective was to design an antioxidant pretreatment using the response surface methodology and to dry the shell with hot and infrared air. A Box-behnken design with MiniTab19 was used to establish the concentrations of citric acid, ascorbic acid, and sodium bisulfite according to the limits established by COFEPRIS. The color vector was evaluated with the CIELAB scale. Subsequently, the results were analyzed to optimize the response variable and obtain some flour with maximum luminosity. The optimized concentrations of the additives were applied as pretreatment to drying. According to the results, the best fit model is of the quadratic type with an  $R^2$  of 93.8%. The optimum concentrations of the additives were 0.165% citric acid, 0.19% sodium bisulfite and 0.25% ascorbic acid. Likewise, a brighter flour was obtained using infrared drying. In conclusion, a pretreatment with the least number of additives was designed to obtain oxidation-stable plantain peel flour.

**Keywords:** Peel, banana, antioxidants, drying, infrared.

### INTRODUCCIÓN

El plátano y el banano son frutos originarios del Sureste Asiático y son una fuente de alimento para habitantes de las zonas tropicales húmedas. Se considera que ocupan el cuarto lugar como cultivos de importancia agronómica a nivel mundial. En frutas tropicales ocupan el primer lugar en consumo fresco. Sin embargo, su producción y transformación está enfocada a la pulpa, lo que genera una cantidad importante de residuos de la cascara o también llamados subproductos del plátano (Rivera et al., 2018). La cáscara de plátano es rica en proteínas, fibra dietética, ácidos grasos, aminoácidos y potasio, además se considera que puede ser una gran fuente de sustancias antioxidantes como la galocatequina y las antimicrobianas, así como compuestos fotoquímicos contra la actividad de radicales libres (Carvajal y Murgueitio, 2017), su uso se podría extender como harinas si se somete a tratamientos antioxidantes y con el correcto empleo de métodos de secado (Rivera et al., 2018).

La utilización de residuos agroindustriales, como materia prima de bajo costo para obtener nuevos productos, representa una opción para transformar los desechos en nuevas materias primas que se perfilan como una alternativa atractiva para conseguir compuestos con propiedades benéficas. Sin embargo, los residuos generados por las transformaciones agroindustriales y por las pérdidas postcosecha en nuestro país aún no han sido aprovechados eficientemente, en parte, porque su valor es desconocido y sobre todo por la falta de métodos apropiados para la preparación y caracterización de sustancias de mayor valor agregado, las cuales contengan la suficiente calidad e inocuidad como para ser usadas en esos procesos (Angulo et al., 2011). Por este motivo, los procesos oxidativos son causantes de alteraciones de múltiples productos dentro de la industria alimenticia debido al detrimento de sus propiedades organolépticas. Como respuesta, este sector productivo debe recurrir al uso de algunos agentes antioxidantes de origen natural o sintético el ácido cítrico, el ácido ascórbico, los sulfitos, el BHT y el BHA (Vargas y Vargas et al., 2019).

El papel que tienen los vegetales y productos alimenticios en la prevención de enfermedades ha sido atribuido a las propiedades antioxidantes de sus compuestos poli fenólicos. Con este conocimiento, se trata de demostrar el valioso potencial de algunos materiales subutilizados o de escaso interés comercial como fuente de compuestos antioxidantes y antimicrobianos (Oliveira *et al.*, 2009). Estos residuos representan una alternativa para la formulación de alimentos funcionales libres de productos químicos sintéticos al aprovechar su capacidad antioxidante con lo que se lograría disminuir el porcentaje de desechos provenientes de la industria al ser empleados como materias primas de fortificación. (Vargas y Vargas et al., 2019). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue diseñar pretratamientos antioxidantes utilizando la metodología de superficie de respuesta para el secado de cascara de plátano empleando tecnología emergente infrarroja y convencional de aire caliente.

### MATERIALES Y MÉTODOS

**1. Obtención de fibra de cáscara de plátano:** La harina de cáscara de plátano se obtuvo mediante el flujo de operaciones para la obtención de harina de plátano modificado, descrito por Mazzeo et al., (2010), con algunas modificaciones. Se utilizaron plátanos con coloración 80% amarilla y 20% verde, posteriormente fueron lavados con solución de hipoclorito de sodio a 50 ppm por 10 minutos.

- a) Diseño de un modelo de superficie de respuesta: Se empleó el software MiniTab 19 para establecer el diseño de superficie de respuesta “Box-Behnken”, donde se establecieron los intervalos de las concentraciones para ácido cítrico (hasta 0.25%), ácido ascórbico (hasta 0.25%) y Bisulfito de sodio (0.20%). En la Tabla 1, se muestra la corrida de un bloque de reproducibilidad aleatoria obtenida para las formulaciones obtenidas con MiniTab 19. Para el uso de los aditivos antioxidantes empleados en la presente investigación, se consideraron los lineamientos de la legislación nacional vigente de acuerdo con el Anexo 1 (Aditivos con diversas clases funcionales y con una IDA establecida) del Diario Oficial de la Federación para el uso de aditivos (<https://www.gob.mx/cofepris/documentos/anexo-i?state=draft>).

**Tabla I.** Corridas aleatorias de pretratamientos antioxidantes a la cascara de plátano

Pretratamiento	Bisulfito de Sodio	Ácido Cítrico %	Ácido Ascórbico
1	0.20	0.175	0.25
2	0.2	0.1	0.175
3	0.2	0.175	0.1
4	0.2	0.25	0.175
5	0.125	0.175	0.175
6	0.05	0.175	0.1
7	0.125	0.25	0.25
8	0.05	0.1	0.175
9	0.05	0.25	0.175
10	0.125	0.1	0.25
11	0.05	0.175	0.25
12	0.125	0.1	0.1
13	0.125	0.25	0.1

- b) Inmersión: Las cáscaras fueron cortadas en tiras y sumergidas en cada pretratamiento antioxidante de la Tabla 1 por 60 minutos.
- c) Secado: El secado de cascara se llevó a cabo en un equipo convencional de aire caliente a  $65^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 3 horas aproximadamente hasta lograr un producto con un contenido de humedad del  $8.5 \pm 0.3\%$ .
- d) Molienda: Se utilizó una licuadora marca Oster, por la cual se pasaron los trozos de cáscara seca hasta ser pulverizados y filtrados por un tamiz de malla No. 100 para obtener partículas finas

**2. Evaluación de los parámetros de color.** Obtenidas las corridas del diseño experimental Box-Behnken se estudiaron los parámetros de color para las harinas resultantes de los 13 pretratamientos antioxidantes. Se evaluó el color de cada harina a diferentes de manera objetiva empleando un espectro fotocolorímetro 3hn modelo NR60CP, empleando el espacio de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  también conocido como CIELAB. El parámetro de color  $L^*$  corresponde a la luminosidad ( $+L^*$  es blanco y  $-L^*$  es negro) y  $a^*$  indica la dirección del color rojo ( $+a^*$ ) a la dirección del verde, ( $-a$ ). Con los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  se obtuvo el vector de color de acuerdo con la formula:

$$V = \sqrt{L^2 + a^2 + b^2}$$

**3. Optimización de la formulación a partir del modelo predictivo.** Los resultados de la análisis de color se analizaron en el diseño de corridas Box-behnken. Para cada atributo se probó y estudió el modelo matemático de mejor ajuste (con una R-cuadrada mayor a 0.975) y se optimizó la muestra a un máximo de luminosidad de 100 (Harina blanca). Los modelos matemáticos probados fueron lineales, cuadráticos, cúbicos y cúbicos completos (Schffe 1998).

**4. Secado de cáscara de plátano con pretratamientos antioxidantes.** Se emplearon 2 métodos de secado, por aire caliente en un horno convencional y por radiación infrarroja, donde se secaron lotes de 10g de cáscara de plátano con las concentraciones de los aditivos antioxidantes optimizadas para la obtención de una harina blanca (luminosidad de 100). Los experimentos se realizaron por triplicado y se siguieron las condiciones de temperatura establecidas por Mazzeo et al., (2010)

- a) **Método en horno con aire caliente.** El secado de cascara se llevó a cabo en un equipo de aire caliente a una temperatura de  $55^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , hasta lograr un producto con un contenido de humedad del  $8.5 \pm 0.3\%$ .
- b) **Método de radiación infrarroja.** El secado de cascara se llevó a cabo en un equipo de radiación infrarroja a  $65^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta lograr un producto con un contenido de humedad del  $8.5 \pm 0.3\%$ . Las condiciones de secado por infrarrojo se realizaron con una fuente de emisión infrarroja incandescente de 250 watts, una velocidad de extracción de aire de 2m/s y una distancia entre el emisor y la muestra de 24 cm.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### a) Pretratamientos antioxidantes

Los resultados por triplicado para la medición de color para los 13 pretratamientos antioxidantes se muestran en la Tabla 2 con la obtención del vector de color. Para el parámetro de vector de color se realizó el análisis del diseño Box-Behnken con los diferentes modelos matemáticos (Lineal, cuadrático, cubico y cubico completo) hasta obtener un modelo significativo ( $p < 0.05$ ) y un coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$ ) de cercano o mayor a 0.95

**Tabla II.** Parámetros de color de la harina de cascara de plátano en diferentes pretratamiento antioxidantes

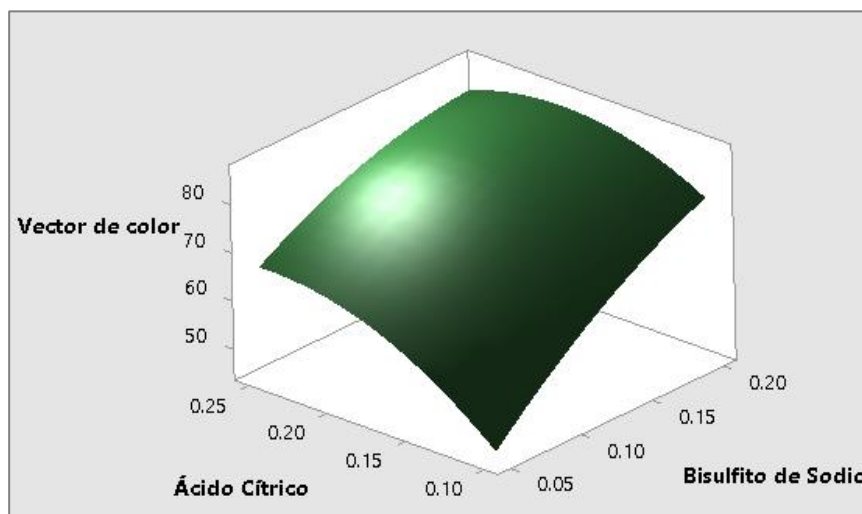
Pretratamiento	Toma	L	a	b	Vector color	Promedio
1	1	63.33	20.98	53.06	85.2421	84.3029026
	2	62.82	20.11	50.72	83.2063	
	3	62.66	19.39	53.21	84.4604	
2	1	61.53	15.32	47.70	79.3469	79.2908194
	2	58.06	16.39	49.86	78.2663	
	3	65.86	12.19	44.22	80.2592	
3	1	59.38	19.60	54.71	83.0863	82.2296318
	2	60.06	20.28	51.75	81.8324	
	3	61.69	18.59	50.35	81.7702	
4	1	62.73	19.86	49.65	82.4293	81.7407032
	2	59.66	18.58	51.41	80.9167	
	3	62.70	19.92	48.74	81.8760	
5	1	53.09	24.91	48.48	76.0879	77.0816486
	2	57.96	20.99	44.86	76.2388	
	3	58.11	24.06	47.67	78.9182	
6	1	49.00	18.85	40.45	66.2761	65.3354681
	2	48.86	18.85	40.42	66.1544	
	3	46.41	17.84	39.62	63.5759	
7	1	60.53	22.18	50.08	81.6323	78.5799395
	2	58.61	22.86	48.53	79.4536	
	3	52.71	23.31	47.45	74.6539	
8	1	37.97	15.19	27.87	49.4893	46.6534406
	2	30.57	11.48	23.99	40.5196	
	3	37.99	14.26	29.13	49.9514	
9	1	46.88	17.44	39.92	63.9960	64.9525845
	2	46.90	17.43	36.17	61.7388	
	3	46.10	34.80	37.97	69.1229	
10	1	50.33	22.37	45.75	71.6002	71.0387536
	2	52.85	18.43	45.66	72.2331	
	3	51.60	20.42	41.48	69.2829	
11	1	40.48	16.72	30.77	53.5255	56.1935712
	2	41.26	17.23	34.98	56.7702	
	3	43.36	16.61	35.23	58.2849	
12	1	36.98	12.20	31.00	49.7731	52.4500378
	2	42.66	13.77	36.62	57.8836	
	3	35.47	13.16	32.22	49.6934	
13	1	53.79	20.87	46.27	73.9583	75.8063413
	2	58.67	20.59	48.04	78.5745	
	3	54.15	21.56	47.02	74.8862	

De acuerdo con los resultados, el modelo matemático para el parámetro analítico de color de mejor ajuste fue del tipo cuadrático ya que presentó el mayor coeficiente de regresión (93.8%) y un valor p significativo ( $p = 0.15$ ). El modelo cuadrático esta representado con la siguiente ecuación:

$$\text{Vector de color} = -38.2 + 335 \text{ Bisulfito de Sodio} + 654 \text{ Ácido Cítrico} + 202 \text{ Ácido Ascórbico} - 567 \text{ Bisulfito de Sodio} * \text{Bisulfito de Sodio} - 1020 \text{ Ácido Cítrico} * \text{Ácido Cítrico}$$

- 335 Ácido Ascórbico\*Ácido Ascórbico - 704 Bisulfito de Sodio\*Ácido Cítrico  
+ 499 Bisulfito de Sodio\*Ácido Ascórbico - 703 Ácido Cítrico\*Ácido Ascórbico

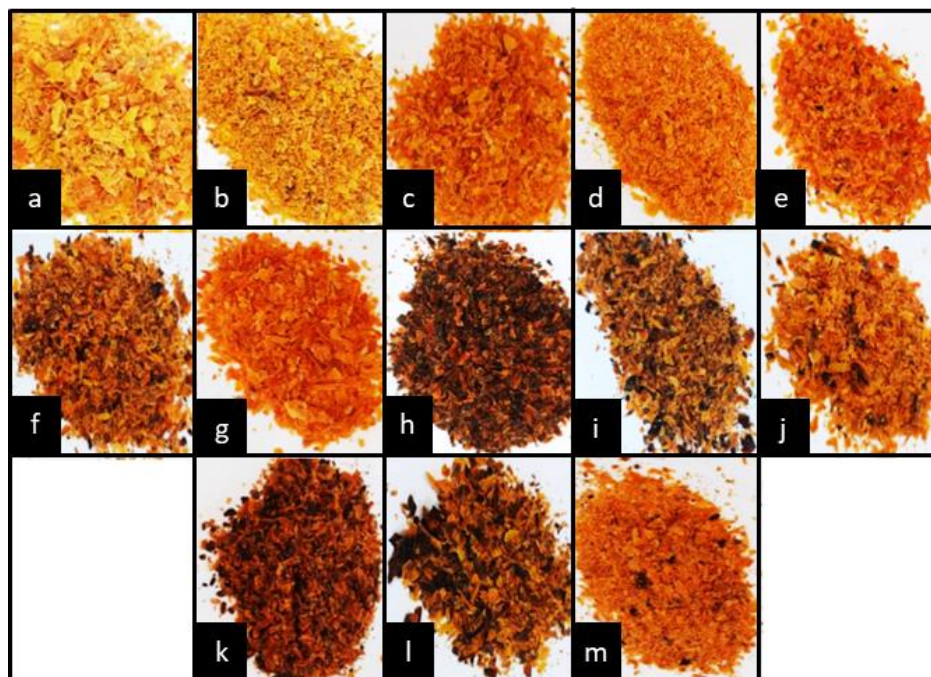
Así mismo, las variables de concentración de ácido cítrico, ácido ascórbico y bisulfito de sodio obtuvieron un valor p de 0.013, 0.342 y 0.001 respectivamente de ajuste al modelo cuadrático. Para el caso del ácido ascórbico no resultó significativo el ajuste. En la Figura 1, se muestra el gráfico de superficie de respuesta del modelo cuadrático con tendencia parabólica.



**Figura 1.** Representación del modelo cuadrático del parámetro del vector de color

Una vez obtenido el modelo cuadrático se emplearon los conocimientos de cálculo diferencial para maximizar el valor del vector de color con la máxima luminosidad (Harina blanca). Para ello, se determina que el valor máximo de luminosidad se encuentra en el punto en el cual simultáneamente la derivada parcial del vector de color respecto a la concentración de ácido cítrico, la derivada parcial del vector de color respecto a la concentración de ácido ascórbico y la derivada parcial del vector de color respecto a la concentración de bisulfito son iguales a cero (Mercado et al., 2011).

Obtenidas las ecuaciones de las derivadas parciales se resuelven las incógnitas por el método algebraico y se determinan las concentraciones de los aditivos antioxidantes que dan respuesta a una mayor luminosidad de la harina a través del vector de color, siendo las concentraciones de ácido cítrico al 0.165%, de bisulfito de Sodio al 0.19% y ácido ascórbico al 0.25%. La apariencia de la harina se representa en la Figura 2a.

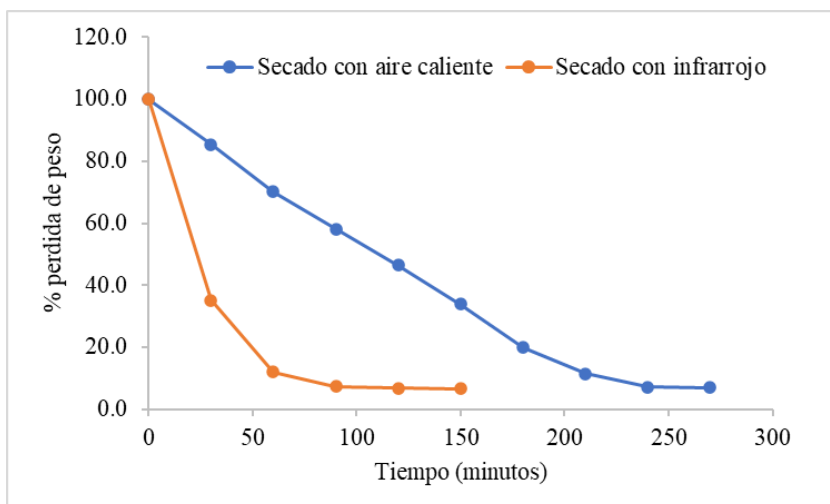


**Figura 2.** Apariencia de la harina de cascara de trigo. Donde a) es la harina con las concentraciones del modelo optimizado y de “b” a “m” corresponden a los 13 pretratamientos del diseño Box-behnken.

#### **b) Secado de cascara de plátano con pretratamiento antioxidante**

De acuerdo con los resultados obtenidos de secado (Figura 3) se puede establecer que el tiempo de secado en el equipo de convección con aire caliente a una temperatura de 55°C es de 270 minutos, ya que después de este tiempo el peso de la muestra permanece constante, el peso final de la muestra, considerando un promedio de las tres muestras tomadas es de 7.3778 g y el porcentaje promedio de humedad es de 7.32%.

Para el método de radiación infrarroja, se observó que en los primeros 30 minutos se redujo un 64.88% de humedad de la cáscara, alcanzando su peso absoluto a los 120 minutos, ya que el cambio de peso después de ese tiempo es mínimo, comparado con el equipo de secado convencional, el equipo de secado con luz infrarroja es 120 minutos más rápido. El promedio final de la humedad en la cáscara considerando los dos estudios se estableció en 6.75%. Por otra parte, se observaron diferentes coloraciones en las harinas obtenidas de acuerdo con el método de secado, siendo mas luminosa la obtenida por infrarroja. (Figura 4).



**Figura 3.** Cinéticas de pérdida de peso de cáscara de plátano con pretratamientos antioxidantes y secado con aire caliente e infrarrojo



**Figura 2.** Apariencia de la harina de cáscara de trigo con diferente método de secado. Donde a) es con aire caliente y b) con infrarrojo

## CONCLUSIÓN

Se diseñó un pretratamientos antioxidante utilizando la metodología de superficie de respuesta para el secado de cáscara de plátano empleando tecnología emergente infrarroja y convencional de aire caliente y en estricto apego a la normatividad nacional vigente en el uso de aditivos antioxidantes. La presente investigación contribuye a poder aprovechar y valorar los subproductos del plátano para la obtención de una materia prima rica en fibra y antioxidantes. Así mismo, se constata que el uso de los tratamientos antioxidantes y el empleo de tecnologías emergentes como la radiación infrarroja permiten obtener productos más atractivos al consumidor.



## BIBLIOGRAFÍA

- Angulo, P., Díaz, D., Espinoza, J., Fernández, V., Figueroa, M., y Galarza, A. (2001). Implicaciones farmacológicas y toxicológicas del óxido nítrico en la inflamación intestinal II: enteritis inducida por AINES como modelo experimental para el científico de la flora medicinal peruana. *Revista de Ciencias Veterinarias*, 17(3), 21-26
- Carvajal, M., & Murgueitio, F. (2017). Caracterización de las proteínas de la cascara de plátano tipo Williams (Giant Cavendish) (Tesis pregrado). Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Oliveira, A., Barros, C., Silva, E., Henriques M., Paes de Barros, M., Marinho, M., & Fonseca, O. (2009). Total Phenolic content and free radical scavenging activities of methanolic extract powders of tropical fruits residues. *Food Chemistry*, 115, 469-475.
- Rivera et al., (2018). “Componentes prebióticos del plátano: fibra dietética y almidón resistente” En *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 5 (3), pp. 40-50.
- Scheffé, H. (1958). Experiment with mixtures. *Journal Royal Statistical Society*. 20:344
- Vargas y Vargas, M., Figueroa Brito, H., Tamayo Cortez, J., Toledo López, V., & Moo Huchin, V. (2019). Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricional y compuestos bioactivos. *CIENCIA Ergo-Sum*, 26(2). doi:10.30878/ces.v26n2a6