

## Determinación de las curvas de secado del lodo del sistema intermunicipal para los servicios de tratamiento y disposición de aguas residuales para los Municipios del Rincón, a Nivel Laboratorio

### Determination of the mud drying curves of the intermunicipal system for wastewater treatment and disposal services for the Municipalities of the Rincón, at the Laboratory Level

SOTO-ALCOCER, José Luis †\*, RIVERA-MOSQUEDA, Ma. Cruz, GONZÁLEZ-PONCE, María del Refugio y PEÑA-RAMÍREZ, Rafael

*Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Carr. Irapuato-Silao, El Copal, 36821 Irapuato, Gto*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *José Luis, Soto-Alcocer* / ORC ID: 0000-0003-3435-9057, Researcher ID Thomson: S-4783-2018, CVU CONACYT ID: 80822

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Ma. Cruz, Rivera-Mosqueda* / CVU CONACYT ID: 333557

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *María del Refugio, González-Ponce* / CVU CONACYT ID: 327208

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Rafael, Peña-Ramírez*

Recibido: 12 de Julio, 2018; Aceptado 30 de Agosto, 2018

#### Resumen

En este trabajo se plantea el estudio de curvas de secado del lodo proveniente del Sistema Intermunicipal para los Servicios de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales para los Municipios del Rincón (SITRATA), a nivel laboratorio, con el propósito fundamental de encontrar condiciones adecuadas que logren reducir la humedad del lodo producido en la planta, hacia valores que permitan su manejo para su disposición final. Para ello se empleó un secador bandejas tipo túnel (Armfield UOP8®), teniendo como variables independientes la velocidad del aire (1.5 m/s y 2.40 m/s) y (30 °C y 40 °C), como variable de respuesta se consideró la velocidad de secado, obteniéndose la configuración de velocidad de 2.40 m/s y temperatura de 40 °C la que arroja la mayor velocidad de secado para una misma cantidad de lodo (1000 g). Para concluir, se determinó la cantidad de calor requerido para llevar a cabo este proceso, a las condiciones de operación de ésta configuración.

#### Secado, Humedad, Lodo, Velocidad, Calor

#### Abstract

In this work the study of drying curves of the sludge coming from Intermunicipal System for Wastewater Treatment and Disposal Services for the Municipalities of the Rincon (SITRATA), at the laboratory level is proposed, with the fundamental purpose of finding suitable conditions that achieve reduce the humidity of the sludge produced in the plant, towards values that allow its management for its final disposal. To this end, a dryer tunnel trays (Armfield UOP8®) was used, having as independent variables the air speed (1.5 m / s and 2.40 m / s) and temperature (30 °C and 40 °C), the drying speed was considered as a response variable, obtaining the speed configuration of 2.40 m / s and temperature of 40 ° C, which gives the highest drying speed for the same amount of sludge (1000 g). To conclude, the amount of heat required to carry out this process was determined, to the operating conditions of this configuration.

#### Drying, Humidity, Sludge, Speed, Hot

**Citación:** SOTO-ALCOCER, José Luis, RIVERA-MOSQUEDA, Ma. Cruz, GONZÁLEZ-PONCE, María del Refugio y PEÑA-RAMÍREZ, Rafael. Determinación de las curvas de secado del lodo del sistema intermunicipal para los servicios de tratamiento y disposición de aguas residuales para los Municipios del Rincón, a Nivel Laboratorio. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2018 2-7:31-37

\* Correspondencia del Autor (correo electrónico: josoto@itesi.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

La planta del Sistema Intermunicipal para los Servicios de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales para los Municipios del Rincón (SITRATA) tiene una capacidad de diseño de 250 L/s de agua residual, y opera a un flujo promedio de 160 L/s, con una generación de lodos de 200 a 300 m<sup>3</sup> mensuales, con una humedad del 70 %, lo que representa 14 toneladas de lodo por día, bajo esas condiciones de operación como puede apreciarse en la Figura 1.



**Figura 1** Depósito de lodo residual de SITRATA

No obstante que la planta cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, el volumen de lodos generados representa un desafío para su disposición, debido a la cantidad que representa y al contenido de humedad; se ha considerado el secado mediante aire caliente para su deshidratación.

## Justificación

Las plantas de tratamiento de aguas cuentan con dos trenes, el tren de aguas y el tren de lodos; La disposición de los lodos resulta un gran problema, ya que se requieren grandes superficies de terreno o transportarlos a un sitio autorizado. Además del gran requerimiento de superficie, otros problemas son la vida útil del sitio y el manejo y tratamiento de los lixiviados ahí generados (Limón-Macías, 2013).

Por otro lado, también representan un área de oportunidad, pues pueden aprovecharse por su contenido de nutrientes como abono para plantas de talle corto como el rábano, o de talle largo como el maíz (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2017); o pueden aprovecharse para el crecimiento de algas (Aguilar-Centeno *et al.*, 2017) o deshidratarse mediante un proceso de secado para reducir su volumen, para su disposición.

Para lograr esto último, es preciso averiguar las condiciones de temperatura y velocidad del secador que permitan un menor tiempo de secado del lodo a nivel laboratorio, como estudio preliminar.

## Hipótesis

Las condiciones de velocidad y temperatura del aire en un secador de bandejas tipo túnel influyen en el tiempo de secado del lodo de la PTAR de SITRATA.

## Objetivo General

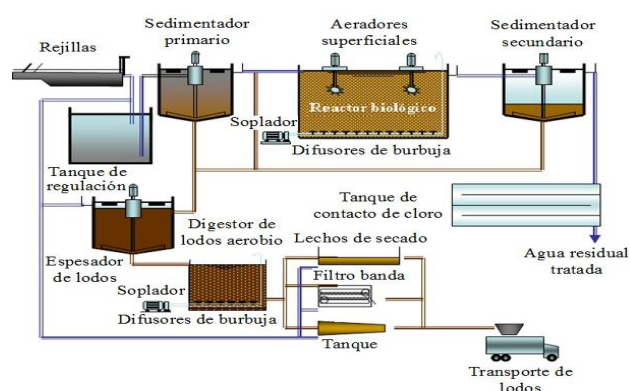
Determinar las curvas de secado del lodo de la planta de tratamiento de aguas SITRATA a distintas condiciones de operación a nivel laboratorio.

## Objetivos Específicos

- Investigar la influencia de la velocidad del aire en el tiempo de secado del lodo a temperatura fija.
- Investigar la influencia de la temperatura del aire en el tiempo de secado del lodo con velocidad fija de aire.
- Determinar la humedad crítica del lodo y de la humedad de equilibrio.

## Marco Teórico

El proceso de tratamiento del agua residual se puede dividir en cuatro etapas: pretratamiento, primaria, secundaria y terciaria. Algunos autores llaman a las etapas preliminar y primaria unidas como etapa primaria (Zhanga *et al.*, 2016; Ahmad *et al.*, 2017). En la Figura 2, puede apreciarse un diagrama convencional de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).



**Figura 2** Tren de tratamiento de agua y lodos de una PTAR

Fuente: Ramírez-González, 2015

SOTO-ALCOCER, José Luis, RIVERA-MOSQUEDA, Ma. Cruz, GONZÁLEZ-PONCE, María del Refugio y PEÑA-RAMÍREZ, Rafael. Determinación de las curvas de secado del lodo del sistema intermunicipal para los servicios de tratamiento y disposición de aguas residuales para los Municipios del Rincón, a Nivel Laboratorio. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2018

En cada una de las etapas primaria, secundaria y terciaria hay generación de lodos. Los lodos están formados por sustancias contaminantes y peligrosas para la salud, por ese motivo deben ser tratados.

Los lodos extraídos de los procesos de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales tienen un contenido en sólido que varía entre el 0.25 y el 12 % de su peso (Ledesma *et al.*, 2014).

Para su disposición el lodo extraído de cada una de las etapas señaladas debe ser estabilizado. La estabilización de los lodos tiene el objetivo de: reducir la presencia de patógenos; eliminar los olores desagradables; y, reducir o eliminar su potencial de putrefacción (Deng *et al.*, 2016).

Las técnicas más utilizadas para la estabilización de los lodos son: la digestión aerobia; la digestión anaerobia; la estabilización con cal; el tratamiento térmico; y, el compostaje (Sandoval-Torres *et al.*, 2012; Effendi, 2016).

El lodo estabilizado contiene hasta un 70 % de humedad, para manipularlo más fácilmente, puede deshidratarse mediante un proceso de secado para reducir su volumen.

El secado se puede definir como un proceso en que hay intercambio simultáneo de calor y masa, entre el aire del ambiente de secado y el sólido. Dos procesos ocurren simultáneamente cuando un sólido húmedo es sometido a un secado térmico (Li *et al.*, 2015).

1. Hay transferencia de energía (calor) de los alrededores para evaporar la humedad de la superficie.
2. Hay transferencia de la humedad interna hacia la superficie del sólido. De estos dos procesos dependerá la rapidez con la cual el secado se lleve a cabo.

### Metodología

Para la obtención de las curvas de secado del lodo de la planta de tratamiento de aguas SITRATA, se utilizó el secador de bandejas tipo túnel Armfield UOP8<sup>®</sup>, el cual puede observarse en la Figura 3

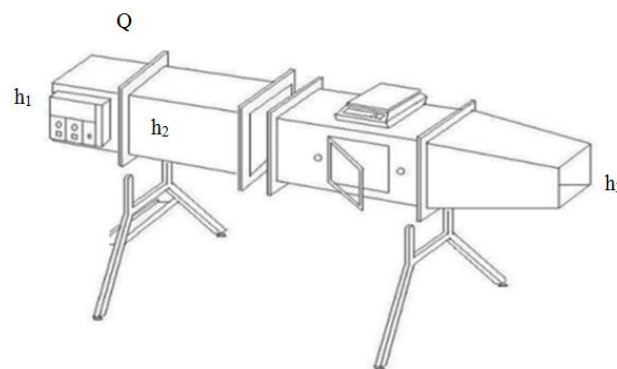


Figura 3 Secador de bandejas Armfield UOP8<sup>®</sup>

El secador se calibró para las temperaturas nominales ( $T_i$ ) de 5 y 10 y velocidad del aire ( $v_i$ ) de 5 y 10 resultando las configuraciones de temperatura y velocidad mostradas en la Tabla 1, para el diseño experimental.

i	$T_i$ Nominal	$T_i$ Real (°C)	$v_i$ del aire Nominal	$v_i$ Real (m/s)
1	5	30	5	1.5
2	10	40	5	1.5
3	5	30	10	2.4
4	10	40	10	2.4

Tabla 1 Diseño experimental

Tomando en consideración la tabla anterior se tomaron como variables independientes la temperatura ( $T$ ) y la velocidad del aire del secador ( $v$ ), como variable dependiente se tomó la velocidad de secado, cada uno de los experimentos se repitió en tres ocasiones, reportándose los valores promedio de cada configuración.

La cantidad de masa introducida en el secador fue de 1000 g, colocándose 250 g en cada bandeja de acuerdo a las especificaciones del equipo, el área de transferencia de calor ( $A$ ) se midió resultando de 233.75 cm<sup>2</sup>.

Posteriormente se registró la pérdida de peso en intervalos de tiempo regulares, para calcular la humedad  $X$  como función del tiempo, de acuerdo a:

$$X = \frac{W - W_S}{W_S} \quad (1)$$

Donde:

$X$ : Humedad (g de agua/g de sólido seco)

$W$ : Peso de la muestra húmeda (g)

$W_S$ : Peso de la muestra seca (g)

Para el cálculo de la velocidad de secado se empleó la expresión dada por Geankoplis (2006):

$$R = -\frac{L_S \Delta X}{A \Delta t} \quad (2)$$

En donde:

R: Velocidad de secado (g de H<sub>2</sub>O/min·cm<sup>2</sup>)

L<sub>S</sub>: Peso del sólido seco (g)

A: Área de transferencia (cm<sup>2</sup>)

Para el cálculo del flujo másico de aire se efectuó un balance de agua en el secador; resultando la expresión dada por:

$$\dot{m}_{aire}(H_3 - H_1) = \dot{m}_{H_2O} \quad (3)$$

Donde:

$\dot{m}_{aire}$ : Flujo másico de aire (lb de aire/h)

$\dot{m}_{H_2O}$ : Flujo másico de agua (lb de aire/h)

H<sub>3</sub>: Humedad del aire a la salida del secador (lb de H<sub>2</sub>O/lb de aire seco)

H<sub>1</sub>: Humedad del aire a la entrada del secador (lb de H<sub>2</sub>O/lb de aire seco)

En el cálculo de la energía requerida se empleó la expresión definida por Perry *et al.* (1992):

$$Q = h_1 - h_2 \quad (4)$$

Donde:

Q: Calor requerido (btu/lb aire seco)

h<sub>1</sub>: Entalpía a la entrada del secador (btu/lb aire seco)

h<sub>2</sub>: Entalpía a la salida del calentador eléctrico del secador (btu/lb aire seco)

Las propiedades del aire; temperatura de bulbo seco, T<sub>S</sub> (°F); temperatura de bulbo húmedo, T<sub>h</sub> (°F); humedad, H (lb agua/lb de aire seco); entalpía de saturación, h<sup>s</sup> (btu/lb aire seco); desviación de entalpía, D (btu/lb aire seco); para cada punto del secador mostrado en la Figura 3; se consultaron en las tablas de Perry *et al.* (1992), para el cálculo del balance de energía, dado por la Ecuación (3)

## Resultados

### Configuración T=5, v=5

Tomando en cuenta la Tabla 1, para la temperatura nominal de 5 (30 °C) y velocidad nominal de 5 (1.5 m/s), los resultados correspondientes a la pérdida de humedad X (g de H<sub>2</sub>O/g de sólido seco) en función del tiempo y la velocidad de secado R (g de H<sub>2</sub>O/min·cm<sup>2</sup>), se pueden observar en la Tabla 2, L<sub>S</sub> es el peso constante alcanzado en cada configuración.

T=5, v=5				
i	t (min)	W (g)	X	R
1	0	1000.00	1.5000	0.0043
2	30	970.00	1.4250	0.0057
3	60	930.00	1.3250	0.0017
4	90	918.00	1.2950	0.0030
5	120	896.67	1.2417	0.0023
6	150	880.67	1.2017	0.0048
7	180	846.67	1.1167	0.0024
8	210	829.67	1.0742	0.0039
9	240	802.67	1.0067	0.0030
10	270	781.33	0.9533	0.0035
11	300	756.67	0.8917	0.0038
12	330	730.33	0.8258	0.0034
13	360	706.67	0.7667	0.0039
14	390	679.33	0.6983	0.0022
15	420	664.00	0.6600	0.0055
16	450	625.33	0.5633	0.0039
17	480	598.00	0.4950	0.0044
18	510	567.00	0.4175	0.0034
19	540	543.33	0.3583	0.0041
20	570	514.67	0.2867	0.0035
21	600	490.33	0.2258	0.0030
22	630	469.00	0.1725	0.0027
23	660	450.00	0.1250	0.0029
24	690	430.00	0.0750	0.0043
25	720	400.00	0.0000	0.0000

Tabla 2 Datos de secado para T=5, v=5

El comportamiento de la velocidad de secado R vs la pérdida de humedad X se muestra en el Gráfico 1.

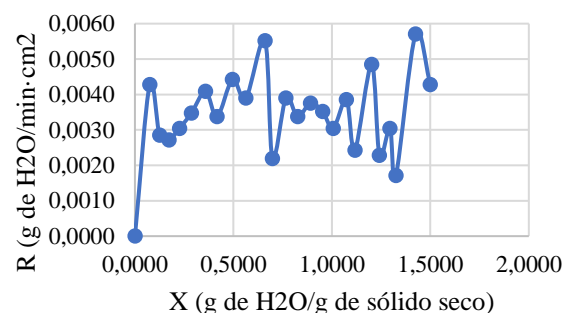


Gráfico 1 R vs X para T=5, v=5

El contenido de humedad crítica  $X_c$ , valor para el cual la velocidad  $R$  comienza a disminuir, conocido como el periodo de velocidad decreciente, tiene un valor de 0.0750; como puede observarse en el Gráfico 1 y un valor de  $R$  promedio de 0.0036, conocido como el periodo de velocidad constante.

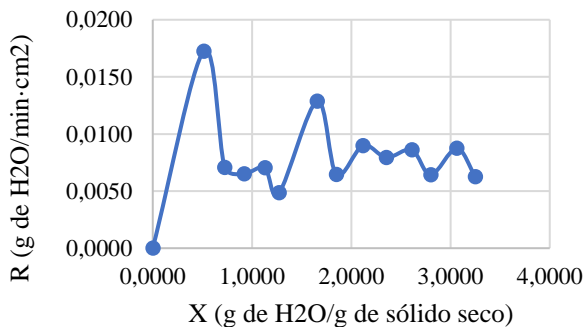
**Configuración  $T=10, v=5$**

Los datos de velocidad de secado a la configuración de  $T=10$  (40 °C) y  $v=5$  (1.5 m/s), se muestran en la Tabla 3.

<b><math>T=10, v=5</math></b>				
$i$	$t$ (min)	$W$ (g)	$X$	$R$
1	0	1000.00	3.2494	0.0063
2	30	956.00	3.0624	0.0087
3	60	894.67	2.8018	0.0064
4	90	849.67	2.6105	0.0086
5	120	789.33	2.3541	0.0079
6	150	733.67	2.1176	0.0090
7	180	670.67	1.8499	0.0065
8	210	625.33	1.6572	0.0129
9	240	535.00	1.2734	0.0048
10	270	501.00	1.1289	0.0070
11	300	451.67	0.9193	0.0065
12	330	406.00	0.7252	0.0071
13	360	356.33	0.5142	0.0173
14	390	235.33	0.0000	0.0000

**Tabla 3** Datos de secado para  $T=10, v=5$

El Gráfico 2 muestra el comportamiento de  $R$  vs  $X$ , con un valor de  $X_c$  de 0.5142 y una  $R$  promedio de 0.0084.



**Gráfico 2**  $R$  vs  $X$  para  $T=10, v=5$

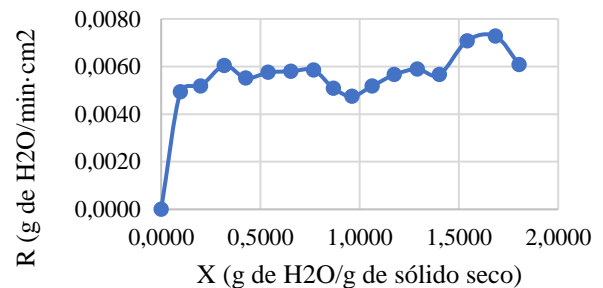
**Configuración  $T=5, v=10$**

En la en la Tabla 4 se muestran los datos de velocidad de secado para la configuración de  $T=5$  (30 °C) y  $v=10$  (2.4 m/s).

<b><math>T=5, v=10</math></b>				
$i$	$t$ (min)	$W$ (g)	$X$	$R$
1	0	1000.00	1.8037	0.0061
2	30	957.33	1.6841	0.0073
3	60	906.33	1.5411	0.0071
4	90	856.67	1.4019	0.0057
5	120	817.00	1.2906	0.0059
6	150	775.67	1.1748	0.0057
7	180	736.00	1.0635	0.0052
8	210	699.67	0.9617	0.0048
9	240	666.33	0.8682	0.0051
10	270	630.67	0.7682	0.0058
11	300	589.67	0.6533	0.0058
12	330	549.00	0.5392	0.0058
13	360	508.67	0.4262	0.0055
14	390	470.00	0.3177	0.0060
15	420	427.67	0.1991	0.0052

**Tabla 4** Datos de secado para  $T=5, v=10$

El contenido de humedad crítica tiene un valor de 0.0972 y el periodo de velocidad constante ocurre a una  $R$  promedio de 0.0057, como se observa en el Gráfico 3.



**Gráfico 3**  $R$  vs  $X$  para  $T=5, v=10$

**Configuración  $T=10, v=10$**

En la Tabla 5 pueden observarse los datos de velocidad de secado para la configuración de  $T=10$  (40 °C) y  $v=10$  (2.4 m/s)

<b><math>T=10, v=10</math></b>				
$i$	$t$ (min)	$W$ (g)	$X$	$R$
1	0	1000.00	2.4325	0.0135
2	30	905.00	2.1064	0.0233
3	60	741.33	1.5446	0.0128
4	90	651.67	1.2369	0.0131
5	120	560.00	0.9222	0.0097
6	150	492.00	0.6888	0.0105
7	180	418.67	0.4371	0.0090
8	210	335.67	0.2208	0.0051
9	240	319.67	0.0973	0.0040
10	270	291.33	0.0000	0.0000

**Tabla 5** Datos de secado para  $T=10, v=10$



De acuerdo al Gráfico 4 el contenido de humedad crítica refleja un valor de 0.4371 y un valor de  $R$  promedio para el periodo de velocidad constante de 0.0131.

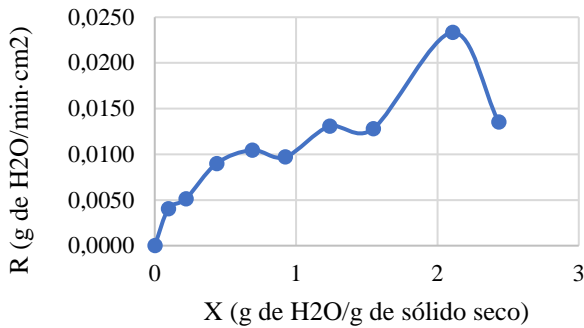


Gráfico 4 R vs X para  $T=10$ ,  $v=10$

El resumen de resultados correspondientes al contenido de humedad crítica  $X_C$  (g de H<sub>2</sub>O/g de sólido seco) y el valor de  $R$  promedio (g de H<sub>2</sub>O/min·cm<sup>2</sup>) del periodo de velocidad constante, se muestran en la Tabla 6.

i	$T_i$ Real (°C)	$v_i$ Real (m/s)	$X_C$	$R$
1	30	1.5	0.0750	0.0036
2	40	1.5	0.5142	0.0084
3	30	2.4	0.0972	0.0057
4	40	2.4	0.4371	0.0131

Tabla 6 Resumen de resultados

### Cantidad de Aire Requerido y Balance de Energía

Atendiendo a la Figura 3 se determinaron las propiedades del aire en la entrada del secador (punto 1), a la salida del calentador (punto 2) y a la salida del secador (punto 3) resumidos en la Tabla 7 en el sistema Inglés, donde  $h_1=h_1'+D$ .

De acuerdo a la Tabla 5 la cantidad de agua eliminada es de 708.67 g (1.5609 lb), en un tiempo de 270 min (4.5 h), el flujo de masa  $\dot{m}_{H_2O}$  es de 0.3469 lb/h. Con el empleo de la Ecuación (3) y la Tabla 7, el flujo de aire requerido para secar 1000 g de lodo es de  $\dot{m}_{aire}$  es de 84.6098.

El balance de energía se realizó para la configuración que manifestó la máxima velocidad de secado en este caso  $T=40$  °C y  $v=2.4$  m/s. Haciendo uso de los datos de la Tabla 7 y la Ecuación (4) la cantidad de calor  $Q$  resulta de 609.1906 btu/h o 178.5355 W.

Propiedades	Punto 1	Punto 2	Punto 3
$T_s$ (°F)	75	104	104
$T_h$ (°F)	65	74	80
$H$ (lb H <sub>2</sub> O/lb aire seco)	0.0110	0.0110	0.0151
$h_1'$ (btu/lb aire seco)	30.1	37.5	43.5
$D$ (btu/lb aire seco)	-0.1	-0.3	-0.28
$h_1$ (btu/lb aire seco)	30	37.2	43.22

Tabla 7 Propiedades del aire

### Conclusiones

El lodo de la planta del Sistema Intermunicipal para los Servicios de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales para los Municipios del Rincón puede reducir su humedad a nivel laboratorio mediante secado desde un 70.8667 % hasta un 8.8672 % de acuerdo a la Tabla 5.

Teniendo en cuenta los resultados de la Tabla 6, para una misma temperatura la velocidad de secado aumenta al aumentar la velocidad del aire.

Considerando la misma tabla para una misma velocidad de aire, la velocidad de secado aumenta, al aumentar la temperatura.

Continuando con la misma tabla, el contenido de humedad crítica es similar tratándose de una misma temperatura.

La mayor velocidad de secado ocurre en la configuración de  $T=10$  (40 °C) y  $v=10$  (2.4 m/s), es decir a la máxima temperatura y a la máxima velocidad proporcionados por el secador.

Los estudios realizados brindan información relevante para determinar condiciones adecuadas a nivel industrial.

Como estudios posteriores se sugieren realizar pruebas de secado solar, dado el coste energético requerido, aumentando la cantidad de masa de lodo.

Es pertinente el escalamiento de un secador para tratar la cantidad de lodos producidos por la planta de tratamiento de aguas.

Ahora bien, como se persigue la reducción del volumen de lodo y su reutilización en cultivos de talle corto y de talle largo, o su uso para el crecimiento algal, es importante considerar el estudio microbiológico y de nutrientes después de ser sometidos al proceso de secado.

## Agradecimientos

El Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, agradece al Ing. Diego Isaac Dávila Cano, Director General de Sistema Intermunicipal para los Servicios de Tratamiento de Aguas Residuales para los Municipios del Rincón (SITRATA) y a todo el personal de la planta, por el apoyo brindado para la realización de este proyecto (Convenio ITESI/CONVENIOS/240-2017).

## Referencias

- Aguilar-Centeno, F. S., Urrutia-Negrete, J. T., & Ayala-Islas, A. (2017). Análisis de Parámetros de Operación para el Desarrollo de una Ficocelda para Fines Energéticos. *Jóvenes en la Ciencia*, 3(2), 334-339.
- Ahmad, T., Ahmad, K., & Alam, M. (2017). Characterization of Water Treatment Plant's Sludge and its Safe Disposal Options. *ELSEVIER*, 35, 950-955.
- Deng, W., Su, Y., & Yu, W. (2016). Theoretical Calculation of Heat Transfer Coefficient When Sludge Drying in a Nara-Type Paddle Dryer Using Different Heat Carriers. *ELSEVIER*, 18, 709 – 715.
- Effendi, H. (2016). River Water Quality Preliminary Rapid Assessment Using Pollution Index. *ELSEVIER*, 33, 562-567.
- Geankoplis, C. J. (2006). *Procesos de Transporte y Principios de Procesos de Separación* (4ª ed.). México, México: CECSA.
- Hernández-Rodríguez, J. J., Rivera-Mosqueda, M. C., & Arellano-Elizarraraz, R. (2017). Análisis de Biosólidos para su Uso Agrícola en una Hortaliza. *Jóvenes en la Ciencia*, 3(2), 340-344.
- Ledesma-Ruiz, R., Pastén-Zapata, E., Parra, R., Harter, T., & Mahlkecht, J. (2014). Investigation of the Geochemical Evolution of Groundwater Under Agricultural Land: A Case Study in Northeastern Mexico. *ELSEVIER*, 521, 410-423.
- Li, J., Plougonven, E., Fraikin, L., Salmon, T., Toyé, D., Nistajakis, E., & Leonard, A. (2015). Multiscale Structure Characterization of Sawdust-Waste Water Sludge Extrudates Dried in a Pilot-Scale Fixed Bed. *ELSEVIER*, 81, 98-107.
- Limón-Macías, J. G. (2013, 8 julio). Los Lodos de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales ¿Problema o Recurso? Recuperado 20 junio, 2018, de [http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc\\_ingreso\\_gualberto\\_limón\\_trabajo\\_de\\_ingreso.pdf](http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limón_trabajo_de_ingreso.pdf).
- NOM-004-SEMARNAT-2002, (2003). Protección Ambiental.- Lodos y Biosólidos.- Especificaciones y Límites Máximos Permisibles de Contaminantes para su Aprovechamiento y Disposición Final. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Perry, R. H., Green, D. W., Maloney, J. O. (1992). Psicometría, Enfriamiento por Evaporación, Refrigeración y Procesos Criogénicos. En *Manual del Ingeniero Químico*. (III, 12-1-12-63). México, México: Mc Graw-Hill.
- Ramírez-González, A. (2015). *Evaluación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales* (Ed. rev.). Jiutepec, Mor., México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Sandoval-Torres, S., Hernández-Bautista, E., & Rodríguez-Ramírez, J. (2012). Simulación Multi-Física del Secado de Madera en COMSOL Multiphysics 3.4. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 14, 389-398.
- Zhanga, Y., Collinsa, A. L., Johnsb, P. J., & Jonesc, J. I. (2016). Projected Impacts of Increased Uptake of Source Control Mitigation Measures on Agricultural Diffuse Pollution Emissions to Water and Air. *ELSEVIER*, 62, 185-201.