

## II-112 - EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS ESPESADORES A GRAVEDAD DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UCUBAMBA, EN LA CIUDAD DE CUENCA, ECUADOR

**María Fernanda Espinosa Cordero** <sup>(1)</sup>

Ingeniera Civil (Universidad de Cuenca, Ecuador). Alumna de maestría del Programa de Pos-Graduación en Saneamiento, Medio Ambiente y Recursos Hídricos de la UFMG. Becaria del Programa Estudiantes - Convenio de Pos-Graduación – PEC-PG, de CAPES/CNPq – Brasil.

**Manuel Alejandro Campoverde Ortiz**

Ingeniero Civil (Universidad de Cuenca, Ecuador).

**Galo Durazno Orellana**

Ingeniero Civil (Empresa Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Gualaceo, Ecuador).

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Rua Princesa Leopoldina, 252 Apto. 502 – Ipiranga - Belo Horizonte - MG – CEP: 31160-120 – Brasil - +55 (31) 9943-6256 – e-mail: [ferespinosac@hotmail.com](mailto:ferespinosac@hotmail.com)

### RESUMEN

Hay ausencia de información bibliográfica, acerca de lodos de lagunas de estabilización, así como sobre las investigaciones de espesadores a gravedad para este tipo de lodos, por lo que el presente documento pretende aportar al conocimiento en este campo. Se presenta una evaluación del desempeño de los espesadores a gravedad de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba (PTAR), en la ciudad de Cuenca, Ecuador, bajo diferentes regímenes de operación, en los que se analizan la eficiencia de captura de sólidos; estratigrafía al fondo de la unidad; y, se verifican las cargas de diseño. Los estudios fueron realizados a base de muestreos en la entrada, en el fondo y en el sobrenadante del espesador. Se obtuvieron dos tipos de muestras: puntuales, en donde se analizó el porcentaje de sólidos totales (ST); y, compuestas, en las cuales se analizó los parámetros físico-químicos y biológicos. Los resultados obtenidos muestran las concentraciones de ST en el fondo del espesador (25% de ST), mayores a las descritas en la bibliografía (15% de ST); y una concentración en el sobrenadante de 350 mg/l de SST. Los análisis de laboratorio muestran que los lodos contienen metales tales como: As, Cd, Sn, Hg y Se, los cuales se encontraron por debajo de los límites de detección en el afluente y en el sobrenadante, por lo que no fue posible determinar si existe remoción. También se determinó que los metales que retornan al sistema no están incidiendo en el proceso biológico de las lagunas. Se concluye así, que este tipo de espesadores tiene un desempeño satisfactorio para lodos de lagunas de estabilización. Además, se evidenció una alta dependencia de la operación de dragado para el funcionamiento óptimo del sistema y, por ende, para el cumplimiento de lo previsto en el diseño del proyecto.

**PALABRAS-CLAVE:** Lagunas de estabilización, lodos, espesador a gravedad, sólidos totales, estratigrafía.

### INTRODUCCIÓN

Los sistemas de lagunas de estabilización constituyen la forma más simple para el tratamiento de aguas residuales, y como en todos los procesos de tratamiento biológico de aguas residuales, también en las lagunas de estabilización ocurre la producción de lodo, asociado a los sólidos presentes en el agua residual bruta y, principalmente a la biomasa que se produce en el propio tratamiento (VON SPERLING, 2002). Estos lodos acumulados poseen los mismos contaminantes presentes en las aguas residuales, por lo que requieren de tratamiento, para poder disminuir su volumen y facilitar su disposición final.

Los lodos son tratados mediante algunas etapas que pueden ser usadas en diferentes combinaciones; una de ellas es el espesamiento que consiste en incrementar el contenido de sólidos en los lodos, mediante la remoción de una porción del agua. El espesamiento por gravedad es el proceso más simple y menos costoso (KUMAR G., 2009). Este tipo de espesadores utilizan la tendencia natural de los sólidos de mayor densidad para sedimentarse y concentrarse en el fondo. Los sólidos en el fondo del tanque pueden alcanzar hasta el 15% de sólidos totales (ST), siendo el valor más típico de 4% a 6% de ST. El líquido en la superficie del tanque es casi transparente con una concentración de sólidos suspendidos (SST) tan baja como 200 mg/l (US EPA, 2003).

La ciudad de Cuenca (Fig. 1) cuenta con una PTAR compuesta de una fase de pre-tratamiento y de lagunas de estabilización en serie (2 aeradas, 2 facultativas y 2 de maduración), con una superficie total de agua de 45 ha y una capacidad de tratamiento de 1860 l/s, las mismas que se encuentran en funcionamiento desde finales del año 1999. Durante los primeros 9 años de funcionamiento de la PTAR, se ha generado un volumen acumulado de lodos superior a los 180000 m<sup>3</sup> (al 13%ST), lo cual ocasionó una disminución de la eficiencia del sistema (DURAZNO & DÍAZ, 2009). A partir de esta situación, se implementó un sistema que consta de dos dragas instaladas en las lagunas, dos espesadores a gravedad y 3 filtros banda de deshidratación con el objeto de dar un tratamiento al lodo acumulado y así poder ser dispuesto en el relleno sanitario de la ciudad.

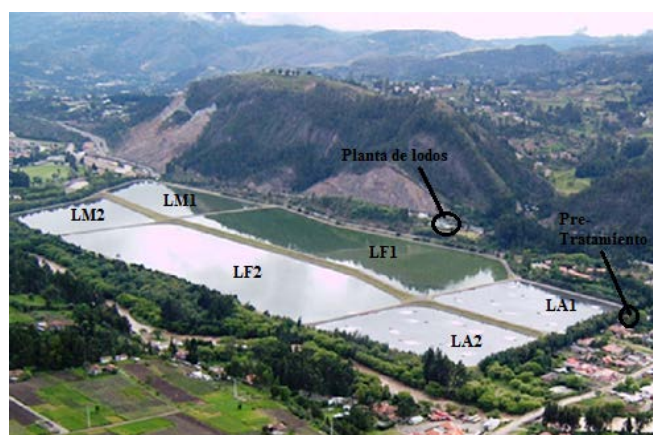


**Figura 1 Ubicación de la ciudad de Cuenca**

Este artículo tiene como objetivo evaluar el desempeño de los espesadores a gravedad de la PTAR de la ciudad de Cuenca, con respecto a la captura de lodos, el funcionamiento con diferentes regímenes de operación, así como también su capacidad de concentración a través de perfiles estratigráficos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se trabajó en dos de las seis lagunas existentes en la PTAR (Fig. 2): en la L. aerada 1 (LA1) y en la L. facultativa 1 (LF1), puesto que en estas es donde se encuentra mayor cantidad de lodo; siendo aquí donde trabajaron las dragas. Durante esta investigación, las dragas no siempre operaron simultáneamente, ya que trabajaron según los diferentes regímenes de operación establecidos para esta tesis (detallados posteriormente). Esta investigación tuvo una duración de 2 meses, entre muestreos y análisis de laboratorio.



**Figura 2 Vista de las lagunas de estabilización de la PTAR**

A continuación se explican brevemente, los trabajos realizados para la investigación y los procedimientos que se llevaron a cabo en función de los parámetros de interés.

### **Eficiencia de captura de sólidos en el espesador (características del sobrenadante y del lodo dragado)**

Para obtener la eficiencia de captura de sólidos en el espesador, se tomaron muestras en el afluente, y en el efluente (sobrenadante). Esta evaluación fue realizada bajo 3 regímenes de operación:

- Dragando, únicamente, la laguna aerada 1 (LA1)
- Dragando, únicamente, la laguna facultativa 1 (LF1)
- Dragando, conjuntamente, la laguna aerada y la facultativa (LA1+LF1)

Para realizar el muestreo, se utilizaron frascos enumerados de 100 ml. y las muestras se recolectaron con ayuda de una extensión. De todas las muestras fueron analizados los ST. A partir de estos resultados se obtuvo la eficiencia de captura.

### **Eficiencia de remoción de parámetros físico-químico de lodos en el espesador.**

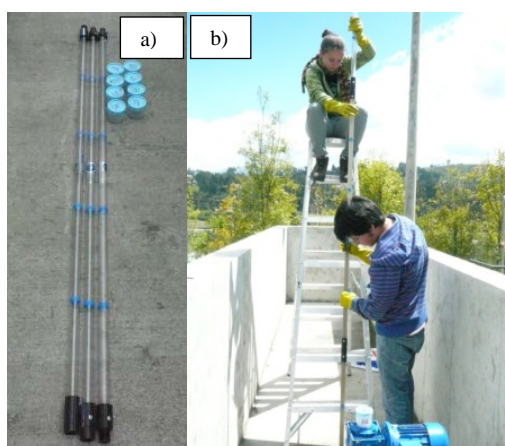
Para este ensayo se tomaron muestras para cada régimen de operación (descritos arriba), tanto en la entrada como en el sobrenadante del espesador. Luego, fueron homogenizadas y enviadas al Laboratorio para su respectivo análisis. Se analizaron parámetros como pH, ST, fósforo, nitrógeno, DBO, DQO, metales pesados entre otros.

### **Efectos de variación y verificación de las cargas de diseño**

Se tomaron los datos de los caudales y volúmenes de lodo que ingresan a los espesadores así como aquellos que retornan a las lagunas de estabilización a través del sobrenadante, al principio y final del día durante 3 semanas. Estos datos sirvieron para obtener la carga hidráulica y másica que llega a cada espesador, así como también la carga másica que está regresando a las lagunas. Se mantuvieron los regímenes de operación descritos arriba, aunque también se analizó el caso en el que sólo funciona el espesador 2.

### **Perfiles de lodos al interior del espesador**

Para la estratificación de los lodos, se tomaron muestras en el fondo del espesador. Todos los resultados que se obtuvieron de esta prueba corresponden a un punto situado a 80 cm por encima del fondo del espesador, ya que el muestreador de lodos (Fig. 3) de 4,50 m de altura, con el que se tomó las muestras, es menor a la profundidad total del espesador (5,30 m). También se tomaron muestras en la entrada del espesador cada hora para analizar la concentración de lodos que está ingresando al espesador. Una vez sacada la muestra del fondo del espesador, se procedió a medir la altura de lodo extraído en el muestreador. La muestra se dividió en estratos de 20 cm. o 30 cm. y luego se colocó en frascos de 100 ml para su posterior análisis de ST. Este proceso se realizó cada 4 horas, desde las 8h00 hasta las 16h00 y durante un período de 3 semanas.



**Figura 3 a) Muestreador de lodos y frascos de 100ml para las muestras; b) Extracción de muestras utilizando el muestreador de lodos.**

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este documento, por espacio limitado y por similitud en las figuras, serán presentadas las figuras referentes a un régimen de operación: Dragando, conjuntamente, la laguna aerada y la facultativa (LA1+LF1).

### Eficiencia de captura de sólidos en el espesador (características del sobrenadante y del lodo dragado)

Se pudo determinar que la calidad del sobrenadante no se ve influenciada por la calidad del afluente (Fig. 4), es decir, que no importa cuál sea la concentración de ST a la entrada del espesador, porque la concentración en el sobrenadante siempre tiende a un mismo valor promedio de 0,07%. La Figura 4 indica el porcentaje de ST obtenidos en las diferentes horas de dragado, tanto en el afluente como en el sobrenadante. Debido a que la operación de dragado no fue continua, se presentan interrupciones en las gráficas entre el final de un día y el comienzo de otro.

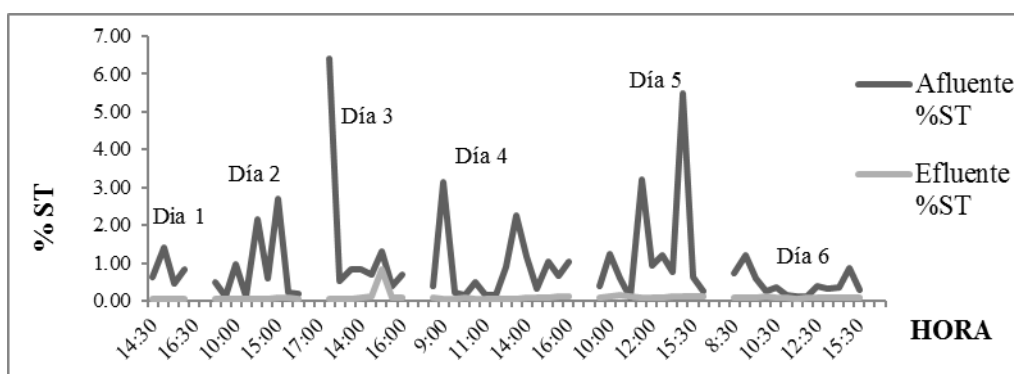


Figura 4 Concentración de sólidos totales del afluente y efluente cuando se ha dragado la LA1 y la LF1

Para las concentraciones de ST, se obtuvo, para el afluente, una media y mínimo de 0,93% e 0,08%, respectivamente. En los estudios realizados en la PTAR, se esperaba que la concentración de ST extraídos de las lagunas fuera de 3% a 7% (ETAPA EP, 2004); sin embargo, en esta investigación, la concentración obtenida resultó muy inferior (0,93%) a la esperada, lo que puede ser debido a la grande influencia en la operación de dragado. Los valores máximos fueron muy variables, debido a que el lodo no se encuentra uniformemente distribuido en las lagunas.

Las concentraciones de ST en el sobrenadante para las 3 operaciones de dragado, son también similares en máximo, promedio y mínimo, con valores de 0,15%, 0,07% y 0,04%, respectivamente. Según U.S EPA (2003), el sobrenadante es limpio si tiene una concentración de SST tan baja como 200 mg/l (0,02 %SST), lo que concuerda con los datos obtenidos en esta investigación, ya que se encontró una relación de SST/ST igual a 0,5, con lo que se tiene una concentración promedio de SST de 350 mg/l (0,035 %SST).

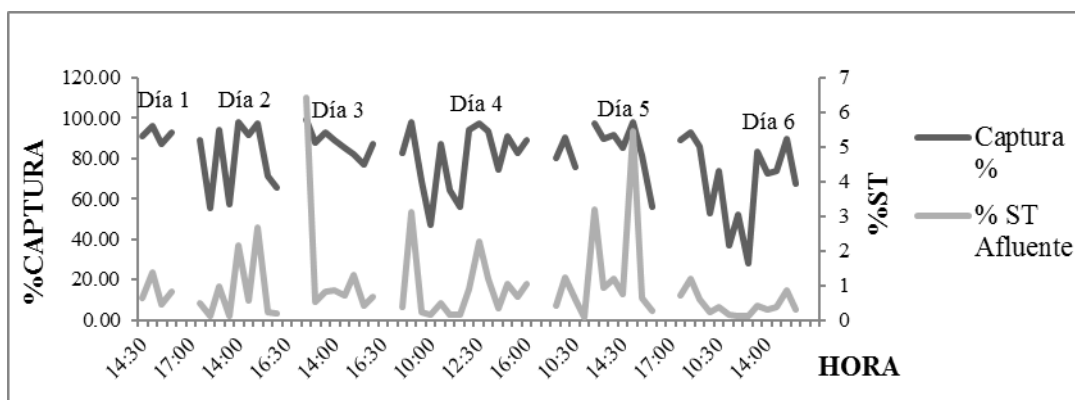


Figura 5 Porcentaje de captura y de sólidos totales dragados de la LA1 y LF1

En la Figura 5 puede observarse que las curvas correspondientes al porcentaje de captura tienen una tendencia conforme las curvas de porcentaje de ST del afluente, lo que resulta que a mayor porcentaje de ST, hay una mayor captura de los mismos. El valor medio obtenido de la captura de ST en el espesador fue de 80%, el cual se considera como un valor referencial, más no como un valor significativo que refleje el real funcionamiento de la unidad, basándose en la poca variabilidad de la calidad de efluente y en el valor tan inferior con respecto al esperado en los estudios de la PTAR.

### Eficiencia de remoción de parámetros físico-químico de lodos en el espesador.

En cuanto a las características físicas, fue observado que existe una remoción del 89% al 94% para lo que son sólidos (volátiles, suspendidos, totales), lo que quiere decir que la mayoría de éstos son retenidos en el espesador. En los parámetros químicos, se pudo ver que el Nitrógeno Amoniacal es la forma predominante de Nitrógeno en el sobrenadante, con lo que se confirma que el Nitrógeno Orgánico se queda en el lodo espesado.

Algunos de los metales hallados en el lodo el Bario, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Manganeseo, Níquel, Plata, Plomo, Vanadio y Zinc, presentaron una alta remoción (hasta 98%).

Un resumen sobre las remociones de estos parámetros se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1 Valores promedio de algunos de los parámetros físico-químicos del lodo en el espesador, obtenidos en el afluente y sobrenadante, y porcentaje de remoción de los mismos.**

Parámetro	Resultados Promedio					Remoción (%)		
	Afluente	Efluente	Unidad	Afluente	Unidad	Máximo	Promedio	Mínimo
DBO	527	48	mg/l	-	-	91	<b>88</b>	76
DQO	3918	298	mg/l	-	-	96	<b>89</b>	65
ST	9685	638	mg/l	-	-	96	<b>90</b>	70
STV	3364	191	mg/l	35	%ST	98	<b>89</b>	66
SST	7739	340	mg/l	-	-	98	<b>94</b>	85
SSV	1838	116	mg/l	-	-	97	<b>92</b>	78
Fósforo total	47	8	mg/l	4,9	g/kg	91	<b>67</b>	55
N-amoniaco	44	39	mg/l	4,6	g/kg	92	<b>29</b>	-33
N-orgánico	84	21	mg/l	8,7	g/kg	96	<b>21</b>	-177
Aluminio	255687	32444	µg/l	26401	mg/kg	98	<b>84</b>	18
Arsénico	92	<30	µg/l	9,4	mg/kg	77	<b>60</b>	N/D
Bario	7520	469	µg/l	777	mg/kg	97	<b>91</b>	78
Boro	371	163	µg/l	38	mg/kg	85	<b>65</b>	34
Cadmio	<10	52	µg/l	<1,0	mg/kg	N/D	N/D	N/D
Cobalto	207	13	µg/l	21,4	mg/kg	>95	<b>89</b>	67
Cromo	2357	138	µg/l	243	mg/kg	97	<b>92</b>	84
Cobre	1986	104	µg/l	205	mg/kg	98	<b>93</b>	83
Estaño	<300	<300	µg/l	<31,0	mg/kg	N/D	N/D	N/D
Hierro	181129	7962	µg/l	18703	mg/kg	98	<b>95</b>	93
Manganeseo	2757	273	µg/l	285	mg/kg	95	<b>87</b>	66
Mercurio	<6	<6	µg/l	<0,6	mg/kg	N/D	N/D	N/D
Níquel	425	52	µg/l	43,9	mg/kg	93	<b>75</b>	27
Plata	14	13	µg/l	1,5	mg/kg	>75	<b>67</b>	49
Plomo	1238	71	µg/l	128	mg/kg	>98	<b>92</b>	88
Potasio	28679	9745	µg/l	2961	mg/kg	80	<b>57</b>	21
Selenio	<200	<200	µg/l	<20,7	mg/kg	N/D	N/D	N/D
Sodio	38443	25641	µg/l	3970	mg/kg	45	<b>31</b>	5
Vanadio	533	24	µg/l	55,0	mg/kg	97	<b>94</b>	81
Zinc	14723	691	µg/l	1520	mg/kg	97	<b>94</b>	83

N/D= No detectable



Se obtuvo una DBO promedio en el sobrenadante de 48 mg/l (en términos de carga es igual a 27,70kg). Sabiendo que la carga que ingresa a la PTAR es 3865,7kg (118mg/l), entonces la carga que está regresando a la PTAR, es tan sólo el 0,7% de la total que está ingresando al sistema.

La concentración promedio de ST en el sobrenadante fue de 638 mg/l, mientras que la concentración de ST que ingresa a la PTAR tiene un valor medio de 524 mg/l. Comparando las dos concentraciones se puede ver que la que está regresando (sobrenadante) a las lagunas es mayor que la que está ingresando; pero en términos de cargas másicas, se tiene que la carga que está regresando representa un 2,1% de la carga que ingresa a la PTAR.

La concentración de metales (As, Ba, B, Cd, Co, Cr, Cu, Sn, Fe, Mn, Hg, Ni, Ag, Pb, K, Se, Na V y Zn) que está retornado al sistema es menor a las establecidas para la inhibición del crecimiento biológico (DURAZNO, 2010), a excepción del Al, cuya concentración promedio de 32 mg/l es superior a la máxima dada en la literatura (26 mg/l); sin embargo, este valor no representa un riesgo para el proceso biológico, ya que haciendo un balance de masas entre los dos caudales afluentes (caudal bombeado y caudal afluente a la PTAR), se obtiene que la descarga en la laguna aerada es de 4,19 mg/l.

Los sólidos volátiles totales obtenidos en el afluente (35%ST) se encuentran dentro del rango de sólidos volátiles (30 a 60%ST) para lodo primario digerido (METCALF & EDDY, 2003), concluyéndose que los lodos de las lagunas de estabilización pueden enmarcarse dentro de esta clasificación.

### Efectos de variación y verificación de las cargas de diseño.

Las cargas másicas registradas resultaron menores a las esperadas en un 80%, esto se debe a que la concentración de lodo que llega a los espesadores no fue la esperada; sin embargo, las cargas hidráulicas sí están dentro del parámetro de diseño, ya que éstas no dependen de la concentración de ST, sino únicamente del volumen dragado. En la Tabla 2 puede verse claramente lo indicado en este párrafo.

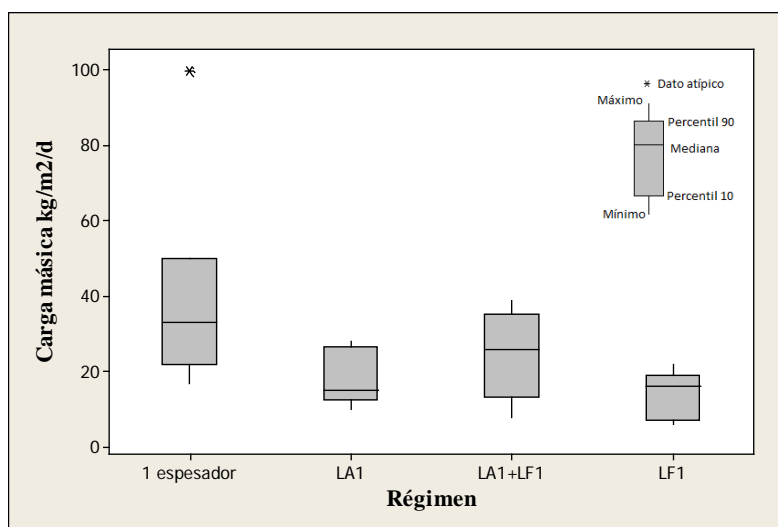
**Tabla 2 Valores máximo, mínimo y promedio de las cargas másica e hidráulica (de diseño y las observadas) del espesador**

	Carga másica kg/m <sup>2</sup> /día	Carga hidráulica m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h
Diseño*	80-120	<1,4
Máximo	39	0,7
Promedio	20	0,4
Mínimo	6	0,2

\*Fuente: (ETAPA, 2004)

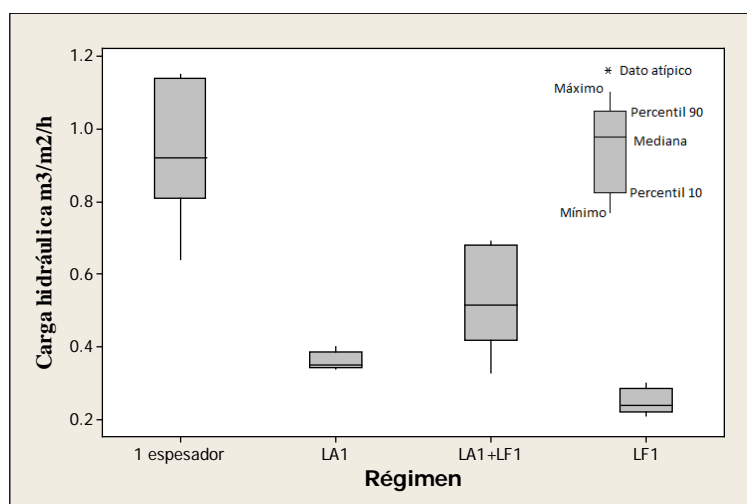
Según los estudios de batimetría (ETAPA, 2009), se aprecia que existe mayor cantidad de lodo y con una distribución más uniforme en la LF1, por lo que se esperaría que las cargas másicas sean mayores, cuando el lodo es dragado de esta laguna. De la Figura 6 se observa que no se cumple lo mencionado, esto se debe a que las aplicaciones de carga dependen directamente de la operación de dragado.

Por otra parte, se puede ver que cuando se trabajó con un sólo espesador sí se consiguió obtener cargas másicas superiores a las registradas con los otros regímenes. A pesar de esto, no se alcanzaron cargas que puedan exceder a la máxima de diseño (120 kg/m<sup>2</sup>/día en cada espesador) como se esperaría. Durante los 8 días de análisis, solamente, en uno de ellos se obtuvo una carga másica de 100 kg/m<sup>2</sup>/día, siendo la única que se encuentra dentro del rango de diseño, resultando un valor atípico como se muestra en la Figura 6.



**Figura 6 Variación de la carga mássica según los regímenes de operación en un espesador**

Se pudo observar que el conjunto de espesadores (2 unidades) tiene un buen desempeño, aún si trabaja una sola unidad.

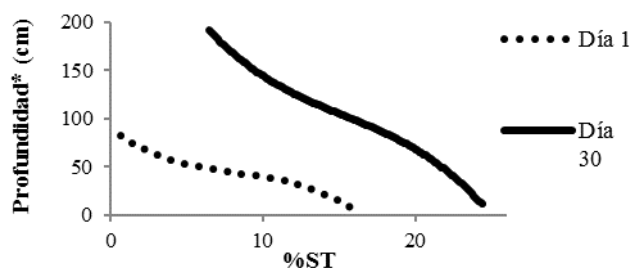


**Figura 7 Variación de carga hidráulica según los regímenes de operación**

Como se puede observar en la Figura 7, la carga hidráulica para cualquier régimen de operación es siempre menor al máximo de diseño ( $1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ ); por lo tanto, este parámetro sí cumple con lo esperado. También se puede comprobar que a pesar de que se trabaje con las dos dragas y un espesador, la unidad de espesamiento sigue funcionando correctamente.

### Perfiles de lodos al interior del espesador

En la Figura 8 se puede observar que la concentración de ST y la altura de lodos aumentan conforme pasan los días.

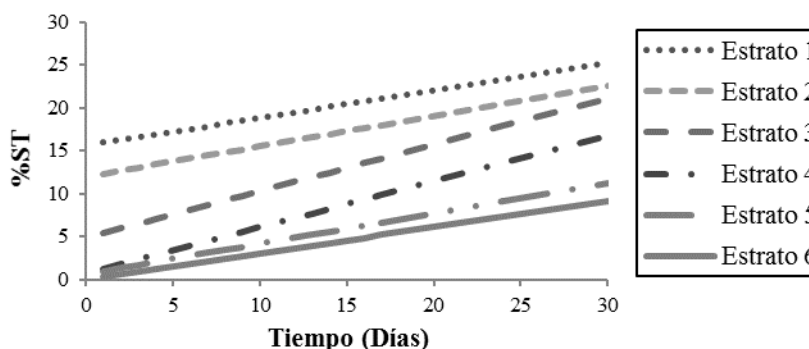


\*El 0 en esta escala corresponde una altura real de 80 cm por encima del fondo del espesador.

**Figura 8 Variación del %ST según la profundidad del estrato correspondiente al día 1 y día 30 de muestreo**

Se obtuvo una tasa de incremento de lodos en el fondo del espesador ( $\Delta L$ ) de 0,3%ST/día, independiente de la carga másica que entró al espesador. No se encontró ninguna relación entre el %ST, con el incremento de altura de lodos, puesto que éstos se compactan constantemente. Sin embargo, usando la Figura 8 para una concentración de ST dentro del espesador del 15% (US EPA, 2003) se pudo obtener un incremento de altura de aproximadamente 3 cm por día.

La Figura 9 que se muestra a continuación, representa una regresión lineal del incremento diario de concentración de ST en los diferentes estratos encontrados (cada estrato tiene una altura de 20 cm), en la cual se ve que conforme pasan los días, la concentración de ST tiene un  $\Delta L$  promedio de 0,4%ST/día (valor obtenido del promedio de las pendientes de los estratos). La pendiente ( $\Delta L$ ) de la recta correspondiente del primer estrato (entre los 80 a 100 cm) es de 0,3%ST/día, lo cual verifica lo expuesto anteriormente. Se encontró que la concentración de sólidos totales máxima es de 25%.



**Figura 9 Concentración de ST por estratos**

## CONCLUSIONES

Las cargas hidráulicas medias obtenidas resultaron siempre menores a la carga de diseño, concluyendo que el espesador tiene un buen desempeño, sin embargo como no se consiguió sobrepasar la carga de diseño, no fue posible saber si el espesador trabajará correctamente con cargas hidráulicas mayores.

La carga másica media, funcionando tanto los dos espesadores como uno solo, fue menor a la carga de diseño, determinando la alta dependencia en la operación de dragado y en la distribución de los lodos en las lagunas.

Los resultados obtenidos de la estratificación mostraron que se pueden alcanzar concentraciones de ST de 25% a 80cm del fondo del espesador, por lo tanto se espera que en el fondo del tanque se tenga concentraciones aún mayores, siendo todas estas mayores a la descrita en la literatura.

El comportamiento de los espesadores a gravedad para lodos de lagunas de estabilización es satisfactorio debido a que los resultados reflejan un alto porcentaje de retención de sólidos totales (80%), y una concentración en el sobrenadante de (700mg/l), cumpliéndose lo mencionado para cualquier régimen de operación. Sin embargo, la concentración de ST en el afluente y las cargas aplicadas estuvieron muy debajo de las de diseño, por lo que no se pudo conocer, si bajo estas cargas el espesador se desempeña correctamente.



En cuanto a la carga de ST y de DBO que regresa a las lagunas de estabilización, no es significativa con respecto a la carga del afluente de la PTAR, ya que representan tan sólo un 2,1% y 0,7%, respectivamente.

Los metales que retornan al sistema no están incidiendo en el proceso biológico de las lagunas.

## AGRADECIMENTOS

A ETAPA (Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable y Alcantarillado de Cuenca, Ecuador) por permitir realizar este estudio dentro de sus instalaciones. A FAPEMG (Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais) por el apoyo para el desarrollo de esta investigación y a CAPES/CNPq por la beca de estudios a la primera autora del artículo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DURAZNO, G. *Concentraciones de metales que inhibirían el proceso biológico*. . Cuenca: [s.n.], 2010.
2. DURAZNO, G. e DÍAZ, J. *Modelo de gestión para el manejo del sistema de extracción, deshidratación y disposición final de lodos de lagunas de estabilización*. Tesis - Cuenca. 2009.
3. ETAPA EP. *Instalación de tratamiento de lodos de la PTAR de Ucubamba (Memoria)*. . Cuenca: [s.n.], 2004.
4. KUMAR G., N. *Multicriteria Assessment of Alternative Sludge Disposal Methods*. Tesis - Glasgow. 2009.
5. METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. 4th. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 2003. p. 1819
6. VON SPERLING, M. *Lagoas de Estabilização*. 2nd. ed. Belo Horizonte: DESA-UFGM, 2002. p. 196.
7. US EPA. *Biosolids Technology Fact Sheet -Gravity Thickening*. . [S.l.: s.n.], 2003.