

# Evaluation of an Alternative for the Management of Aqueous Sludges Generated in a Residual Water Treatment Plant of the Poultry Sector of Santander, Colombia

Carlos Alberto Amaya Corredor, Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Master en Gestión y Auditorias Ambientales<sup>1</sup>, Alba Vargas Buitrago, Magister en Ciencias y Tecnologías Ambientales<sup>2</sup>, Leonel Fabián Espinosa Escobar, Ingeniero Ambiental<sup>3</sup>, Johan Sebastián Torres Ortiz, Ingeniero Ambiental<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia, [camaya@correo.uts.edu.co](mailto:camaya@correo.uts.edu.co), <sup>2</sup>Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia, [avargas@correo.uts.edu.co](mailto:avargas@correo.uts.edu.co), <sup>3,4</sup>Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia

*Abstract— The following article presents the conceptual evaluation of a treatment alternative for the dehydration, final disposal and / or use of the aqueous sludge generated in the wastewater treatment system installed in a poultry industry beneficiation plant present in the department of Santander. The purpose of this research project is to provide technical guidance regarding the proper management of aqueous sludge, since in Colombia, there is no legislation that regulates or establishes the technical guidelines necessary for the management of aqueous sludge from the systems of industrial wastewater treatment, as well as its treatment and its final disposal.*

*Keywords— Waste water, effluent, aqueous sludge, treatment systems, Bio-solids.*

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.109>  
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

# Evaluación de una Alternativa para el Manejo de Lodos Acuicos Generados en una Planta de Tratamiento de Agua Residual del Sector Avícola de Santander, Colombia

## Evaluation of an Alternative for the Management of Aqueous Sludges Generated in a Residual Water Treatment Plant of the Poultry Sector of Santander, Colombia

Carlos Alberto Amaya Corredor, Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Master en Gestión y Auditorias Ambientales<sup>1</sup>, Alba Vargas Buitrago, Magister en Ciencias y Tecnologías Ambientales<sup>2</sup>, Leonel Fabián Espinosa Escobar, Ingeniero Ambiental<sup>3</sup>, Johan Sebastián Torres Ortiz, Ingeniero Ambiental<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia, [camaya@correo.uts.edu.co](mailto:camaya@correo.uts.edu.co), <sup>2</sup>Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia, [avargas@correo.uts.edu.co](mailto:avargas@correo.uts.edu.co), <sup>3,4</sup>Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia.

*Abstract– El siguiente artículo presenta la evaluación conceptual de una alternativa de tratamiento para la deshidratación, disposición final y/o aprovechamiento de los lodos acuicos generados en el Sistema de tratamiento de agua residual instalado en una planta de beneficio de la industria avícola presente en el departamento de Santander. La finalidad de este proyecto de investigación es brindar la orientación técnica en lo referente al manejo adecuado de los lodos acuicos, ya que, en Colombia, no existe una legislación que reglamente o establezca los lineamientos técnicos necesarios para el manejo de lodos acuicos provenientes de los sistemas de tratamiento de agua residual industrial, así como de su tratamiento y su disposición final.*

*Keywords– Agua residual, efluente, lodos acuicos, sistemas de tratamiento, Bio-sólidos.*

*Abstract– The following article presents the conceptual evaluation of a treatment alternative for the dehydration, final disposal and / or use of the aqueous sludge generated in the wastewater treatment system installed in a poultry industry beneficiation plant present in the department of Santander. The purpose of this research project is to provide technical guidance regarding the proper management of aqueous sludge, since in Colombia, there is no legislation that regulates or establishes the technical guidelines necessary for the management of aqueous sludge from the systems of industrial wastewater treatment, as well as its treatment and its final disposal.*

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.109>

ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

*Keywords– Waste water, effluent, aqueous sludge, treatment systems, Bio-solids.*

### I. INTRODUCCIÓN

En el Departamento de Santander – Colombia existe un sector que desarrolla una actividad de gran impacto tanto económico como ambiental en la región, según FENAVI [1] dicho sector participa aproximadamente con el 25% de la producción avícola a nivel nacional y dentro de su misión esta fortalecer la competitividad de la industria a nivel local, regional y nacional, así como mitigar de manera adecuada cualquier impacto ambiental presente en su área de influencia.

Dentro del proceso productivo desarrollado en el sector avícola una de las actividades de mayor impacto es el beneficio de aves, actividad que se desarrolla con una infraestructura idónea que garantiza la calidad del producto final para estar bajos los estándares de calidad adecuados, sin embargo, dicha acción genera un subproducto que se denomina agua residual industrial la cual es tratada por unidades mixtas donde se llevan a cabo reacciones de separación física, biológicas y fisicoquímicas para la remoción de la carga contaminante antes de ser vertida a una cuerpo hídrico, suelo o red de alcantarillado [2]. Los lodos generados a partir de plantas de tratamiento de aguas residuales pueden considerarse un problema. Es una fuente clave de

contaminación ambiental secundaria debido a la presencia de diversos contaminantes, en algunos casos difíciles de identificar y manejar para valorar su posible impacto [3]. Para realizar correctamente el tratamiento y eliminación del lodo es fundamental conocer sus características [4].

Aun así, la remoción de la carga orgánica diluida en la matriz puede convertirse en una fracción gaseosa o sólida de acuerdo al proceso de separación que se lleve a cabo, esta última genera un sub-producto denominado Lodo Acuoso, el cual se caracteriza por tener un alto contenido de humedad, motivo por el cual se hace necesario revisar las alternativas de manejo adecuado para su disposición final, es así que la investigación, buscó realizar la evaluación de una alternativa para el manejo de los lodos acuosos generados en un sistema de tratamiento de agua residual del sector avícola de Santander.

## II. METODOLOGIA

La metodología que se ha determinado para la evaluación conceptual de la alternativa de tratamiento, disposición final y/o aprovechamiento de los lodos acuosos generados en el sistema de tratamiento de agua residual industrial instalado en la planta de beneficio de la industria avícola presente en el departamento de Santander adscrita a FENAVI, se presenta a continuación mediante un esquema de 3 etapas:

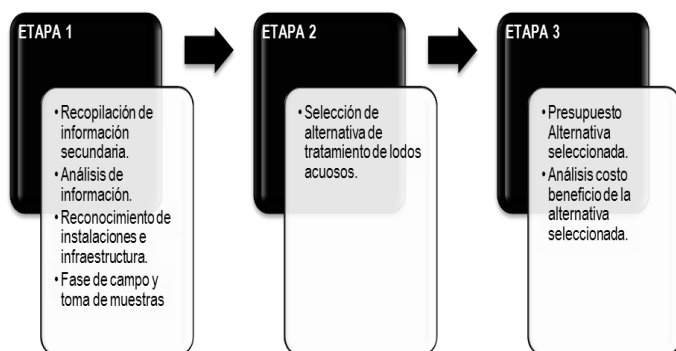


Fig. 1. Secuencia Metodológica.

A) Etapa 1. Análisis y diagnóstico del lodo acuoso generado en el sistema de tratamiento: Contempló la recopilación de información secundaria y visitas de inspección al lugar del estudio de caso con la información suministrada por el Departamento de Gestión Ambiental DGA de la empresa avícola seleccionada.

B) Etapa 2. Selección de alternativas de tratamiento, aprovechamiento y/o disposición final de los lodos acuosos: Con base en la información recolectada y tabulada en el proceso de operación y funcionamiento del sistema de tratamiento de agua residual del sector, se procedió con la generación de una matriz conceptual a través del método de

Scoring [5] con el cual se garantiza el manejo integral de los lodos acuosos generados de acuerdo a la alternativa de tratamiento

C) Etapa 3. Análisis costo/beneficio y estimación de inversión de la alternativa seleccionada: Con base a la alternativa seleccionada, se procedió con el análisis del presupuesto estimado, en donde se determinaron las variables necesarias para la puesta en marcha de la tecnología en la planta de beneficio del sector avícola en Santander [6].

## III. DESARROLLO DEL PROYECTO

### ETAPA 1:

Dentro de la recopilación de información secundaria, los profesionales que conforman el equipo del Departamento de Gestión Ambiental (DGA), facilitaron las tablas dinámicas en formato digital Excel, donde se registra la información correspondiente a la tabulación de resultados obtenidos en la operación mensual del Sistema de Tratamiento de Agua Residual, dentro de las variables de interés suministradas, está:

Descripción del proceso de producción enfatizado en las etapas y/o secciones donde se generan residuos líquidos [7]

- Descargue, pesaje, colgado y lavado de guacales: En esta área se reciben las aves en guacales, presenta un consumo continuo de agua durante todo el turno de trabajo; el vertimiento se genera por las actividades de lavado de guacales, el lavado del área de descarga y el lavado de planchones de los camiones.
- Área de beneficio, escaldado y desplume: El agua proveniente de esta etapa del proceso, se caracteriza por contenidos altos de materia orgánica, altas temperaturas y arrastre de plumas; dichas características son consecuencia del proceso de escaldado y el cambio interno de las canastas recolectoras de plumas [8].

A continuación, se presenta el diagrama general del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales existente en la planta de Beneficio del sector avícola seleccionada. Para el manejo de las descargas procedentes de los procesos de producción propios de la planta de beneficio, embutidos y harina [9]. El sistema se esquematiza como lo muestra la figura 2.

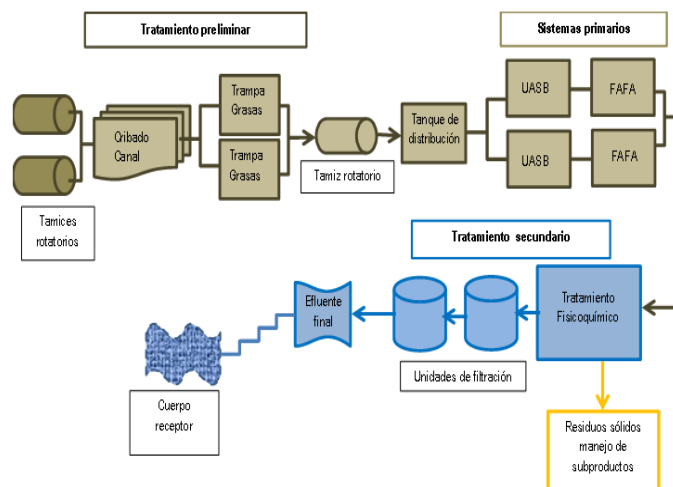
Grasas y aceites.: El proceso inicia en la trampa de grasas del tratamiento preliminar del STARI, donde es recolectada para posteriormente ser conducida a la Planta de Harinas mediante bombeo; donde es convertida en chocolatina por medio de un proceso de cocción y finalmente es comercializada.

Pollinaza: Este tipo de subproducto es generado en el área lavado de planchones de camiones y eviscerado. Es considerado un residuo apto para compostaje, por tanto, es recogido en las canaletas de Pollo en pie y cribado

(Preliminar) del STARI, luego es empacado en costales de nylon y transportado a los lechos de secado en donde es tratado con un caldo microbiano (acelerando su proceso de degradación), evitando la proliferación de vectores. Una vez se termina el proceso de compostaje, es empacado en costales de nylon (40 kg) y almacenado para finalmente ser comercializado como abono.

Fig. 2. Sistema de Tratamiento de Agua Residual Industrial existente.

Fuente: Autor



#### Manejo de Subproductos Generados en el Tratamiento [10]

Lodos acuosos. Los lodos [11] provenientes de la PTAP y PTARI son conducidos a un tanque de acondicionamiento de (40 m<sup>3</sup>) donde se adiciona cal y se homogenizan, una parte posteriormente es bombeado por una tubería a los patios de compostaje, hasta tener un sólido con características aptas para su utilización como abono en las diferentes granjas de la empresa y la otra parte se lleva a disposición final por una empresa contratante para enriquecimiento de suelos áridos [12].

- Cuantificación de la producción de lodos acuosos generados en el STARI.

Una posibilidad en la cadena de sucesos del proceso de tratamiento, es la reducción de las cantidades de lodos acuosos, sometiéndolo a un tren de tratamiento de deshidratación idóneo, donde el tamaño y firmeza de los aglomerados son un factor importante, de manera que el lodo permanezca poroso durante la compresión, alcanzando mayores niveles de materia seca y menos humedad.

En la tabla 1 se presenta la estimación teórica del volumen de lodos acuosos que se podrían generar si las unidades principales del STARI trabajaran con un caudal de 29 l/s de manera continua durante el día, el tiempo de operación del

sistema de tratamiento es de 16 horas/proceso de producción, en donde se genera una purga en el sedimentador cada 20 minutos con un volumen de lodo acuoso de 2,6 m<sup>3</sup>.

ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE LOS LODOS ACUOSOS				
Unidad de Tratamiento	Q diseño STARI L/s	Tiempo de Operación STARI (hr)	Volumen de agua tratada m <sup>3</sup> /día	Volumen Estimado de lodos acuosos generados en m <sup>3</sup> /día
Tanque de almacenamiento de lodos acuosos	29	16	1670,4	<b>124,8</b>

TABLA 1. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE LODOS ACUOSOS GENERADOS EN LA PTAR.

Fuente: Autores

Como se puede observar la generación de los lodos acuosos con las variables establecidas podrían estar alrededor de los 124,8 m<sup>3</sup>/día, estimando el 7,4% de subproducto generado en el proceso de coagulación/floculación, sin embargo, este valor se calcula con los resultados obtenidos con experiencias en los procesos de tratamiento físico-químico llevados a cabo en el sistema de tratamiento descrito anteriormente, situación que podría variar de acuerdo a las condiciones de cada proyecto.

#### Caracterización físicoquímica y microbiología del lodo acuoso generado en el STARI de la empresa avícola seleccionada. [13]

Para el presente proyecto se evaluaron dos (2) alternativas de pre-espesamiento de los lodos acuosos generados en la unidad de tratamiento físicoquímica existente:

- Pre-espesamiento por sedimentación pro gravedad
- Pre-espesamiento con asistencia química.

#### Resultados de pre-espesamiento por gravedad y asistencia química de los lodos acuosos en la purga de la unidad físicoquímica. [14]

Dentro del análisis de la información obtenida se tiene que cada una de las pruebas de pre-espesamiento por gravedad y asistencia química, se realizaron con un volumen de control de 1000 ml, contenidos en conos tipo imhoff, las pruebas tienen como finalidad, verificar los tiempos de sedimentación y la calidad del clarificado generado en cada uno de los resultados [4] [11].

En términos generales, se tiene que las dos alternativas de pre-espesamiento de lodos acuosos (gravedad y asistencia química) presentan resultados en porcentaje (%) de recuperación de clarificado entre 0 – 15 % por gravedad y entre el 5 – 35 % con asistencia química en un periodo de análisis de 60 minutos. Sin embargo, dentro del análisis de los datos obtenidos, se tiene que la realización de un pre-espesamiento con asistencia química presenta mejores

resultados en términos de eficiencia, dado que toda la sedimentación se da en el transcurso de 30 minutos (30% de clarificado, 70% de lodo espesado), situación que favorecería los volúmenes necesarios para el diseño y construcción de los tanques de pre-espesamiento, de igual forma aumentaría la eficiencia en el periodo de tratamiento, dado que se tendría disponible en menor tiempo una fracción representativa de lodo pre-espeso para que pase a la fase final de deshidratación, finalmente con una asistencia química se requeriría menor área de trabajo para la ubicación de las unidades de tratamiento, situación de gran ayuda para las compañías que se encuentran con limitantes de área disponible para dicha actividad.

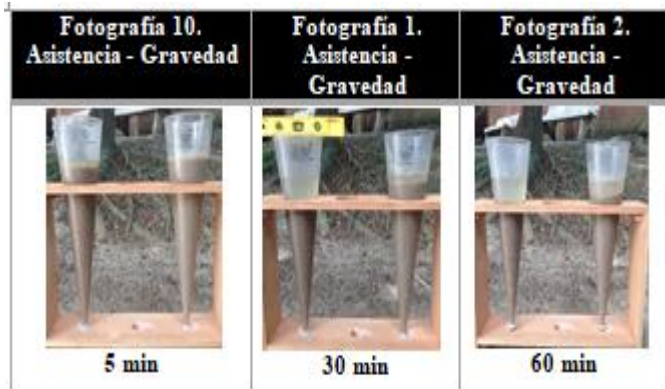


Fig. 3. Tiempos de Sedimentación

Con los resultados obtenidos en el pre-espesamiento de los lodos acuosos, bajo las dos (2) alternativas desarrolladas, se presenta el escenario de la posible recuperación del volumen de clarificado que se dispondría retornar a cabeza de tratamiento o disposición en la unidad posterior contemplada en el tren de tratamiento de agua residual. (Tratamiento Fisicoquímico).

A continuación, se observa de manera ilustrada los resultados de los lodos acuosos del tratamiento fisicoquímico (Test de sólidos) en la prueba de pre-espesamiento mediante asistencia química.

Según la tecnología seleccionada (Filtro Prensa), la cual se encuentra en la fase 3 del análisis costo/beneficio, se evidencia que su costo de inversión es mayor a la de las demás fases, esto genera un balance comparando los costos mensuales que se dan en cada fase de la disposición final ya que tendría una tasa de retorno de 10 meses y 16 días aproximadamente en recuperar la inversión.

En la Fig. 4 se presenta los resultados del test de Sólidos para los lodos acuosos pre-espesos con asistencia química, en ella se observa que la relación que existe entre SSV/SST es de 0,86, dato que de acuerdo a experiencia de investigaciones realizadas presumen que relaciones > 0,6 reflejan un posible

potencial de sustrato orgánico que favorece la actividad biológica.

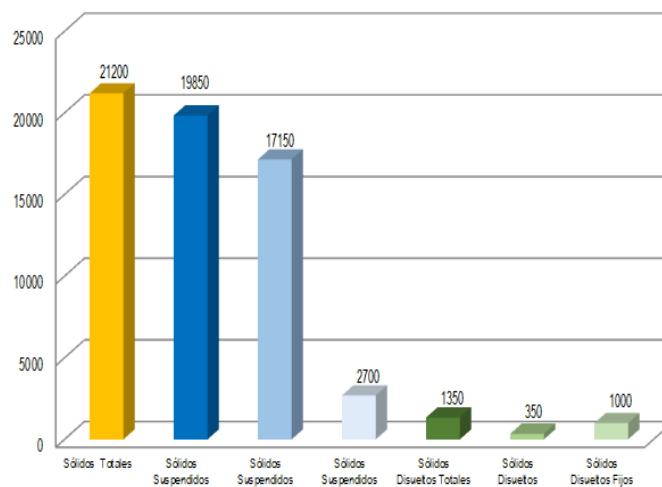


Fig. 4. Representación test de sólidos – Lodo pre-espeso con asistencia química.

Los altos contenido de materia orgánica se deben a que los Sólidos Suspendedos Volátiles representan el 80,89% de los Sólidos Totales, situación lógica dada la actividad económica evaluada, la cual incluye los procesos de beneficio de aves de corral. Los Sólidos Suspendedos Fijos representan el 12,73 % de los Sólidos Totales, remanente que queda después de calcinar a temperatura (550°C), siendo estos componentes inorgánicos, sustancias utilizadas en los procesos internos de beneficio o tratamiento de agua como sales minerales

A continuación, se presenta un esquema general del tren de tratamiento de lodos acuosos propuesto por el equipo de investigación, en donde se puede evidenciar el % de disminución del volumen de lodo acuoso generado actualmente en la empresa seleccionada Vs el volumen de lodo pre-espeso de la alternativa seleccionada denominada pre-espesamiento con asistencia química.

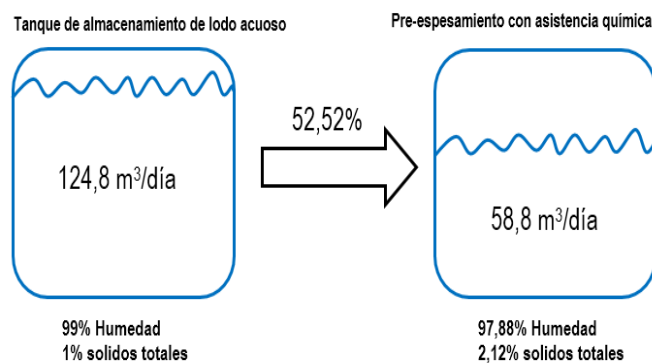


Fig. 5. Esquema del volumen de lodos acuosos – pre-espesamiento con asistencia química.

Cabe resaltar que el contenido de Sólidos Totales en los lodos acuosos fue de 10.000 mg/l, dato reportado por el Departamento de Gestión Ambiental de la compañía y en este orden de ideas se podría establecer que en una primera etapa de pre-espesamiento se disminuiría en un 52.52 % los volúmenes de lodos generados, situación de gran interés para el cálculo del dimensionamiento y selección del equipo de deshidratación final requerido para la compañía

### ETAPA 2

En el desarrollo de la investigación se tuvo en cuenta la selección de la alternativa de tratamiento para la deshidratación final de los lodos pre-espesos, para ello el equipo de trabajo seleccionó la metodología de la matriz de Scoring [5] metodología enfocada en orientar de manera práctica y objetiva la identificación de una alternativa para dar solución a un problema o decisión multicriterio; en su desarrollo se identifican alternativas y criterios a los cuales se les asigna una ponderación, de tal manera que el score más alto representaría la alternativa a seleccionar, como se observa en las siguientes tablas.

$$\text{Modelo para calcular el Score: } S_j = \sum_i w_i * r_{ij} \quad (1)$$

Dónde:

$r_{ij}$  Contribución de la alternativa j en función del criterio i  
 $w_i$  =ponderación para cada criterio

ASIGNACIÓN DE PONDERACIÓN	
1	Muy poco importante
2	Poco importante
3	Importancia media
4	Algo importante
5	Muy importante

Tabla 2. PONDERACIÓN PARA CADA CRITERIO  
 Fuente: Autor

RATING DE SATISFACCIÓN	
1	Extra Bajo
2	Muy Bajo
3	Bajo
4	Poco Bajo
5	Medio
6	Poco Alto
7	Alto
8	Muy Alto
9	Extra Alto

Tabla 3. CONTRIBUCIÓN DE LA ALTERNATIVA  
 Fuente: Autor

La evaluación para obtener la mejor alternativa se puede observar en la tabla 4.

CRITERIOS.	Ponderación	Método de Scoring – DESHIDRATACION DE LODOS					
		Filtro Prensa	Valor intermedio	Tornillo Prensa	Valor intermedio	Centrifuga decanter	Valor intermedio
		r1		r2		r3	
Área a utilizar	4	3	12	4	16	4	16
Mantenimiento	5	5	25	7	35	5	25
Consumo de energía	5	8	40	5	25	3	15
Consumo de agua	3	6	18	4	12	7	21
Consumo de polímero	4	7	28	7	28	7	28
Control operacional	5	5	25	8	40	7	35
Inversión m <sup>3</sup> de lodo acuoso a tratar	4	9	36	5	20	7	28
Vida útil equipo	5	6	30	6	30	6	30
Deshidratación alcanzada	4	9	36	6	24	6	24
	<b>SCORE</b>		<b>250</b>		<b>230</b>		<b>222</b>

Tabla 4. MÉTODO DE SCORING  
 Fuente: Autor

De acuerdo a la metodología de Scoring y a los criterios que se estipularon con la valoración dada, se tiene que la mejor alternativa de tratamiento de la deshidratación de lodos pre-espesos, es la unidad de filtro prensa que obtuvo el score más alto (250) frente a las otras dos alternativas (tornillo prensa con score total de 230 y centrifuga – decanter con score total 222).

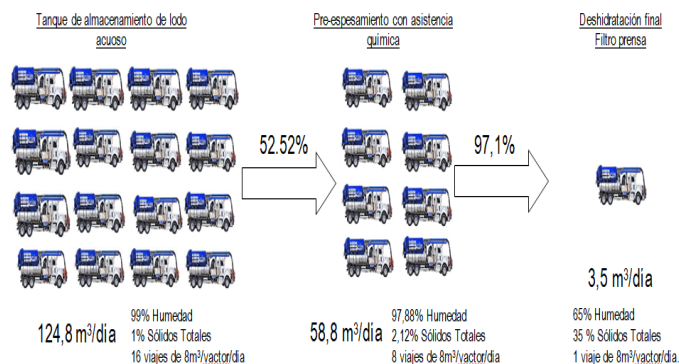


Fig. 6. Esquema General del Tren de tratamiento seleccionado para la deshidratación de los lodos acuosos generados en el STARI existente

Fuente: Autor

En la figura 6 se observa el resultado del tren de trabajo con la mejor alternativa; cabe resaltar que el volumen generado por día, con la alternativa seleccionada por el equipo investigador reduce significativamente el costo de disposición final de los lodos acuosos, reduciendo de dieciséis (16) viajes diarios de 8 m<sup>3</sup> a un (1) viaje diario de aproximadamente 3.5 m<sup>3</sup> para su disposición final, aprovechamiento biológico o energético [15].

#### ETAPA 3.

De acuerdo a lo estipulado en la etapa 2 de la metodología de trabajo, donde la alternativa seleccionada fue el filtro prensa y con el objetivo de dar un manejo adecuado de los lodos acuosos generados en el Sistema de Tratamiento Agua Residual Industrial del sector avícola en Santander, donde se pueda disminuir los tiempos de secado y deshidratación de lodos, minimizar el posible impacto a la zona de influencia directa por la generación y proliferación de vectores y adicionalmente evitar la pérdida de capacidad de almacenamiento de lodos y en consecuencia afectación a la eficiencia del sistema de tratamiento existente [16].

Se precisa, que la alternativa propuesta se ajusta a las necesidades por parte del sector y dicho proyecto estaría enmarcado en las buenas prácticas ambientales y las mejoras continuas que se deben realizar en el manejo integral del agua residual; así mismo, se encuentra enmarcado dentro de los compromisos del Departamento de Gestión Ambiental (DGA).

A continuación, se describe cada una de las unidades contempladas para el manejo de los lodos acuosos generados en el Sistema de Tratamiento de Agua Residual Industrial del sector avícola en Santander [17].

El sistema de tratamiento propuesto toma en cuenta los siguientes momentos:

#### Almacenamiento de lodos acuosos

- Tanque de almacenamiento de lodos acuosos.
- Bomba de impulsión OBL

#### Acondicionamiento o Pre-espesamiento con asistencia química

- Tanque cónico espesamiento de lodos. Capacidad 30m<sup>3</sup> - PRFV.
- Bomba dosificadora de polímero.
- Sistema hidráulico (serpentín)
- Tanque de preparación de polímero. Capacidad 3m<sup>3</sup> - PRFV.

#### Deshidratación final – Unidad de Filtro Prensa

- Filtro prensa 630x630 de 25 mm de espesor de placa y 380 L de capacidad.
- Tanque cónico de espesamiento de lodos – Capacidad 30m<sup>3</sup> - PRFV.
- Bomba de impulsión de lodo de desplazamiento positivo.
- Lonas de filtración.
- Tablero de control
- Agitador tipo Rushton acero inoxidable.

#### Disposición final

- Relleno sanitario.
- Estabilización biológica
- Disposición a campo abierto

- Si bien es cierto, existe un abanico de alternativas para el manejo de lodos residuales de plantas de tratamiento, donde principalmente los procesos usados son los convencionales como tratamientos preliminares, primarios, secundarios o terciarios; seleccionados o aplicados dependiendo de la naturaleza y procedencia del lodo, de los procesos biológicos y físico-químicos usados en el tratamiento, infraestructura disponible, etc., los resultados son satisfactorios dependiendo de las necesidades o requerimientos normativos. También es cierto, que lo que se hizo con esta investigación fue probar un método poco convencional que además de disminuir los costos ambientales, disminuyera también los costos económicos y se adecuara a las necesidades y requerimientos de la industria. Específicamente, para lodos provenientes de avícolas no se ha implementado esta alternativa, por lo menos no, que se encuentre documentada, por esto resulta difícil comparar los resultados con otros provenientes del mismo sector.

- La ejecución del proyecto está contemplada en tres fases, la primera fase de diseño y construcción, segunda fase de adecuación, una tercera fase de instalación y puesta en funcionamiento.

- La primera fase dura aproximadamente sesenta días (60), comprende el diseño detallado de las unidades de tratamiento y la construcción de las mismas.

- La segunda fase de adecuación comprende una visita a las instalaciones de la planta de beneficio, donde se realizarán las indicaciones para la ejecución de las obras civiles y estructurales que se requieren para el montaje del sistema de tratamiento; esta fase está dentro de los sesenta (60) días de la primera fase.

- La tercera fase comprende el montaje e instalación del sistema de tratamiento deshidratación de lodos en la planta de beneficio, montaje del sistema de filtro prensa, montaje del sistema de automatización y puesta en funcionamiento del sistema de tratamiento completo (sistemas físicoquímicos y manejo de lodos).

Según la tecnología seleccionada (Filtro Prensa), la cual se encuentra en la fase 3 del análisis costo/beneficio, se evidencia que su costo de inversión es mayor a la de las demás fases, esto genera un balance comparando los costos mensuales que se dan en cada fase de la disposición final ya que tendría una tasa de retorno de 10 meses y 16 días aproximadamente en recuperar la inversión [18].

#### *Análisis Costo/Beneficio Alternativa Seleccionada* [19]

De acuerdo al presupuesto planteado para el tratamiento de lodos acuosos, en donde se determinó la tecnología adecuada



para su deshidratación y equipos complementarios, se realiza un análisis de costo/beneficio de la cuantificación de lodos tratados en cuanto a su disposición final como se observa en la tabla 5. Cabe resaltar que el volumen de los lodos acuosos generados es de 124,8 m<sup>3</sup>, en donde se disponen a través de una empresa contratante por medio de una vactor (Camión).

	Fase 1	Fase 2	Fase 3
CONSUMO DE ENERGIA (COP/día)	\$ -	\$ 5.000	\$ 13.524
Consumo de agua (COP/día)	\$ -	\$ 3.348	\$ 5.148
Operadores (COP/día)	\$ -	\$ 1.200.000	\$ 2.400.000
Mantenimiento (COP/día)	\$ -	\$ 1.000.000	\$ 2.500.000
Polímero (COP/día)	\$ -	\$ 33.480	\$ 33.480
Viajes / día	12	7	2
Total viajes (COP/día)	\$ 1.800.000	\$ 1.050.000	\$ 300.000
Costo (COP/día)	\$ 1.800.000	\$ 1.091.000	\$ 352.152
Costo (COP/mes)	\$54.000.000	\$ 34.000.000	\$ 15.464.560
Costo inversión	\$ -	\$119.134.500	\$391.510.000
Tasa de retorno (mes)	\$ -	6.26	10.16

Tabla 5.  
COSTOS GENERADOS O EVITADOS

A continuación, se presenta el costo por m<sup>3</sup>/tratado/día, que es generado en las tres (3) alternativas, las cuales forman una tendencia decreciente en el volumen a tratar y los costos por m<sup>3</sup>[20].

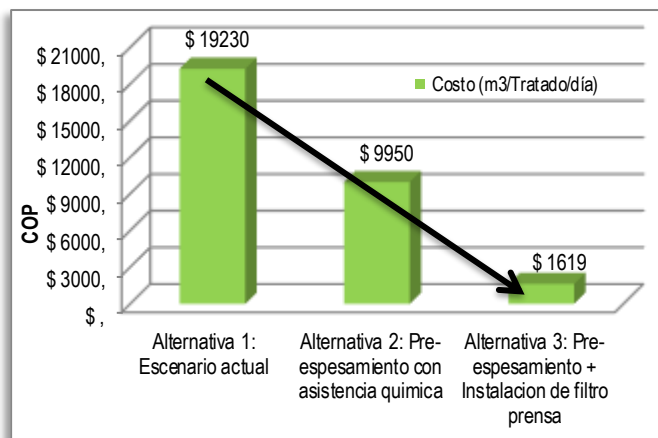


Fig. 7. Relación de disminución de costos

Según el tren de tratamiento seleccionado (Almacenamiento + Pre-espesamiento con asistencia química + Unidad de Filtro Prensa), la cual se encuentra en la alternativa 3 del análisis

costo/beneficio, se evidencia que el costo por m<sup>3</sup>/tratado/día es de \$ 1.619 COP inferior en un % equivalente al 1187%, respecto al costo de la alternativa 1 (Escenario actual) que es de \$ 19.230 COP, situación que reduce considerablemente los costos de la disposición final de los lodos de la empresa seleccionada y se convierte en una alternativa económica y ambientalmente viable para la compañía.

### Beneficio Ambiental

De acuerdo a los criterios planteados en la selección de la alternativa de tratamiento, se realizó un análisis de los beneficios ambientales que podría llegar a tener esta selección, brindando un desarrollo sostenible en las instalaciones de la empresa.

COMPONENTE	OBSERVACIONES
Recurso Agua	El clarificado obtenido por el pre-espesamiento de lodos + la instalación del filtro prensa, genera un 97,1% (121.235 l/día) de agua residual que será devuelta a la cabeza del tratamiento.
Recurso Suelo	Con la alternativa seleccionada la manipulación del lodo es más sencilla, generando (4,2 ton/día) de lodo seco para pensar en una estabilización y aprovechamiento, situación que inicialmente era dispuesto en rellenos sanitarios a través de una vactor.
Recurso Aire	Minimización de olores ofensivos por la disminución del ácido sulfhídrico generado y otras emisiones provenientes de la descomposición de la materia con compuestos a veces desconocidos pero peligrosos para el medio ambiente.

Tabla 6.  
RELACIÓN DE BENEFICIOS AMBIENTALES

### III. CONCLUSIONES

Según las pruebas realizadas en la fase de campo para la selección de la alternativa de tratamiento de lodos acuosos, en su primera fase; se evidenció que el pre-espesamiento con asistencia química fue el idóneo para lograr una mayor sedimentabilidad del lodo acuoso en el menor tiempo (Un mayor volumen de clarificado (35%) respecto al pre-espesamiento por gravedad (15%) y una mejor calidad del clarificado en términos fisicoquímicos [21].

El clarificado generado en el pre-espesamiento por asistencia química, será enviado a cabeza de tratamiento, descartando así algún vertimiento diferente al del Sistema de Tratamiento de Agua Residual Industrial STARI de la empresa seleccionada.



Se concluye que el volumen estimado de lodos acuosos generados en el STARI es de aproximadamente 124,8 m<sup>3</sup>/día, dato calculado bajo las condiciones de operación estándar del STARI las cuales corresponden a un periodo de bombeo de 16 horas, con una purga cada 20 minutos, durante 15 segundos, todo ello equivalente a un volumen de 2,6 m<sup>3</sup> de lodo acuoso por purga.

El pre-espesamiento con asistencia química, redujo la humedad del lodo acuoso del 99.9 % al 97,88 % y aumento la concentración de sólidos del 1% al 2,12%, situación que sustenta la necesidad de poder contemplar dicho proceso dentro del tren de tratamiento para el manejo de los lodos acuosos, ya que disminuyó un 52,52% el volumen de lodo acuoso a tratar en la unidad de deshidratación final.

Es conveniente precisar que los resultados obtenidos en el laboratorio presentan trazabilidad en sus resultados dado que fueron desarrollados bajo los lineamientos establecidos en la norma colombiana NTC-ISO/IEC 17025 de 2005.

Con la investigación desarrollada se tiene que de continuar con la situación actual dada al manejo de los lodos acuosos la compañía avícola necesaria evacuar diariamente 124.8 m<sup>3</sup>/día de lodos lo que corresponde a 16 viajes con una vactor de capacidad (8 m<sup>3</sup>) para su disposición final, sin embargo, con la alternativa 3 (Almacenamiento + Pre-espesamiento con asistencia química + tecnología de deshidratación (Filtro Prensa)) establecida por los investigadores del presente proyecto se llegaría a necesitar solo un (1) viaje para disponer 3,5 m<sup>3</sup>/día de lodo deshidratado, propuesta que desde el punto de vista ambiental se enmarca dentro de las buenas prácticas de manejo ambiental de la compañía.

Según la evaluación económica (Costo/Beneficio) que se realizó al tren de tratamiento seleccionado alternativa 3 (Almacenamiento + Pre-espesamiento con asistencia química + tecnología de deshidratación (Filtro Prensa)) se tiene que el costo por metro cubico podría ser de \$ 1.619 COP m<sup>3</sup>/tratado/día, valor inferior equivalente al 1187% respecto al costo de la alternativa actual que es de \$ 19.230 COP m<sup>3</sup>/tratado/día, bajo estos argumentos técnico, se tiene que dicha propuesta corresponde a una solución ambiental y económicamente viable para la compañía avícola.

El subproducto final generado en el tren de tratamiento propuesto alternativa 3 ((Almacenamiento + Pre-espesamiento con asistencia química + tecnología de deshidratación (Filtro Prensa)), correspondería a un lodo deshidratado con un volumen de 3.5 m<sup>3</sup>/día con una humedad del 65%, que facilitaría desde todos los puntos de vista (Ambiental, económico, administrativo, operativo, social, normativo, etc.) su aprovechamiento y disposición final adecuada.

La selección de la alternativa (pre-espesamiento + instalación del filtro prensa), genera un beneficio ambiental bastante considerable ya que actualmente el medio de disposición final que se planteaba era a través de una vactor para relleno sanitario con una cantidad de 124,8 m<sup>3</sup> de lodo acuoso, situación que genera un impacto significativo al recurso suelo.

Para futuras investigaciones es importante comparar los resultados con otros sistemas o procesos ya implementados en sectores similares, ya que no se encuentra información específica disponible documentada que permita verificar la viabilidad técnica de la presente investigación.

Igualmente, como aporte importante para reforzar el resultado de esta investigación es importante evaluar las posibles alternativas de valorización o aprovechamiento de dichos lodos, teniendo en cuenta la composición física y química de los mismos.

La presente investigación reforzó los conocimientos técnico del componente ambiental en la compañía avícola dado que no se había establecido el procedimiento de análisis para dicha problemática (Tratamiento de los lodos acuosos) que se estaba generando, es por ello que se ratifica que la presente investigación se convierte en una herramienta de gran importancia para la toma de decisiones a corto plazo por parte de la gerencia de la compañía, con el objeto de subsanar el impacto ambiental que se estaba generando a los recursos naturales en el área de influencia directa, minimizar los costos asociados al manejo ambiental de la empresa y mejorar la problemática social.

#### REFERENCIAS

- [1] Mojica, P. A., & Paredes, V. J Características del sector avicola colombiano y su reciente evolucion en el departamento de Santander. (2005).
- [2] Amador-Díaz A., Veliz-Lorenzo E. & Bataller-Venta M. «Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones». Revista CENIC Ciencias Químicas, Vol. 46, 2015. Cuba.
- [3] Raheem, A., Sikarwar, V. S. Jun, H., Dastyar, W., «Opportunities and challenges in sustainable treatment and resource reuse of sewage sludge: A review.» Chemical Engineering Journal Volume 337, 1 April 2018, Pages 616-641 April 2018, Pages 616-641
- [4] Zabaniotou, D.F.A. «Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review. » Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 12, Issue 1, January 2008, Pages 116-140.
- [5] Berumen S. A. y Llamazares Redondo F., «La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el ahp) en un entorno de competitividad.» Cuadernos de Administración, vol. 20, n° 34, pp. 65-87, 2007.
- [6] Meleán-Romero R. B.-S. M. & R.-M. G., «Procesos productivos de la industria avícola zuliana: Fases de alimento, engorde y

- beneficio.» *Revista De La Facultad De Agronomía*, vol. 25, nº 1, pp. 160-184, 2008.
- [7] Meleán-Romero, R., Bonomie-Sánchez, M., & Rodríguez-Medina, G. (2008). Procesos productivos de la industria avícola zuliana: Fases de alimento, engorde y beneficio. *Revista De La Facultad De Agronomía*, 25(1), 160-184.
- [8] Federación Nacional de Avicultores de Colombia – Fondo Nacional Avícola [sede web]. Bogotá, Colombia. Disponible en: [http://www.fenavi.org/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=369&Itemid=458](http://www.fenavi.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=369&Itemid=458)
- [9] Invima Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos. [sede web]. Bogotá, Colombia. Disponible en: <http://web.invima.gov.co/portal/documents/portal/documents/root/normatividad/alimentos/2011019549/Lista%20de%20plantas%20inscritas%20en%20terminos.pdf>
- [10] Cortes J., «Producción de biodiesel a partir de subproductos de la industria avícola. Megaproyecto Para El Futuro.» 2004.
- [11] García O., Lodos residuales: Estabilización y manejo. *Caos Conciencia*, 2006, pp. 51-58.
- [12] Romero Rojas J. A., «Tratamiento de aguas residuales, Teoría Y Principios De Diseño.» *Tratamiento De Aguas Residuales, Teoría Y Principios De Diseño*, pp. 17-23, 1999.
- [13] García, N. (2009). Lodos residuales: estabilización y manejo.
- [14] J. FERRER, «Conceptos Básicos de Metodología de la Investigación,» 01 07 2010. [En línea]. Available: <http://metodologia02.blogspot.com.co/p/operacionalizacion-de-variables.html>. [Último acceso: 10 10 2016].
- [15] Limón Macías, Juan G. Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso?, Guadalajara, Jalisco, 2013
- [16] Builes Blandon, Sebastian. Tratamiento y adecuada disposicion de lodos domesticos e Industriales. Universidad Tecnológica de Pereira Facultad De Tecnologías Química, Pereira, 2010
- [17] Berumen S. A. & L. R. F., «La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente.» *Cuadernos De Administración*, vol. 20, nº 34, pp. 65-87, 2007.
- [18] Dellepere Vita, A. Liard V. W., Guarnieri M. M. Caracterización y disposición final de lodos provenientes de las estaciones de depuración de líquidos residuales. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01275e20.pdf>
- [19] Aranda Usón y Sabina Scarpellini, «Impacto de los materiales de construcción, análisis de ciclo de vida.» *EcoHabitar*, nº 40, 2014.
- [20] Banco de la Republica de Colombia [sede web]. Bogotá, Colombia. Disponible en: [http://www.banrep.gov.co/documentos/publicaciones/regional/ESER/bucaramanga/2005\\_agosto.pdf](http://www.banrep.gov.co/documentos/publicaciones/regional/ESER/bucaramanga/2005_agosto.pdf)
- [21] Repamar, Manejo ambientalmente adecuado de lodos Provenientes de plantas de tratamiento. Municipio Metropolitano de Quito, Dirección de Medio Ambiente, Quito, Agosto de 1999