

Evaluación del secado de cáscaras de huevo a escala de laboratorio para su aprovechamiento industrial

Evaluation of eggshell drying on a laboratory scale for industrial use

Yosviel Reyes-Delgado^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-9344-2304>

Isabel Cabrera-Estrada¹ <https://orcid.org/0000-0002-5307-1502>

Gabriel Alejandro Iglesias-Barreto² <https://orcid.org/0000-0003-0086-2236>

¹Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Villa Clara, Cuba

²Grupo de Ingeniería y Puesta en Marcha. Complejo Industrial LABIOFAM, Villa Clara, Cuba

*Autor para correspondencia: Correo electrónico: yreyes@uclv.cu

RESUMEN

En la Industria cubana La Purísima se producen salsas y aderezos para la gastronomía nacional; pero no dispone de un proceso para la deposición de las cáscaras de huevo de gallina, como resultado, se vierten diariamente 220 kg de cáscaras que generan un impacto negativo en el medio ambiente. La investigación evalúa el secado de las cáscaras de huevo de gallina con membrana proteica a escala de laboratorio, con vistas a revalorizar este residuo en la producción de un suplemento alimenticio para aves de corral rico en calcio. Se determinó el contenido de carbonato de calcio en la cáscara para confirmar la aplicación potencial del residuo. La curva de secado y del régimen de secado se obtuvo por medición experimental en un secadero bajo aireación a 90 °C. El contenido de carbonato de calcio en el residual fue de 93,33 %. La curva de secado se ajustó a un modelo matemático exponencial en función de la constante de secado y la humedad en equilibrio a una temperatura de 90 °C.

El régimen de secado del sólido presentó un período de velocidad de secado decreciente hasta un valor de humedad de 0,021 kg de agua / kg de sólido seco, para valores inferiores presentó una desviación de la función exponencial en su velocidad. El aprovechamiento de las cáscaras de huevo residuales resultó ser una fuente atractiva de carbonato de calcio con potencialidades para su utilización en la elaboración de suplemento alimenticio para aves de corral.

Palabras clave: secado de sólidos; gestión de residuos; carbonato de calcio.

ABSTRACT

The Cuban industry La Purísima produces sauces and dressings for the national gastronomy; but it does not have a process for the deposition of chicken eggshells, as a result, 220 kg of eggshells are dumped daily, which generate a negative impact on the environment. The research evaluates the drying of hen eggshells with protein membrane on a laboratory scale, with a view to revalorizing this waste in the production of a calcium-rich poultry feed supplement. The calcium carbonate content of the shell was determined to confirm the potential application of the residue. The drying curve and drying rate curve was obtained by experimental measurement in a drying oven under aeration at 90 °C. The calcium carbonate content of the residue was 93.33 %. The drying curve was fitted to an exponential mathematical model as a function of the drying constant and the moisture in equilibrium at a temperature of 90 °C. The drying regime of the solid presented a period of decreasing drying rate up to a moisture value of 0,021 kg of water / kg of dry solid, for lower values, this presented a deviation from the exponential function in its rate. The utilization of residual eggshells proved to be an attractive source of calcium carbonate with potential for its use in the production of feed supplement for poultry.

Keywords: solids drying; waste management; calcium carbonate.

Introducción

En Cuba, la producción de mayonesas y aderezos a escala industrial se encamina a la transformación de sus procesos con el fin de minimizar su impacto negativo sobre el medio ambiente; aprovechando los residuales sólidos para la obtención de nuevos coproductos con alto valor agregado. El

establecimiento La Purísima, perteneciente a la Unidad Empresarial de Base de Conservas y Vegetales “Los Atrevidos”, de Villa Clara tiene como objeto social la producción de salsas, mayonesas, mostazas y aderezos, con destino al turismo, la gastronomía estatal y la población. Esta instalación presenta una capacidad de producción de 2,6 t/día de mayonesa, de la cual se originan 220 kg/día de cáscara de huevo de desecho sólido. Las cáscaras de huevo no disponen de un proceso de deposición, por lo cual ocasionan contaminación de los suelos y aguas subterráneas en las instalaciones de gestión de residuos.

La cáscara de huevo de gallina representa entre el 10 y el 12 % del peso del huevo. Está conformada por un 95 % de compuestos minerales y entre un 3,0 y 3,5 % por componentes orgánicos, proteoglicanos y proteínas que intervienen en la morfología de los cristales de calcita, además en la protección microbiana y regulación de las mineralizaciones de la cáscara. ⁽¹⁾ En su parte interior posee una delgada capa de queratina y fibras de colágeno, conocida como membrana conformada hasta por 62 proteínas de fibras reticulares entrelazadas que ofrecen también protección y controlan la pérdida de agua y de gases del huevo. ⁽²⁾

Debido a sus características como materia prima, permite el desarrollo de nuevos procesos y el mejoramiento de algunos ya existentes, y se obtienen productos de alto valor agregado y bajo costo. Ha pasado de ser un residual que impacta negativamente al medio ambiente, a ser un ingrediente importante en productos de la industria cosmética, farmacéutica, alimentaria y en la elaboración de pinturas de alta calidad. ⁽³⁾

La cutícula del huevo es susceptible al deterioro químico o microbiológico debido al contenido de humedad y las condiciones de tratamiento; por lo que requiere, en la mayoría de casos, utilizar una etapa de secado con el propósito de disminuir la actividad del agua y favorecer su manejo en los procesos posteriores. ⁽⁴⁾

Sobre la temperatura de secado cae el mayor peso de las características finales del producto, influyendo directamente en sus características físicas y la calidad definitiva. ⁽⁵⁾ El uso de altas temperaturas sobre las cáscaras de huevo durante el proceso de secado provoca alteración en el color del material sólido, aunque disminuye considerablemente el tiempo de secado. Por otro lado, una temperatura demasiado baja está asociada a una deficiente inactivación de los

microorganismos alojados en la cáscara, incrementa el tiempo de secado, el consumo de energía y los indicadores económicos de la operación.

Se sugiere una temperatura del secado de las cáscaras de huevo de 90°C considerando el origen y características del sólido que aún preserva la cutícula compuesta por sustancias orgánicas. ⁽⁶⁾ Otros autores proponen un tiempo de secado de 1 h a 150°C en bandejas con placas perforadas, ⁽⁷⁾ que constituye un ahorro potencial en el proceso para cáscaras de huevo limpias sin cutícula. Este método es más ventajoso ya que reduce el tiempo de secado significativamente, pero conlleva un aumento del consumo de energía en el proceso, así como la necesidad de implementar una etapa antecedente al secado que permita eliminar la cutícula adherida al cascarón. También, se propone trabajar las muestras a una temperatura de 55,3 °C por 100 min en un secador de bandeja marca AALINAT con bandejas forradas con papel aluminio, ⁽⁸⁾ lo que favorece el secado superficial de la cáscara de huevo limpia; pero trae desventajas referentes a la eliminación de la humedad retenida en el interior del cascarón.

La alta concentración de carbonato de calcio asegura la estabilidad del compuesto. La sal de calcio contenida en la cáscara de huevo tiene una estabilidad térmica cercana a los 834 °C y temperaturas superiores causan la descomposición del CaCO_3 en óxido de calcio (CaO). ⁽⁶⁾ Luego, es posible trabajar con un amplio margen temperaturas para el estudio de las condiciones de secado.

Por tanto, el objetivo de la investigación es evaluar el secado de las cáscaras de huevo de gallina con membrana proteica, con vistas revalorizar este residuo en la producción de un suplemento alimenticio rico en calcio para aves de corral.

Materiales y métodos

Determinación del porcentaje de carbonato de calcio contenido en la cáscara de huevo de gallina

El porcentaje de carbonato de calcio en la muestra de cáscaras de huevo de gallinas se determinó mediante el método de titulación por ácido en exceso. Se trabajó con muestras de cáscara de huevo sin membrana proteica, molida y separada con un tamiz de abertura de malla 0,355 mm. La titulación se realizó con una disolución de 250 mL NaOH a 0,25 N y con 250 mL de HCl 0,2 N. ⁽⁸⁾

Una masa de 0,03 g de cáscara de huevo, previamente triturada, se disolvió en 90 mL de HCl estandarizado, con agitación continua, hasta conseguir una disolución homogénea. Posteriormente, se enrazó la disolución en un matraz aforado de 100 mL.⁽⁸⁾ A una alícuota de 20 mL se le añadieron tres gotas de indicador fenolftaleína. La titulación por exceso parte con la anotación del volumen consumido de la solución de NaOH estandarizado en el viraje de color de la fenolftaleína de color rosáceo a incoloro. La masa de carbonato de calcio contenida en la muestra se determinó por (1).

$$W_{CaCO_3} = (N_{HCl} V_{HCl} - N_{NaOH} V_{NaOH}) PE_{CaCO_3} \quad (1)$$

donde:

N_{HCl} es la normalidad de HCl

V_{HCl} es el volumen en mL de HCl usados para disolver la cáscara de huevo

N_{NaOH} es la normalidad del NaOH

V_{NaOH} es el volumen gastado en la titulación inversa

PE_{CaCO_3} es el peso equivalente del $CaCO_3$

Finalmente, se determinó el porcentaje de carbonato de calcio en cáscara de huevo por (2):

$$\%CaCO_3 (cas.h) = \frac{W_{CaCO_3 (cas.h)}}{W_{cáscara\ de\ huevo}} 100 \quad (2)$$

Determinación de la curva de secado de cáscara de huevo con membrana proteica

La curva de secado de cáscara de huevo con membrana proteica se determinó mediante el siguiente procedimiento:

1. Desinfectar y lavar la muestra de cáscaras de huevo de gallina con una disolución de hipoclorito de sodio al 1 % y agua destilada.
2. Escurrir a temperatura ambiente durante 5 min.
3. Pesar 118,82 g de cáscara de huevo con membrana proteica húmeda.⁽³⁾
4. Secar en la estufa con aireación a 90 °C por dos horas.
5. Extraer muestras de cáscara de huevo, en intervalos de 20 minutos.⁽⁶⁾
6. Pesar la muestra extraída y llevar a una estufa a 150 °C hasta que mantenga un peso constante.
7. Determinar la humedad contenida en el sólido.

La humedad en base seca del sólido se determinó para representar la curva de secado de la cáscara de huevo con membrana proteica (3).

$$X = \frac{Y}{1 - Y} \quad (3)$$

donde:

X: humedad en base seca (kg de agua/kg de sólido seco)

Y: Humedad en base húmeda (kg de agua/kg de sólido húmedo)

$$Y = \frac{m_0 - m_f}{m_0} \quad (4)$$

donde:

Y: humedad base húmeda (%)

m_0 : Masa inicial de la muestra húmeda (g)

m_f : Masa final luego del secado a 150 °C (g)

Determinación de la curva de régimen de secado para cáscara de huevo con membrana proteica

La curva de régimen de secado se determinó a partir de los resultados experimentales de variación de la humedad en el tiempo (5).^(9, 10)

$$N = \frac{-L_s \Delta X}{A \Delta t} \quad (5)$$

donde:

N: Velocidad de secado (kg de agua / m² h)

Ls: masa de sólido seco (kg)

A: Área de la bandeja (m²)

ΔX : variación de humedad (kg agua/kg de sólido seco)

t: tiempo (h)

Resultados y discusión

Análisis del contenido del porcentaje de carbonato de calcio

El ensayo de determinación de carbonato de calcio se realizó con tres réplicas, se obtuvo una concentración (promedio +/- desviación estándar) de 93,33 +/- 3,34 % (tabla 1).

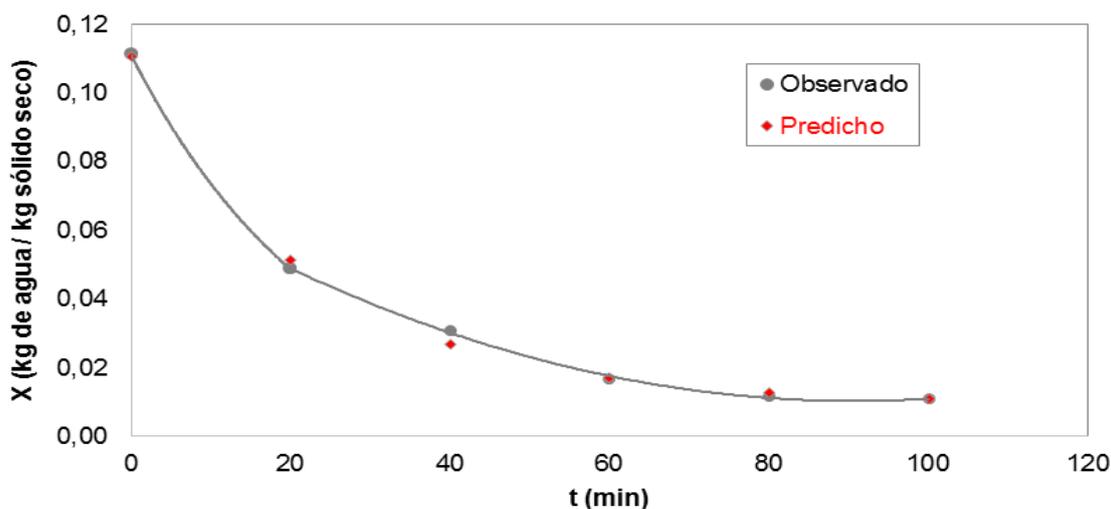
Tabla 1- Contenido de Carbonato de Calcio

Muestras	V HCl (mL)	V NaOH (mL)	Masa CaCO ₃ (g)	%
1	90	69	0,027	90,00
2	90	67	0,029	96,67
3	90	71	0,028	93,33
Promedio				93,33

La concentración de CaCO₃ en las cáscaras de huevo resultó semejante a los valores reportados por otros autores: 90,37 %, ⁽¹¹⁾ entre 93,39 y 94,8 % ⁽¹²⁾ y 93,6 % ⁽⁶⁾. Luego, este resultado sugiere el aprovechamiento del residuo en la fabricación de un suplemento alimenticio rico en calcio para aves de corral ^(2,13). Esta oportunidad de valorizar los residuos sólidos constituye una alternativa económica al manejo de los desechos simpatizando con la política de protección medioambiental de la industria.

Análisis de la curva de secado

La variación de la humedad (X) de la cáscara de huevo en el tiempo (t), se representa mediante la curva de secado de la figura 1, la cual se trazó a partir de los datos experimentales promedios de las pruebas de secado. Se puede apreciar una disminución paulatina de la humedad con el transcurso del tiempo. A partir de los 80 min de operación, se alcanzó la humedad de equilibrio (X*) igual a 0,0115 kg de agua / kg de sólido seco. Esta tendencia es característica del secado de numerosos materiales orgánicos ^(14,15) e inorgánicos. ^(16,17)

**Fig. 1-** Curva de secado de cáscara de huevo con membrana proteica a 90 °C

La variación de la humedad en el tiempo siguió el modelo (6) con elevada calidad de ajuste, ⁽¹⁷⁾ con coeficiente de determinación (R^2) de 99,62 %, y R^2 ajustado por los grados de libertad R^2 (g.l.) 99,62 %. El estadígrafo de Durbin-Watson (DW) resultó igual a 2,29.

$$X = 0,0115 + 0,0997 e^{(-0,0467 t)} \quad (6)$$

El modelo (6) incluye la humedad de equilibrio $X^* = 0,0115$ kg/kg, la diferencia entre la humedad inicial y de equilibrio ($X_0 - X_e = 0,0997$ kg/kg) y la constante de secado $k = 0,0467$ min^{-1} , a una temperatura de operación de 90 °C.

Análisis de la curva de régimen de secado

Se determinó la curva de régimen de secado (N , kg de H_2O / $\text{h}\cdot\text{m}^2$) en función del contenido de humedad (X) (figura 2).

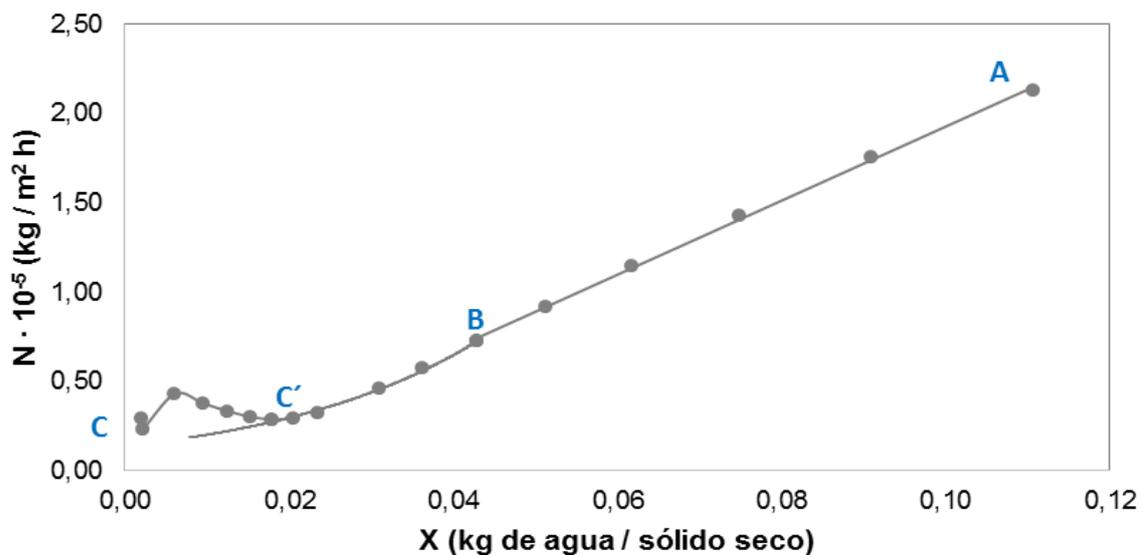


Fig. 2- Régimen de secado de cáscara de huevo con membrana proteica a 90 °C

Se aprecia en la figura 2, el período de velocidad de secado decreciente (segmento A-C'), donde se evapora la humedad ligada del material, con un incremento de la resistencia a la evaporación.

En el segmento A-B, con una humedad entre $X_A = 0,1106$ kg / kg y $X_B = 0,0429$ kg de agua / kg de sólido seco, la velocidad de secado disminuyó siguiendo un modelo lineal con un coeficiente de determinación 99,92 % ^(9,10,16).

$$N_{A-B} = 20,778 X - 0,1505 \quad (7)$$

El segmento B-C' resultó exponencial (R^2 : 98,89 %); sin embargo, se aprecia que la cáscara de huevo de gallina con membrana proteica a una humedad inferior a $X = 0,021$ kg / kg, presentó una desviación de la función exponencial en su velocidad de secado, lo cual se puede deber a la acción combinada de la reabsorción de humedad, próximo a la humedad de equilibrio $X^* = 0,0115$ kg de agua/kg de sólido seco, y a cierta descomposición de sustancias constituyentes a 150 °C (8).

$$N_{B-C'} = 0,1345 e^{39,22 X} \quad (8)$$

Conclusiones

1. La cáscara de huevo contiene un 93,33 % de carbonato de calcio, por lo tanto, constituye una fuente potencial de calcio para la elaboración de suplementos alimenticios animal.
2. La velocidad de secado de las cáscaras de huevo se ajusta al régimen superficial no saturado como etapa dominante del proceso. La humedad de equilibrio a 90 °C resultó 0,0115 kg de agua / kg de sólido seco.

Referencias bibliográficas

1. BEDOYA, A., GONZÁLEZ, M. Usos potenciales de la cáscara de huevo de gallina (*Gallus gallus domesticus*): una revisión sistemática. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*. [en línea]. 2020, **12**(2). 2-11. ISSN 2027-4297. <https://doi.org/10.24188/recia.v12.n2.2020.776>
2. HINCKE, M., NYS, Y., GAUTRON, J., RODRIGUEZ, A., KARLHEINZ, M., MCKEE, M. The eggshell: structure, composition and mineralization. *Frontiers in Bioscience-Landmark*. 2012. **17**(4). 1266–80. https://www.researchgate.net/publication/51895246_The_eggshell_structure_composition_and_mineralization
3. REYES, Y. Determinación de la factibilidad de una planta para la reutilización de cáscaras de huevos como suplemento en la alimentación animal. Tesis de Grado. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Cuba, 2022. <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/19>
4. URBANO, E. Extracción a escala de laboratorio del complejo de proteínas presentes en las membranas intersticiales de residuos de cáscara de huevo de gallina (*Gallus domesticus*) mediante el proceso de hidrólisis alcalina. Tesis de grado. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador, 2015. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10458>
5. JIMÉNEZ, A., SIERRA, M. Evaluación de las curvas de secado e isoterma de sorción para el proceso de deshidratación de polen apícola a distintas temperaturas. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2015. http://investigacion.bogota.unal.edu.co/fileadmin/recursos/direcciones/investigacion_bogota/documentos/enid/2015/memorias2015/ingenieria_tecnologias/evaluacion_de_las_curvas_de_secado_e_isoterm
6. HO, W., HSU, C., HSU, S., HUNG, C., WU, S. Calcium phosphate bioceramics synthesized from eggshell powders through a solid state reaction. *Ceramics International*. [en línea]. 2013, **39**(6). 6467-6473. ISSN 2027-4297 <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.01.076>
7. SOLÉ, María. Valorización de Residuos Agroindustriales: Estudio realizado sobre la cáscara de huevo. *Bioeconomía Argentina*. 2017. <https://docplayer.es/28599661-Valorizacion-de-residuos-agroindustriales.html>

8. BURGA, Pedro. Aprovechamiento de residuos agroindustriales de cáscara de huevo como insumo para la elaboración de pintura látex de color. Tesis de Grado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú, 2018. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/8805>
9. TREYBAL, Robert. Operaciones de Transferencia de Masa. McGraw-Hill 2ª Ed. 1980. ISBN 9-68-604634-8.
10. MCCABE, Warren; SMITH, Julian and HARRIOT, Peter. Operaciones unitarias en ingeniería química. *McGraw-Hill Interamericana 7ª Ed.* 2007. p.311-420. ISBN: 0-07-284823-5
11. AGUIRRE, G., PÉREZ, A. Propuesta de un proceso para la obtención de carbonato de calcio a partir de cáscaras de huevo. Tesis de grado. Universidad Nacional Experimental Politécnica. 2019. Venezuela. <https://doi.org10.13140/RG.2.2.18625.20327>
12. GRISALES, J. Estudio técnico de viabilidad en obtención de CaCO₃ con cáscaras de huevo y conchas. Tesis de grado. Universidad EAFIT. Colombia. <http://hdl.handle.net/10784/13232>
13. VALDÉS, J. La cáscara del huevo: ¿desecho o valor agregado para la salud humana y la producción avícola? Una experiencia cubana. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*. [en línea]. 2009, **19**(1), 1-19. ISSN: 1561-2929. <https://revalnutricion.sld.cu/index.php/rcan/article/view/848>
14. ANDIÓN-TORRES, M.R., SUÁREZ-RODRÍGUEZ, D.J.A., BERGUES-RICARDO, M.C.C. Evaluación experimental de un secador solar tipo Gabinete para el secado de hollejo de naranja. *Tecnología Química*. [en línea]. 2016. **32**(2). 186-193. e-ISSN: 2224-6185. <https://doi.org/10.1590/2224-6185.2012.2.%x>
15. IGLESIAS-DÍAZ, R., GRIMALDI-GUTIÉRREZ, R.V, VILLANUEVA-GALINDO, B.E., et al. Cinética de secado de Moringa oleífera. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, [en línea]. 2018. **9**(5). 935-947. DOI: 10.29312/remexca.v9i5.1503.
16. RICARDO-RIVERÓN, I., ROJAS-VARGAS, A. Velocidad de secado del carbonato de níquel. *Tecnología Química*. [en línea]. 2015. **34**(2). 163-169. ISSN: 2224-6185. <https://tecnologiaquimica.uo.edu.cu/index.php/tq/article/view/460>

17. TORRES-TAMAYO, E., GALANO-MILHET, R., EFRAÍN-GUZMÁN, E. Análisis de la influencia del régimen de temperatura en el secado del mineral laterítico. *Minería Y Geología*. [en línea]. 2003. **19**(1-2). 119-123. <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/239>

Conflicto de interés

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Yosviel Reyes Delgado: llevó a cabo los estudios experimentales, análisis de los resultados y la confección del manuscrito.

Isabel Cabrera Estrada: dirigió la investigación desde la conceptualización de la misma y estructuración del artículo.

Gabriel Alejandro Iglesias Barreto: contribuyó al análisis de los resultados y redacción del artículo.