

ISSN: 2594-0937

REVISTA ELECTRÓNICA MENSUAL

Debates sobre Innovación

DICIEMBRE
2019

VOLUMEN 3
NÚMERO 1

XVIII Congreso Latino Iberoamericano de Gestión Tecnológica
ALTEC 2019 Medellín



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA
Unidad Xochimilco



MEGI
MAESTRÍA EN ECONOMÍA, GESTIÓN
Y POLÍTICAS DE INNOVACIÓN



LALICS

LATIN AMERICAN NETWORK FOR ECONOMICS OF LEARNING,
INNOVATION AND COMPETENCE BUILDING SYSTEMS

PRODUCTOS INNOVADORES A PARTIR DE LA UTILIZACIÓN DE LODOS DE POTABILIZACIÓN DE AGUAS COMO MATERIA PRIMA.

Guillermo Vega Ortega

Centro Para el Desarrollo Agroecológico y Agroindustrial - SENA, Atlántico,
Colombia gvegao@sena.edu.co

Norys Milena Ortiz Salazar

Centro Para el Desarrollo Agroecológico y Agroindustrial - SENA, Atlántico, Colombia
mortizsalazar@misena.edu.co

Víctor Hugo Polo Calvo

Centro Para el Desarrollo Agroecológico y Agroindustrial - SENA, Atlántico, Colombia
vicpolo@misena.edu.co

Rafael Eliecer Donado Guerrero

Centro Para el Desarrollo Agroecológico y Agroindustrial - SENA, Atlántico, Colombia
redonado1@misena.edu.co

Resumen

De acuerdo a su naturaleza, la producción de agua potable en una planta de tratamiento, genera volúmenes significativos de lodos, cantidades que, en caso de no darles una adecuada disposición final, puede contribuir a la contaminación del ambiente afectando suelo, agua y aire que son los medios receptores donde son depositados finalmente.

Este artículo presenta los resultados de la investigación realizada en la planta de tratamiento de agua potable ubicada en Manatí-Atlántico, con el objetivo de desarrollar cuatro productos innovadores a partir de lodos de potabilización de agua como materia prima. Se realizó el muestreo y caracterización de los parámetros físico químico de los lodos resultantes del proceso de tratamiento de agua potable, material que posteriormente fue sometido a una etapa de secado al aire libre y al cual se le adicionaron proporcionalmente productos cementantes como yeso, cal y cemento, con el objetivo de aumentar sus propiedades mecánicas.

Finalmente se elaboraron cuatro opciones de productos innovadores a partir de la utilización de lodos resultantes del proceso de potabilización de aguas como materia prima; tres elementos para construcción de tipo no estructural (bloque, adoquín y mortero tipo recubrimiento) y artesanías alusivas a la cultura de la Región Caribe. A los productos de construcción se les realizaron los ensayos de resistencia a la compresión, y a las artesanías, análisis cualitativos para determinar el grado de plasticidad y moldeo necesarios para su funcionalidad en la elaboración de productos de este tipo.

Finalmente, se logró determinar mediante esta investigación que se pueden utilizar los lodos de potabilización de agua como insumos para elaboración de productos aprovechables en nuestras comunidades, mitigando el riesgo y posibles impactos ambientales generados por el manejo y disposición inadecuada de estos residuos.

Palabras clave

Aprovechamiento, lodos, materia prima, potabilización, residuos.

Introducción

Una consecuencia asociada al proceso de potabilización de aguas es la producción de lodos, situación que implica efectos adversos en el ambiente sino se les da un adecuado tratamiento (Filho S., Piveli R., Cutolo S. & de Oliveira AA, 2013). Como ejemplo se tiene, que al ser vertidos a cuerpos de agua pueden formar sedimentos que aíslan las zonas ecológicas más bajas de estos ecosistemas acuáticos, o representar toxicidad debido a la concentración de algunos de sus componentes para los seres vivos (Walsh M., Lake C., & Gagnon G., 2008). Además, estos lodos, pueden generar alteraciones paisajísticas y de las características naturales de los suelos donde son depositados posibilitando el deterioro de la calidad de los mismos.

En las plantas de tratamiento de agua potable, se pueden tener también dificultades técnicas en cuanto al manejo de lodos, debido a que éstos, requieren de la instalación de una infraestructura especialmente diseñada para la realización de las operaciones unitarias para su tratamiento. El almacenamiento de lodos implica grandes extensiones de terreno dentro de la planta incrementando los costos de producción del agua potable (Conagua, s.f.)

En el Departamento del Atlántico, existe actualmente, ausencia de tecnologías para el aprovechamiento de lodos de potabilización de aguas que permitan obtener productos a partir de su utilización como materia prima. Se ha considerado que los lodos de potabilización de aguas, de acuerdo a las características adquiridas después de un proceso de estabilización, pueden ser susceptibles de aprovechamiento, para atenuar sus efectos contaminantes hacia el medio ambiente y proteger a la población en general (Conagua, s.f.). Mediante el aprovechamiento de lodos de potabilización de aguas como materia prima, se busca potencializar la producción de bienes y servicios en el centro y sur del departamento del Atlántico, brindando una gran oportunidad de generación de actividades que representen beneficios económicos para las comunidades, derivadas del desarrollo de productos innovadores.

¿Se logrará contribuir a minimizar los impactos ambientales a partir de la reutilización de lodos provenientes de una planta de tratamiento de agua potable, como materia prima para la elaboración de subproductos?

Metodología

Fase 1: Muestreo y caracterización de propiedades fisicoquímicas de los lodos generados en el tren de tratamiento de la planta potabilizadora en estudio en el municipio de Manatí (Atlántico). En esta etapa se entregan documentos del programa de muestreo para lodos de potabilización de aguas recolectados en el acueducto y llevados a la Finca El Caney del SENA en el que se analizaron algunos parámetros como PH, conductividad, textura y porcentaje de humedad de dichos lodos. Siguiendo el criterio para análisis de suelo se recogieron estratégicamente 10 muestras de lodos de manera aleatoria en los lechos de secado del acueducto de Manatí (Atlántico) para al final tomar los promedios y con base a ellos pasar a la siguiente fase. Se hizo una prueba por medio de Fluorescencia de rayos X para la valoración porcentual del contenido de metales pesados en el lodo recolectado.

Fase 2: Realización de pruebas experimentales para desarrollar cada una de las opciones de aprovechamiento de lodos: Elaboración de bloque, adoquines, elaboración de morteros y elaboración de mezcla para artesanías. En esta fase se hacen pruebas con diferentes mezclas aleatorias binarias y terciarias para determinar la que más se acerque a las normas de ensayo de materiales NTC 3356, ASTM C-109, NTC 3546.

Resultados

Se realizaron determinaciones de parámetros físicos como porcentajes de humedad, pH, conductividad y textura de los lodos de potabilización de aguas en estudio, tal como se muestran en la tabla 1:

Tabla 1. Parámetros físicos analizados

PARÁMETROS	VALORES
pH	6.65
Conductividad	73 μ s/cm
Textura	Areno-franco
Humedad %	37.9

Fuente: Elaboración propia.

Para los análisis cualitativos se empleó el método de fluorescencia de rayos x, el cual arrojó una valoración porcentual del contenido de metales pesados presentes en la muestra de lodo, como se observa en la tabla 2:

Tabla 2. Análisis por el Método de Fluorescencia de Rayos X para el lodo en estudio.

ELEMENTO	PORCENTAJE
Fe	28.090
Mn	0.291
Cr	0.268
V	0.338
Ti	2.270
Al	18.158
Si	50.122

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la tabla 3 se presentan los resultados de los lodos de potabilización de agua que se realizaron de acuerdo a diferentes métodos cuantitativos empleados en el estudio realizado en el laboratorio de agua y suelos de la facultad de Ciencias Agrarias en su Sede en Bogotá.

Tabla 3. Resultados cuantitativos de parámetros físicos químicos para lodos.

DR Gr/cm ³	pH	Co	NT	Ca	K	Mg	Na	Al	CICE	
2,32	6,87	%		Meq/100g						
		1,87	0,16	26,2	0,40	0,39	0,14	0,00	29,1	
P	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Ar	L	A	Textura CT
Mg/kg							%			
58,6	45,5	4,40	50,5	7,47	4,02	0,24	38	34	28	FAr
METODOS DE ANALISIS										
PROPIEDAD				METODO				VALORACION		
pH				Suspensión suelo: agua (relación peso:volumen1:1)				Potencio métrica.		
CE				Extracto de la pasta de saturación.				Conductimétrica.		
CO: Carbono Orgánico				Determinación por Análisis Elemental						
Ca, K Mg, Na: Bases Intercambiables				Extracción con acetato de NH ₄ 1M pH7				Absorción atómica		
CIC: Capacidad de intercambio catiónico				Extracción con acetato de NH ₄ 1M pH7				Volumétrica		
N: Nitrógeno				Estimado a partir del CO(factor empleado 0,0862)						
CICE : CIC efectiva				Estimado por suma de bases y acidez intercambiables						
Al: acidez intercambiable				Extracción con KCl 1M				Volumétrica		
P : Fósforo disponible				Bray II				Colorimétrica		
S: Azufre disponible				Extracción con Fosfato Mono cálcico				Turbidímetro		
Cu, Fe Mn, Zn: Micro elementos				Extracción con DTPA				Absorción Atómica		
B: Boro				Extracción con Fosfato Mono cálcico				Colorimétrica		

Arcilla (Ar) , Limo (L), Arena(A)	Bouyoucos, Dispersión con Na-hexametafosfato	Den simétrica
Clase Textural (CT)	Triángulo de clasificación textural USDA	
Dr: Densidad Real	Método del Picnómetro	

Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión para mortero de fabricación de bloques y adoquines con diferentes materiales cementantes y correlacionar resultados con normatividad para ensayos de materiales de este tipo, tal como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados Resistencia a la compresión de mezclas binarias vs Normatividad.

Mortero prueba No.	Edad en días	Resistencia a la compresión (F'c) Kg/ cm ²	Resistencia a la compresión (F'c) MPa	Según ASTM 270 tipo de mortero a 28 días	Resistencia a la compresión Kg/cm ²	Resistencia la compresión MPa
1 90% lodo + 10% cemento	14	11,63	1,16	K	0,5	5.0
2 75% lodo +25% cemento	14	12,38	1,24	K	0,5	5.0
3 55% lodo + 45% cemento	14	40,81	4,08	N	5,2	53
4 90% lodo + 10% yeso	14	10,95	1,09	K	0,5	5.0
5 75% lodo +25% yeso	14	11,64	1,16	K	0,5	5.0
6 55% lodo + 45% yeso	14	14,56	1,46	K	0,5	5.0

Fuente: Elaboración propia.

Discusión y análisis

Se pudo determinar con los resultados de estos parámetros a las muestras de lodo que son idóneos para la realización de los cuatro (4) productos innovadores como materia prima principal provenientes del proceso de potabilización de aguas.

Con base en los resultados por Fluorescencia de Rayos X, se determinó que los lodos tienen alto contenido de Aluminio y Silicio debido a los coagulantes que se usan para la potabilización, como son el Policloruro de Aluminio (PAC) y el Sulfato de Aluminio. Sin embargo, esto no tendría una incidencia relevante para el objetivo final de este proyecto de investigación.

De acuerdo a correlación con Normatividad se obtuvo el mortero de mejor calidad, con el cual se elaboraron bloques, adoquines no estructurales y se obtuvo un mortero tipo N, apto para recubrimiento, tal como se muestra en la tabla 5:

Tabla 5. Resistencia a la Compresión de mortero de mejor calidad.

Mortero prueba No.	Edad en días	Resistencia a la compresión Kg/ cm ²	Resistencia a la compresión *MPa	Según ASTM C 270 Tipo de mortero a 28 días	Resistencia a la compresión	
					MPa	Kg/cm ²
3 55% lodo + 45% cemento	14	40,81	4,08	N	5,2	53

Fuente: Elaboración propia.

El mortero para mampostería sin refuerzo debe ser del tipo M, S o N. Se puede concluir que ésta proporción de mezcla, se comporta como un mortero de cemento Tipo N, ya que solo con la resistencia evaluada a los 14 días de edad, está dentro de un rango más cercano a un mortero de éste tipo. Se diseñaron las especificaciones técnicas para cada uno de los productos innovadores tal como se muestra en la tabla 6:

Tabla 6: Especificaciones técnicas productos innovadores

Especificaciones técnicas para producto innovador: Adoquín



Características mecánicas evaluadas: Norma: ASTM C -270 -NTC 3329

- ✓ Resistencia a la compresión evaluada a los 14 días: MPa = 4.08
- ✓ Características físicas:
- ✓ Peso en seco: 1,5 a 2,0 kg
- ✓ Acabado liso
- ✓ Dimensiones
- ✓ Longitud (cm): ± 18
- ✓ Ancho (cm): ± 10
- ✓ Espesor (cm): ± 8
- ✓ Presentación: Rectangular
- ✓ Fabricación y ensayos:
- ✓ Mortero de Fabricación: NTC 3356 similar ASTM C-109, NTC 3346, ASTM C -270
- ✓ Dimensiones (cm)= 18x10x8
- ✓ Rendimiento: 55 Un x m²

Especificaciones técnicas para producto innovador: Bloque



Características mecánicas evaluadas ASTM C -270, NTC 3329

- Resistencia a la compresión evaluada al mortero de preparación cubos 5cm de lado. 14 días: MPa = 4.08
- Resistencia a la compresión NTC 4076 bloques: 14 días 1,1Mpa (Bloque no estructural).

- Características físicas:
- Peso medio en seco = 5 Kg
- Acabado: semiliso
- Dimensiones:
- Longitud (cm): 40
- Alto (cm): 20
- Espesor (cm): 10
- Dimensiones reales (cm): 10x20x40
- Presentación: Rectangular
- Clasificación de materiales:
- Cemento portland estructural
- Agregado: lodo resultante de planta potabilizadora de agua (previo secado y evaluación de parámetros físico químicos y microbiológicos, análisis granulométrico.)
- Agua de mezcla (maneja contenido de humedad del lodo)
- Fabricación y ensayos:
- Mortero: NTC 3356, similar ASTM C-109, NTC 3346, ASTM C- 270
- Dimensiones (cm): 10 *20 * 40
- Rendimiento: 12 Un x m²

Especificaciones técnicas para producto innovador: Mortero



Características mecánicas evaluadas NTC 3356, ASTM C270, NTC 3329

- Mortero de lodo + cemento:
- Resistencia a la compresión evaluada en cubos de 50 mm de lado: a los 14 días: MPa = 4.08
- Según ASTM 270 mortero tipo-N
- Mortero de lodo + yeso
- Resistencia a la compresión evaluada a los 14 días en MPa = 1,46MPa
- Fabricado bajo la Norma técnica colombiana NTC 3356 – ASTM C-109. Control de calidad bajo la norma NTC 3546. Evaluado según la Norma ASTM C109.
- Los materiales empleados son: Lodo, cemento y agua.
- También se fabrica un mortero con lodo, yeso y agua. No contienen aditivos.
- Características físicas:

- Mortero tipo recubrimiento, apto para recibir pinturas, baja trabajabilidad y mayor tiempo de fraguado
- Beneficios:
- Diseñado para para uso de pega y pañete en muros no estructurales.
- Clasificación de materiales:
- Cemento portland estructural yeso
- Agregado: lodo resultante de planta potabilizadora de agua (previo secado y evaluación de parámetros físico químicos y microbiológicos, análisis granulométrico.)
- Rendimiento: Mayor tiempo de fraguado por lo que requiere menor agua en la mezcla, Alta consistencia Alta plasticidad

Especificaciones técnicas para producto innovador: Artesanías



- Productos de alfarería o artesanías típicas de la región Caribe Colombiana Elaborados por escultor de programas de formación de artesanías de la región.
- Dimensiones: A solicitud del modelo deseado por el interesado
- Presentación: A solicitud del interesado. Los acabados son con pintura o natural, brillo o rústico.
- Clasificación de materiales: Material cementante: cemento o yeso, con preparación propia del escultor.
- Agregado: lodo resultante de planta potabilizadora de agua (previo secado y evaluación de parámetros físico químicos y microbiológicos, análisis granulométrico.)
- Agua de mezcla (manejando contenido de humedad del lodo).
- Los demás materiales son propios de cada escultor para mejorar los acabados de los productos propiedades de durabilidad, belleza, aspecto y presentación. Suspensiones polímeras acuosas.

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

El análisis por el método de Fluorescencia de Rayos X realizado a los lodos de la planta de potabilización de agua en estudio, arrojó un porcentaje de contenido de Aluminio que superó el doble al contenido de este elemento en un bloque convencional. Se elaboraron morteros con mezclas binarias combinando lodo - cemento, lodo - yeso, que, desde el punto de vista cualitativo, mostraron resultados satisfactorios en cuanto a calidad y resistencia.

Según los resultados arrojados en los ensayos de resistencia a la compresión (14 días de edad) para las muestras evaluadas 3 probetas cúbicas 50mm de lado, tal como se explica en NTC 3356 y la 3546, se registró una resistencia promedio a la compresión para la mezcla de 55% Lodo + 45% Cemento de 40,81 Kg/cm².

El mortero para mampostería sin refuerzo debe ser del tipo M, S o N. Se puede concluir que ésta proporción de mezcla, se comporta como un mortero de cemento Tipo N, ya que solo con la resistencia evaluada a los 14 días de edad está dentro de un rango más cercano a un mortero de éste tipo

El mortero tipo N, es el tipo de mortero multipropósito para uso en las estructuras de mampostería. Es apropiado para pañete y paredes interiores de partición, es el que mejor combina las propiedades de resistencia, trabajabilidad y economía.

El mortero conformado por 55 % lodo + 45 % cemento es un mortero que además presenta las propiedades de uso de morteros de recubrimiento, ya que su función no es estructural sino de embellecimiento, o la de proporcionar una superficie uniforme para aplicar la pintura, no requieren una resistencia determinada; la plasticidad juega en ellos un papel muy importante.

Los adoquines elaborados con la mejor calidad de mortero se pueden fabricar en diferentes modelos tales como: rectangular, corbatín, hexagonal y diversos espesores con aplicaciones para pasos o senderos peatonales sin alta carga estructural, decorativas, de señalización. En textura es un material completamente liso ya que no presenta ningún tipo de aditivo solo se emplea en su fabricación un mortero con un solo tipo de agregado (lodo).

Los bloques elaborados con el mortero de mejor calidad pueden ser empleados para divisiones a menor altura, construcción de andenes, jardineras y el mortero de fabricación tiene la capacidad de retener pintura para mejorar el acabado en este tipo de construcciones. Es un excelente sub-producto para fabricación de viviendas de baja resistencia que puede ser remplazado como material constructivo para poblaciones que emplean materiales de menor resistencia.

En textura es un material completamente semi liso, ya que presenta bastante porosidad por la resistencia a la contracción por secado del lodo. Para disminuir el contenido de vacíos del material se recomienda para futuras investigaciones someterlo a procesos de vibrado. Los ensayos a los morteros de preparación de bloque y adoquines han resultado satisfactorios de acuerdo a la normatividad. Los resultados de ensayos realizados directamente sobre los materiales de construcción (bloques y adoquines), están alejados de la norma NTC 4076 sobre construcción de

bloques estructurales de acuerdo a la dosificación de lodo y cemento ensayada, sucediendo lo mismo con los adoquines. Se pueden mejorar las propiedades mecánicas adicionando a los lodos materiales tipo polímeros naturales, con otro tipo de agregado. Los productos de Alfarería o Artesanías, son productos innovadores en cuanto a los materiales de fabricación. Normalmente se emplean arcillas para este tipo de diseños, y se están reemplazando éstas por lodos provenientes de plantas potabilizadoras de agua como materia prima, materiales cementantes, agua entre otros aditivos para mejorar la durabilidad y apariencia del producto.

Los lodos por su alto contenido de humedad, capacidad de moldeo, consistencia y plasticidad se comportan muy bien para fabricar éste tipo de productos, los cuales son a gusto del cliente. Se pueden fabricar diferentes modelos en diferentes tamaños y dimensiones.

El empleo de lodos como materia prima para construir productos de alfarería o artesanías contribuye a la mitigación de impactos ambientales en la disposición final de lodos en plantas de tratamiento de agua, dependiendo de las dimensiones y tamaño de la solicitud del producto, de esta forma se calcula la cantidad de materiales empleados y costo del producto final.

Económicamente el empleo de lodos como materiales para la producción de artesanías favorece a los escasos y búsqueda de arcillas para moldeo de éste tipo de productos. Para la fabricación de productos de construcción, reduce la cantidad de material empleado en obra para su elaboración y contribuye a la mitigación de impactos ambientales en la disposición final de lodos en plantas potabilizadoras de agua.

Finalmente se propone una fuente de materia prima de generación constante para la fabricación de productos innovadores a partir de morteros combinando lodos y materiales locales, lo cual podría ser aprovechado por la comunidad y empresas del sector.

Esta investigación contribuye a minimizar la problemática de los efectos negativos que puedan tener los lodos de potabilización de aguas en el ambiente. Como técnica aprovechamiento de lodos de plantas potabilizadoras de agua se puede decir que existe una buena viabilidad técnica en la fabricación de morteros y artesanías a partir de lodos de potabilización de agua como materia prima.

Referencias

Conagua. (s.f.). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Introducción al tratamiento de aguas residuales municipales. Recuperado de <http://mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15- Libro25.pdf>

D. R. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2014). Estadísticas del Agua en México. México: InDesign e Ilustrador C

Filho SS 1, Piveli RP , Cutolo SA , de Oliveira AA . (2013). Planta de tratamiento de aguas de eliminación de lodos en estanques de estabilización. Agua Sci Technol. 67 (5): 1017-25.

Norma Técnica Colombiana No. 3356. Icontec. Bogotá, Colombia, 17 de Mayo de 2000.

Norma Técnica Colombiana No. 3546. Icontec Internacional. Bogotá, Colombia, 28 de Mayo de 2003.

Norma Técnica Colombiana No. 4076. Icontec Internacional. Bogotá, Colombia, 19 de Noviembre de 2014.

Torres P, Hernandez D. y Paredes D. (2012). Resumen Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos, Revista Ingeniería de Construcción, Volumen 27 N° 3.

Walsh M.E., Lake C y Gagnon G. (2008). Rutas estratégicas para la gestión sostenible de residuos de plantas de tratamiento de agua. Journal of Environmental Engineering and Science, 7 (1): 45- 52.