

# Evaluación del lodo reciclado para producción de una empresa cerámica que afecta un agroecosistema

## Evaluation of Recycled Sludge for Production of a Ceramic Company that Affects an Agroecosystem



CU-ID: 2177/v31n2e07

Ambar Rosa Guzmán Morales\*, Pedro Antonio Valdés Hernández,  
 Orestes Cruz La Paz, Ramiro Valdés Carmentate

Universidad Agraria de la Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

**RESUMEN:** Teniendo en cuenta la importancia que tiene para la agricultura la descontrolada expulsión al medio de residuales industriales, se realiza el presente trabajo con el objetivo de valorar la posibilidad de reciclaje de los residuales sólidos (Lodo residual) de la empresa Cerámica Blanca ubicada en el municipio San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, mediante su reutilización durante el proceso productivo, para lograr producciones limpias y reducir la carga de residuales que se expulsa al medio. Esta empresa a pesar de ser una fuente económica en el país, representa un foco de contaminación ambiental por los residuales que expulsa al agroecosistema aledaño dedicado al cultivo de hortalizas, plantas medicinales y el libre pastoreo, afectando la seguridad alimentaria local, ya que estos residuales contienen altos contenidos de metales pesados. Se determinaron las propiedades físico-mecánicas de las mezclas empleadas en la producción y se realizó una valoración económica teniendo en cuenta la producción diaria y los costos unitarios. Se pudo comprobar que con la mezcla al 15% de los residuales la preparación de pasta en el proceso productivo de la empresa, se obtuvo los mejores resultados, y se encuentran entre los estándares recomendados, lo que representa en el año una ganancia de más \$ 111 MP MN.

**Palabras clave:** metales pesados, contaminación, medioambiente.

**ABSTRACT:** Taking into account the importance that the uncontrolled expulsion of industrial waste into the environment has for agriculture, this work is carried out with the aim of assessing the possibility of recycling solid waste (residual sludge) of Cerámica Blanca Company located in San José de las Lajas Municipality, Mayabeque, Cuba, through its reuse during the production process, to achieve clean production and reduce the waste load that is expelled into the environment. This company, despite being an economic source in the country, represents a source of environmental contamination due to the residuals that it expels to the neighboring agroecosystem dedicated to the cultivation of vegetables, medicinal plants and free grazing, affecting local food security, since these residuals They have high content of heavy metals. The physical-mechanical properties of the mixtures used in the production were determined and an economic evaluation was carried out taking into account the daily production and the unit costs. It was verified that with the mixture of 15% of the residuals, the preparation of paste in the production process of the company allows obtaining the best results and they are among the recommended standards, which represents an annual profit of more than \$ 111 MPMN.

**Keywords:** Heavy Metals, Pollution, Environment.

### INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un nivel de concientización sobre la necesidad de disponer de un medio ambiente aceptable en todos los órdenes, siendo la contaminación uno de los más sensibles desde el

punto de vista social y humano. Las consecuencias más evidentes se presentan en los entornos agrario y rural actual según [Soto et al. \(2020\)](#), causado fundamentalmente por la implementación de estrategias de desarrollo que han hecho poco caso a procesos ecológicos ([Valdés et al., 2018](#)).

\*Author for correspondence: Ambar Rosa Guzmán Morales, e-mail: [ambar@unah.edu.cu](mailto:ambar@unah.edu.cu)

Recibido: 10/10/2021

Aceptado: 14/03/2022

La preocupación por tener garantizada la alimentación, llevó al hombre a estudiar y cultivar cualquier especie vegetal sin tener en cuenta las condicionales de los suelos que se dedican a esta labor, ni la contaminación con metales pesados de zonas agrícolas cercanas a áreas contaminadas, por lo que uno de los objetivos en las investigaciones sería estudiar los efectos tóxicos que los diferentes grupos de contaminantes producen en la cadena trófica, analizando los fenómenos de traslación, biodisponibilidad, bioconcentración y biomagnificación, para implementar estrategias que ayuden a mitigar tales efectos sobre la seguridad e inocuidad de los alimentos descritos en el Decreto-Ley No.9 ([Gaceta Oficial de la República de Cuba, 2020](#)).

En consecuencia, La Estrategia Ambiental Nacional (EAN) 2021-2030 constituye el documento implementador de la política ambiental cubana, que potencia la gestión local en la preservación del medio ambiente ([CITMA, 2021](#)).

En el logro de estos objetivos influye el desarrollo de determinadas actividades industriales que constituyen un riesgo moderado de contaminación ambiental, no solo debido a las emisiones atmosféricas sino también a un mal manejo de los residuos, que pueden ocasionar fugas de componentes que se acumulan en el suelo y como consecuencia, puede aparecer un "suelo contaminado" según [Valdés et al. \(2018\)](#), entendiéndose como tal, aquel suelo que por la acumulación de compuestos tóxicos persistentes, ha variado sus características originales y cuya nueva naturaleza puede ocasionar riesgos inaceptables para la salud humana o de los ecosistemas ([Bonilla, 2013](#)).

A pesar de todo lo planteado, existen en Cuba según el [INRH-Cuba \(2019\)](#) 14 426 focos contaminantes identificados y las tecnologías para solucionar estos casos son muy costosas, por lo que los recursos disponibles cubren solo el 2,3% de los identificados ([Peñate, 2018](#)).

En la provincia Mayabeque, la más pequeña del país, con una extensión de 3 743,8 km<sup>2</sup> y a pesar de ello la más industrializada, se ubica el municipio San José de las Lajas que concentra la mayor cantidad de industrias y empresas del territorio (78% del sector económico) según [ONEI-Cuba \(2019\)](#), consideradas fuentes de contaminación ambiental y de posible repercusión en la seguridad alimentaria del municipio ([Valdés et al., 2018](#)).

En el trabajo se presenta una posible solución que contribuye a la disminución de la carga contaminante que se expulsa al exterior desde la empresa Cerámica Blanca SANVING S.A., aunque es una fuente económica está considerada un foco de contaminación ambiental. El objetivo del trabajo es: Valorar la posibilidad de reciclaje de los residuales sólidos (Lodo residual) de la empresa Cerámica Blanca ubicada en el municipio San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, mediante su reutilización durante el proceso

productivo, para lograr producciones limpias y reducir la carga de residuales que se expulsa al medio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación geográfica del sitio de estudio

La fuente de contaminación seleccionada para el estudio es la empresa Mixta de Cerámica Blanca Cuba-Vietnam SANVIG, S.A., ubicada en los 22°97' latitud norte y los 82°17' longitud oeste según sistema de coordenadas Cuba Norte, cita en el reparto Jamaica, del municipio San José de las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba.

### Determinación de las propiedades físico-mecánicas de los residuales sedimentales del proceso productivo de la Empresa Cerámica

El estudio de las propiedades físico-mecánicas de los residuales sedimentales se realizó a partir la confección de nueve barras de ensayo de dimensiones 200 x 20 x 10 mm obtenidas de mezclas combinadas de 15%, 30% y 40% del lodo residual con la pasta (material empleado en el proceso productivo). El secado de las barras se realizó en una estufa durante 24 h a 110±5 °C, calcinándose a una temperatura de 1 060 °C en un horno eléctrico estándar Sacmi, seguido pasó a un proceso de cocción según lo establecido para los productos sanitarios.

En cada corrida de producción, se analizó y determinó las siguientes propiedades, según la Norma Técnica Ecuatoriana 652:2000 (NTE INEN, 2000) y la Norma Alemana DIN 51061 (2003) citadas por [Diedel & Link, \(2006\)](#):

**Densidad:** Se determinó con la utilización del agitador mecánico, el picnómetro de 100 mL y la balanza analítica de 120 g con precisión de 0,1 mg.

**Tixotropía:** se empleó el viscosímetro Gallenkamp.

**Espesor y viscosidad al instante:** Las muestras se tomaron del disolutor y de los reactores, se colocaron en el diluidor variable de velocidad, para agitar y homogenizar hasta velocidad de 765 rpm, durante 5 min; luego se dejó reposar durante un minuto para continuar con una breve agitación.

**Módulo de rotura después del secado** (N cm<sup>-2</sup>): se aplicó la [fórmula](#):

$$MOR = \frac{3*P*L}{2*h^2*b} \quad (1)$$

donde:

P: Valor de la fuerza (N) leída en la escala del dinamómetro

L: Distancia entre las dos cuchillas que sujetan la barra de ensayo (cm).

h: Espesor de la muestra (1 cm).

b: Longitud de la barra de ensayo (2 cm).

**Módulo de rotura después de la cocción:** Se efectuó el mismo procedimiento descrito anteriormente.

**Contracción de secado:** Se midió la longitud (L2) de las barras recién desmoldadas con un calibre centesimal, de precisión 0,05 mm; posteriormente se secaron 12 horas a temperatura ambiente y durante 24 horas en secadero con cámara ventilada a la temperatura de 110 °C y se determinó (L1) después de secada. Aplicando la siguiente [fórmula](#) se obtienen los resultados.

$$C.C. = \frac{L1 - L2}{L1} * 100 \quad (2)$$

**Contracción de cocción:** Se empleó el calibre centesimal. La muestra se midió inicialmente (L1), luego fue secada (L2) y con apoyo de la [fórmula](#) se obtuvieron los resultados.

$$C.S. = \frac{L2 - L1}{L2} * 100 \quad (3)$$

**Absorción de agua:** Las muestras, cocidas a las distintas temperaturas, se pesaron mediante balanza analítica de 120 g con precisión de 0,1 mg para el peso seco (P1). Se dejaron en ebullición en un contenedor durante tres horas y luego se enfriaron a temperatura ambiente durante 20 horas. Las muestras, una vez sacadas del agua, se enjuagaron con un paño húmedo y se volvieron a pesar (P2). El porcentaje de agua absorbida se obtiene de la [fórmula](#) siguiente:

$$A = \frac{P2 - P1}{P1} \quad (4)$$

### Análisis del impacto por contaminación con metales pesados del reciclaje del lodo residual

Por la importancia que tiene la acción de minimizar el impacto ambiental provocado por los desechos sólidos que pueden ser reutilizables, se realizó un análisis económico en el proceso productivo de la empresa, estimando el valor en términos monetarios, a partir de las informaciones obtenidas, que reportan 549 piezas promedios por día con un peso promedio de 15 kg, el costo unitario de los productos y la transportación de los componentes por día de producción.

### Análisis estadístico

La organización y procesamiento de la información se realizó en el programa Excel de Microsoft office

2010 y como software estadístico el STATGRAPHICS Plus versión 5.1. Se utilizó la prueba de ANOVA simple para lo cual se estableció un nivel de significación de 0,05 para un 95% de intervalo de confianza y se realizaron las décimas de comparación por Duncan para determinar entre cuales niveles se estableció la diferencia significativa, y para aquellos valores medios que presentaron diferencias significativas, les fueron asignadas letras distintas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización y evaluación de la fuente contaminante: Empresa SANVING S. A.

En el proceso de producción de la empresa, se generan contaminantes, y diferentes tipos de efluentes sólidos, como el barro de esmalte de los procesos de: molienda, esmaltación o preparación de esmaltes. Estos barros, que en general, si bien son técnicamente recuperables, no lo son desde el punto de vista operativo, constituyendo contaminantes potenciales cuando son arrojados a lugares inseguros y mal manejados en su vertimiento ([Goya & Rodríguez, 2020](#)).

La empresa Cerámica Blanca, fuente de contaminación objeto de estudio de la investigación, está dividida en dos secciones para su proceso productivo.

La que ocupa, identificada como Subdivisión 1 tiene una antigüedad de 62 años en funcionamiento ininterrumpido y su producción está orientada a la elaboración de muebles sanitarios blancos o cerámica blanca, sin empleo de colorantes, con un caudal de vertimiento de residuales líquidos de 0,2 L s<sup>-1</sup>, llegando a acumular un volumen de 17 000 L al día, según Informe Técnico CAM San José (2017) y en su interior tiene una trampa para coleccionar mezclas de lodo, que provienen del inicio del proceso productivo.

La [Figura 1](#) presenta un esquema del formato de la empresa respecto a sus trampas de residuales exteriores.

La primera trampa está dividida en tres secciones, donde se observa la presencia abundante de residuos líquidos y lodos compuestos por petróleo, aceite y sedimentos, provenientes de las calderas y la cocina (trampa 1). Los residuales líquidos y sólidos se



FIGURA 1. Esquema del sistema de trampas para residuales de la empresa.

desechan hacia una trampa 2, que acumula sedimentos y aguas residuales que viajan cruzando la carretera central por un canal.

Este canal de desagüe se ha destruido hacia su final permitiendo el cauce descontrolado de las aguas residuales, hacia terrenos que colindan con patios del poblado, que emplean estas aguas para el riego agrícola de cultivos con importancia económica y alimenticia, en su mayoría hortalizas, capaces de acumular en sus tejidos elevados volúmenes de metales pesados, tóxicos para la mayoría de las plantas según [Guzmán et al. \(2021\)](#), sin mostrar síntomas de toxicidad, lo que según [Berazaín \(2017\)](#) es característico en zonas contaminadas con metales pesados.

Según la inspección visual realizada, el funcionamiento de las trampas es ineficiente pues no se filtran adecuadamente los residuales expulsados a partir del proceso productivo. Se pudo comprobar la acumulación excesiva de sedimentos al principio del área de vertimiento, este lodo blanco (mezcla de aguas residuales y sedimentos) consta de una mezcla de caolín y otras materias primas, además de una pequeña cantidad de yeso, que son el resultado de artículos rotos durante el proceso y que pudieran reciclarse también según lo planteado por [Bünemann et al. \(2018\)](#).

### Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de los residuales sedimentales

En la [Tabla 1](#) se presentan los resultados del análisis químico de las diferentes mezclas con lodo residual para su reutilización en el proceso productivo de la empresa.

Se puede apreciar que a medida que se aumenta la dosificación de lodo residual en las mezclas, las pérdidas por ignición (LOI) aumentan, lo que se atribuye a una posible contaminación orgánica de la misma. Los demás parámetros se encuentran dentro de

los límites permisibles en este tipo de fabricación, ya que los rangos del patrón que se emplea, coinciden con [Arias et al. \(2018\)](#).

Por encontrarse los porcentajes de químicos de la mezcla en niveles aceptables, se midieron los parámetros que definen la calidad de la pasta a emplear en el proceso productivo ([Tabla 2](#)).

Se puede observar que en la mayoría de los indicadores evaluados, excepto el Módulo de rotura después del secado, Módulo de rotura después de la cocción y absorción de agua, se encontraron diferencias estadísticamente significativas para un 95% de probabilidad entre las muestras con 15 y 30% de lodo residual respecto a la muestra con 40% de lodo residual, coincidiendo estas diferencias respecto a la pasta sin lodo residual, resultando ser la muestra con 15% de lodo residual, la que ha obtenido los mejores valores en sus indicadores, debido a que se encuentran entre los estándares recomendados todas las propiedades estudiadas, según lo indicado por [Arias et al. \(2018\)](#).

La barbotina obtenida con la mezcla citada, cumple con el ciclo de cocción estándar y la absorción de agua requerida para las pastas, atribuyéndosele a esta los mejores resultados para su utilización en la puesta en marcha de la producción, teniendo en cuenta que [Arias et al. \(2018\)](#) plantea que parte de los materiales perdidos durante todo el proceso de fabricación pueden reutilizarse dentro de la instalación, de acuerdo con las especificaciones de los productos o los requisitos del proceso.

No ocurre de igual forma para la muestra con 30% de lodo residual, donde se observó que la pasta no alcanza la gresificación adecuada (absorción de agua mayor del 0,5%), ya que el caolín gris (se emplea para la elaboración de los productos de cerámica) reduce la tendencia de la pasta a gresificar, lo cual según plantea [Arias et al. \(2018\)](#) se caracteriza por la alta porosidad y la fase vidriosa que se desarrolla durante la cocción, no es suficiente para cerrar la porosidad presente.

**TABLA 1.** Composición química de las mezclas con diferentes porcentajes de lodo residual

Compuestos analizados	Patrón	Lodo residual reciclado		
		15	30	40
%				
LOI	5,5	6,3	6,9	7,2
SiO <sub>2</sub>	67,6	65,3	63,5	62,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,3	22	23,3	24
TiO <sub>2</sub>	0,5	0,6	0,7	0,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,9	0,9	1,0	1
CaO	0,4	0,3	0,3	0,3
MgO	0,3	0,4	0,3	0,3
K <sub>2</sub> O	2,9	2,6	2,3	2,6
Na <sub>2</sub> O	1,6	1,5	1,7	1,3
Total	100	100	100,0	100

**TABLA 2.** Resultado de los ensayos físico-mecánicos con diferentes porcentajes de residuales sedimentales mezclados con la pasta para la producción de piezas cerámicas

Parámetros	Valores Estándar	Pasta sin lodo residual	Muestra con 15% de lodo residual	Muestra con 30% de lodo residual	Muestra con 40% de lodo residual
Densidad (kg L <sup>-1</sup> )	1,79-1,83	1,81 a	1,81 a	1,81 a	1,76 b
Viscosidad (kg m <sup>-1</sup> S <sup>-1</sup> )	310-330	323 a	311 ab	310 b	300 c
Espesor después de 60 min (mm)	8,5-10	8,7 a	8 ab	7,4 b	5 c
Tixotropía (°G) después de 1 min	18-23	23 ab	22 abc	25 a	19 c
Tixotropía (°G) después de 6 min	55-90	83 a	75 a	83 a	55 b
Módulo de rotura después del secado (N cm <sup>-2</sup> )	≥ 235,2	294 b	321,44 a	245 c	176,4 d
Módulo de rotura después de la cocción (N cm <sup>-2</sup> )	≥ 3 920	6 468 a	5 782 b	3 136 c	1 470 d
Contracción de secado (%)	2-3	2,6 a	2,5 a	1,86 ab	1,05 b
Contracción de cocción (%)	9,5-12	11,5 a	10,03 ab	8,6 b	7,5 c
Absorción de agua (%)	≤ 0,5	0,2 b	0,45 b	0,90 a	0,85 a

Letras desiguales difieren significativamente con p<0,05 según dócima de Duncan

**TABLA 3.** Costo de producción en la Empresa empleando 15% de residual en el proceso productivo

Tipo de producción	*Costo de Producción t <sup>-1</sup>	Costo de producción para 549 piezas día <sup>-1</sup>
	\$ t <sup>-1</sup>	\$ día <sup>-1</sup>
Barbotina sin lodo residual	243,87	2 289,45
Barbotina con 15% de lodo residual	211,24	1 983,10

\*Costo de Producción: \$/Tonelada de producto Terminado

En el caso de la muestra con 40% de lodo residual, la mezcla obtenida no es adecuada para la fabricación de las piezas de cerámicas, debido a que la viscosidad está por debajo de la requerida por lo que se hace necesario aumentar la cantidad de defloculante, como explican [López & Ramírez \(2019\)](#). El módulo de rotura después del secado ha resultado excesivamente bajo (pasta ligera) debido a la cantidad de lodo residual utilizado y se observa además una gran diferencia respecto al grado de gresificación óptimo (absorción de agua elevada), con respecto al valor estándar recomendado.

### Valoración económica. Impacto de la reutilización del lodo residual en el proceso productivo de la empresa

Un análisis económico de esta investigación se deriva de la importancia que existe cuando se trata de minimizar el impacto ambiental provocado por desechos sólidos que pueden ser reutilizables.

En la [Tabla 3](#) se presenta la comparación de los costos de producción del proceso sin la reutilización de los residuos sólidos y después de esta, donde se puede observar una disminución en la misma.

La reutilización en la empresa de una parte de este residuo sólido (15%) es un posible ahorro; evita la necesidad de transportarlos de una empresa a otra, se beneficia porque no paga para deshacerse de ellos y es

económicamente factible, pues se obtiene una ganancia de 306,35 \$ día<sup>-1</sup>, lo que representa en el año una ganancia de \$ 111 817,75.

Además de estos resultados obtenidos, [Bünemann et al. \(2018\)](#) plantean que puede reducirse la expulsión de residuos sólidos al exterior a partir de la combinación de diferentes técnicas como: Regeneración de materias primas no mezcladas; Regeneración de artículos rotos en el proceso de fabricación; Utilización de las pérdidas sólidas del proceso en otras industrias; Aplicación de parámetros optimizados.

### CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos avalan que la producción de una pasta incluyendo lodo residual de la industria, con características óptimas para su reutilización en el proceso productivo, se obtiene cuando se combina la mezcla con un 15% de dicho lodo, lo que permite disminuir el costo económico de los componentes a emplear en la mezcla para la fabricación de los productos cerámicos, la carga contaminante que se expulsa al medio ambiente, y a su vez constituye una solución viable y sostenible para la obtención de producciones más limpias.

La implantación de este proceso de reutilización permite que disminuyan los problemas medioambientales y sin dudas contribuye a un mejor

desempeño productivo de la entidad; con el consecuente efecto positivo sobre las áreas agrícolas que colindan con la empresa.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIAS, L.T.; GIRALT, O.G.; GUERRERO, H.J.R.; HERNÁNDEZ, A.J.; ESPINOSA, P.A.: "Propuesta de tratamiento para residuales de la fábrica de marmolosa en Santiago de Cuba", *Tecnología Química*, 38(3): 588-597, 2018, ISSN: 2224-6185, Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n3/rtq13318.pdf>.
- BERAZAÍN, R.: *Métodos de inventario de plantas*, Inst. Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones, informe técnico, La Habana, Cuba, 60-85 p., 2017.
- BONILLA, V.S.M.: *Estudio para tratamientos de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación*, Bachelor's thesis, 2013.
- BÜNEMANN, E.K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R.E.; DE DEYN, G.; DE GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T.W.; MÄDER, P.: "Soil quality-A critical review", *Soil Biology and Biochemistry*, 120: 105-125, 2018, ISSN: 0038-0717.
- CITMA: *Estrategia Ambiental Nacional (EAN) 2021-2030, Etapa 2021-2025*, Inst. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, La Habana, Cuba, 25 p., 2021.
- DIEDEL, R.; LINK, S.: "Módulo de ruptura de las arcillas y pastas crudas. Preparación de las muestras y método de ensayo. Resultados prácticos de un ensayo interlaboratorio", [en línea], En: *Actas del IX Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y Pavimento Cerámico QUALICER*, Alemania, FGK Forschungsinstitut für Anorganische, 2006, Disponible en: <https://www.qualicer.org>.
- GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE CUBA: "Decreto Ley 9/2020 "Inocuidad de los Alimentaria" (GOC-2020-675-076)", *Gaceta Oficial de la República de Cuba*, No. 76 ordinaria, La Habana, Cuba, Ministerio de Justicia. Gaceta Oficial No. 76 ordinaria, 30 de octubre de 2020, ISSN: 1682-7511.
- GOYA, H.A.A.C.; RODRÍGUEZ, M.J.P.: "Tendencias metodológicas en la evaluación del grado de contaminación y de riesgos por metales pesados presentes en sedimentos viales urbanos", *Revista UIS Ingenierías*, 19(4): 133-148, 2020, DOI: <http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias>.
- GUZMÁN, M.A.R.; ORIOL, V.P.; CRUZ, L.P.O.; VALDÉS, C.R.; VALDÉS, H.P.A.: "Fitotecnología para la recuperación de agroecosistemas contaminados con metales pesados por desechos industriales", *Centro Agrícola*, 48(3): 43-52, 2021, ISSN: 0253-5785.
- INFORME TÉCNICO CAM SAN JOSÉ: *Técnicas recuperativas para la protección de áreas contaminadas y su impacto en el desarrollo sostenible*, Inst. Empresa Cerámica Blanca "Adalberto Vidal"-Grupo FITOPLANT, Agronomía, UNAH, Informe técnico, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, publisher: Grupo FITOPLANT, Agronomía, UNAH, 2017.
- INRH-CUBA: *Datos Estadísticos del Instituto de Recursos Hidráulicos, Prov. La Habana*, Inst. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, La Habana, Cuba, 2019.
- LÓPEZ, G.M.; RAMÍREZ, P.M.C.: "Propuesta de procedimiento para tratamiento de residuales líquidos de planta piloto del Centro de Investigaciones del Níquel en Moa", *Revista de Innovación Social y Desarrollo*, 4(2): 99-107, 2019, ISSN: 2664-1240.
- ONEI-CUBA: *Oficina Nacional de Estadística e Información, [en línea]*, Inst. Oficina Nacional de Estadística e Información, La Habana, Cuba, 2019, Disponible en: <http://www.onei.cu/>.
- PEÑATE, G.: *Focos contaminantes y la seguridad ambiental de la nación, [ en línea]*, Mesa Redonda, La Habana, Cuba, 20 de septiembre de 2018, Disponible en: <http://mesaredonda.cubadebate.cu/mesa-redonda/2018/09/20/focos-contaminantes-y-la-seguridad-ambiental-de-la-nacion-video/>, [ Consulta: 13 de noviembre de 2020] .
- SOTO, B.M.; RODRIGUEZ, A.L.; OLIVERA, M.; AROSTEGUI, S.V.; COLINA, N.C.; GARATE, Q.J.: "Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana", *Scientia Agropecuaria*, 11(1): 49-59, 2020, ISSN: 2077-9917.
- VALDÉS, C.R.; CRUZ, L.P.O.; BALBÍN, A.M.I.; GURIDI, I.F.; MORALES, M.A.R.; MESA, M.A.; MILANÉS, A.F.; KAEMMERER, M.; SÁNCHEZ, J.M.: "Fitogestión (FITOG-MP): tecnología para recuperar áreas contaminadas con metales pesados", *Anuario Ciencia en la UNAH*, 15(1), 2018.

*Ambar Rosa Guzmán Morales*, Profesora, Universidad Agraria de la Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”, Carretera de Tapaste y 8 Vías, km 23 ½, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: [ambar@unah.edu.cu](mailto:ambar@unah.edu.cu).

*Pedro Antonio Valdés-Hernández*, Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Autopista Nacional km 23 ½, Carretera de Tapaste, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: [pvaldes@unah.edu.cu](mailto:pvaldes@unah.edu.cu) [pppvaldes1968@gmail.com](mailto:pppvaldes1968@gmail.com).

*Orestes Cruz La Paz*, Prof. Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Grupo Científico FITOPLANT, Carretera de Tapaste y 8 Vías, km 23 ½, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: [orestesn42@gmail.com](mailto:orestesn42@gmail.com).

*Ramiro Valdés Carmenate*, Prof. Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Grupo Científico FITOPLANT, Carretera de Tapaste y 8 Vías, km 23 ½, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: [ramvalcar16@gmail.com](mailto:ramvalcar16@gmail.com).

**AUTHOR CONTRIBUTIONS:** **Conceptualization:** de la Rosa, A. A. .A. **Data curation:** de la Rosa, A. A. .A., Isaac, S. M. O., Macias, S. I. **Investigation:** de la Rosa, A. A. .A., Morales, T. Y., Isaac, S. M. O., Rossi, L. P., Macias, S. I. **Formal analysis:** de la Rosa, A. A. .A., Morales, T. Y., Isaac, S. M. O., Rossi, L. P., Macias, S. I. **Methodology:** de la Rosa, A. A. .A., Morales, T. Y., Isaac, S. M. O., Rossi, L. P., Macias, S. I., Aguilera, C. Y. **Supervision:** de la Rosa, A. A. .A., Morales, T. Y., Isaac, S. M. O., Rossi, L. P., Macias, S. I., Aguilera, C. Y. **Writing, review & editing:** Morales, T. Y., Isaac, S. M. O., Rossi, L. P., Macias, S. I., Aguilera, C. Y.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.