

- 1.96 MWh/m<sup>2</sup>, por lo que posee un potencial solar muy rentable de acuerdo con la clasificación de la Organización Latinoamericana de Energía OLADE, la cual menciona que radiaciones anuales promedio radiaciones solares mayores de 4,0 kWh/m<sup>2</sup>/día son rentables y de 5,0 kWh/m<sup>2</sup>/día muy rentable. Los valores de irradiación más altos corresponden a los meses de Diciembre – Febrero.
- d) Se recomienda un ángulo de inclinación de 10° orientado al norte con el cual se obtiene una ganancia del 2.5% de radiación solar
- e) Se observa que la ganancia obtenida al utilizar un seguidor solar de un eje es menos del 6% por lo que recomendamos realizar un estudio de la factibilidad de su uso en instalaciones de sistemas fotovoltaicos para Lambayeque.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abal, G. (2012). *Fundamentos de Energía Solar: Radiación Solar*. Instituto de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad de la Republica.
- ABB. (2011). Cuaderno de Aplicaciones Prácticas Nro 10 Plantas fotovoltaicas. En ABB, *Cuaderno de Aplicaciones Prácticas*. España: ABB.
- Arrieta, M., Olmos, L., Izquierdo, J., & Alvarez, R. (2012). Design of an solarphotovoltaic system prototype optimizing the slope angle. *Prospect*, 10(1), 97-107.
- Bristow, K., & Campbell, G. (1984). On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 31(2), 159-166.
- Cooper, P. I. (1969). The absorption of radiation in solar stills. *Sol Energy*, 12, 333-346.
- da Silva, C., da Silva, V., Júnior, J., & Carvalho, H. (2011). Radiação solar estimada com base na temperatura do ar para três regiões de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(3), 281-288.
- Hargreaves, G., & Samani, Z. (1982). Estimating Potential Evapotranspiration. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 108(3), 225-230.
- Kaplanis, S., & Kaplani, E. (2007). A model to predict expected mean and stochastic hourly global solar radiation values. *Renewable Energy*, 32(8), 1414-1425.

doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2006.06.014>

Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259-263. doi:10.1127/0941-2948/2006/0130

Morales-Acevedo, A. (1996). *La electricidad que viene del sol. Una fuente de energía limpia*. Ciudad de México: Grupo Editorial Iberoamericana.

NASA, A. S. (22 de Marzo de 2017). *Surface meteorology and Solar Energy*. (NASA) Recuperado el 15 de Febrero de 2017 , de

<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?skip@larc.nasa.gov>

SENAMHI. (15 de Setiembre de 2016). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI*. (Ministerio del Ambiente del Perú) Recuperado el 3 de Marzo de 2017, de <http://www.senamhi.gob.pe>

Spencer, J. W. (1971). Fourier series representation of the position of the sun. *Search*, 2(5), 172. Obtenido de <http://www.citeulike.org/user/pbett/article/13208903>

Torrez, R., Burgoa, A., & Ricaldi, E. (2013). Modelos de estimación de la radiación solar para el altiplano central de Bolivia. *Revista Boliviana de Física*, 23, 1-7.

## Medición del Coeficiente de Transferencia de Oxígeno en el Tratamiento de Aguas Residuales

*Isis C Córdova B<sup>1</sup>, Teresa O Barrios M<sup>2</sup>, Pedro, Córdova M<sup>2</sup>*

### Resumen

La investigación tiene el propósito de realizar la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno en el tratamiento de aguas residuales, siendo una alternativa que los sistemas biológicos aerobios requieren del suministro de oxígeno para que los microorganismos puedan oxidar la materia orgánica hasta  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , que en presencia de Oxígeno, actúan sobre la materia orgánica e inorgánica disuelta, suspendida y coloidal existente en el agua residual, transformándola en gases y materia celular, que puede separarse fácilmente mediante sedimentación, se ha observado que el biorreactor biológico convencional conduce a inconvenientes asociados a la limitación de oxígeno. El sistema permite incrementar la velocidad de transferencia del oxígeno desde la fase gaseosa a la fase líquida, superando la limitación de oxígeno, para predecir la transferencia de oxígeno a través del cálculo del coeficiente global de transferencia de oxígeno ( $K_{La}$ ).

**Palabras clave:** aireador externo, coeficiente de transferencia de oxígeno ( $K_a$ ), agua residual.

### Measurement of the Oxygen Transfer Coefficient in Wastewater Treatment

#### Abstract

The research aims to measure the oxygen transfer coefficient in the treatment of wastewater, being an alternative that aerobic biological systems require the oxygen supply so that the microorganisms can oxidize the organic matter to  $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{O}$ , Which in the presence of oxygen act on the dissolved organic matter and inorganic suspended and colloidal in the waste water, transforming it into gases and cellular matter, which can be easily separated by sedimentation, it has been observed that the conventional biological bioreactor leads to inconveniences. The system allows to increase the transfer rate of oxygen from the gas phase to the liquid phase, exceeding the limitation of oxygen, to predict the oxygen transfer through the calculation of the overall oxygen transfer coefficient ( $K_{La}$ ).

**Key words:** external aerator, oxygen transfer coefficient ( $K_{La}$ ), residual water.

*Docente de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Ica. [1isiscordovabarrios@hotmail.com](mailto:1isiscordovabarrios@hotmail.com).*

*<sup>2,3</sup>Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad Nacional "San Luis Gonzaga, Ica. [2obarriosm17@yahoo.es](mailto:2obarriosm17@yahoo.es)  
[pedrocordovamendoza@hotmail.com](mailto:pedrocordovamendoza@hotmail.com)*

## INTRODUCCIÓN

Con el propósito de conocer el efecto de estos factores sobre la transferencia de oxígeno, se han desarrollado diferentes trabajos para evaluar la incidencia de cada factor buscando mejorar los procesos de transferencia de oxígeno, logrando en algunos casos superar las limitaciones a las que los microorganismos se encuentran expuestos en los diseños convencionales (García-Ochoa y Gómez, 2009). La transferencia de oxígeno mediante aeración y/o aireación, es una operación unitaria que juega un papel primordial en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales (Herrera et al. 2006). El uso de la aireación en el tratamiento de aguas residuales es bastante común, este puede ser utilizado en sistemas de lodos activados, tanque de homogenización, lagunas aireadas (Castro, 2010). La demanda de oxígeno en el sistema puede ser menor que el que se requiere para cumplir con el criterio de mezcla completa (Martínez-Rodríguez, 2005).

La investigación mostró resultados favorables, siendo la medición del  $K_{LA}$  importante en un cultivo microbiano aerobio dentro de un biorreactor, donde se analiza la transferencia de  $O_2$  de las burbujas de aire provenientes de un aireador a las células bacterianas, además se estudia el balance de Oxígeno en el cultivo para mantener las

condiciones aptas para las células. (<https://www.youtube.com/watch?v=kBII0ktgcQo>, 2018 ).

La costa peruana concentra más del 60% de la población, pero solo cuenta con el 2.2% del total de agua que se produce en el país y la disponibilidad del recurso hídrico es de 2.2%, por esta razón, tenemos que buscar nuevas fuentes, una de las cuales es el agua residual" (Diario Gestión, 2015).

Chávez, M. (2004). En la actualidad, el tratamiento de las aguas residuales industriales ha adquirido mayor importancia, ya que el mismo permite que el impacto ambiental de las industrias se disminuya y que la contaminación producida se encuentre dentro de los límites aceptables.

Buitrago et al. (2013). En el cultivo de microorganismos aerobios se ha observado que los biorreactores convencionales conducen a inconvenientes asociados a la limitación de oxígeno Para dar solución a esta problemática se diseñó, construyó y evaluó un prototipo de biorreactor con aireador externo. Este sistema permitió incrementar la velocidad de transferencia del oxígeno desde la fase gaseosa a la fase líquida, superando la limitación de oxígeno.

Como objetivo principal para la investigación fue, verificar que la medición

del coeficiente de transferencia de oxígeno permite una mejor eficiencia en el

tratamiento de aguas residuales.

## METODOLOGÍA

Se tomaron muestras de la laguna de oxidación del Distrito de Guadalupe, en la Provincia de Ica y Región de Ica. La investigación propuesta será de tipo experimental, apoyada por investigación de campo y bibliográfica, de carácter descriptivo con un enfoque cualitativo y cuantitativo.

### **Recopilación bibliográfica:**

Se realizó la recopilación bibliográfica con el fin de acceder a información que nos guíe en los procedimientos que se deberán seguir en la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno en el tratamiento de aguas residuales.

*Demanda bioquímica de oxígeno:* Es la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias para descomponer la materia orgánica en condiciones aerobias. Puede considerarse como un procedimiento en el cual los organismos vivos sirven como medio para la oxidación de la materia orgánica hasta dióxido de carbono y agua. El análisis se realizó a 20°C y durante cinco días, por esto se denomina: DBO<sub>5</sub>, (Ferrer et al, 2008).

*Demanda química de oxígeno:* La DQO mide el oxígeno equivalente de sustancias orgánicas en una muestra acuosa que es susceptible a la oxidación por dicromato de potasio en una solución de ácido sulfúrico del agua residuales, sus características y la forma en que se tomaron las muestras, (Ramírez et al. 2008).

*Tratamiento secundario – Proceso biológico:* Se utilizan para convertir la materia orgánica que se encuentra finamente dividida y disuelta en el agua residual en sólidos sedimentables floculantes que puedan separarse en tanques de sedimentación, (García, 2006). En un tratamiento biológico, las bacterias activas y otros microorganismos destruyen y metabolizan las materias orgánicas solubles y coloidales, reduciendo la DBO y la DQO a valores inferiores a 100 mg/l. La velocidad de degradación depende de que se hallen presentes los microorganismos adecuados, (Vásquez et al., 2003).

*Procesos de Oxidación Biológica:* La oxidación biológica es el mecanismo mediante el cual los microorganismos degradan la materia orgánica contaminante

del agua residual. De esta forma, estos microorganismos se alimentan de dicha materia orgánica en presencia de oxígeno y nutrientes, de acuerdo con la siguiente reacción: *Materia orgánica + Microorganismos + Nutrientes + O<sub>2</sub> → Productos Finales + Nuevos microorganismos + Energía*

**Tratamiento Aerobio:** La biomasa está constituida por microorganismos aerobios o facultativos, consumidores de oxígeno. El carbono de la materia orgánica disuelta en el agua se convierte parcialmente en CO<sub>2</sub>, con producción de energía, (Arnaiz et al, 2000)

**Proceso de lodos activos:** Ha sido utilizado para el tratamiento de aguas residuales tanto industriales como urbanas desde hace aproximadamente un siglo, su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia.

**Aireación Prolongada:** Es disminuir la cantidad de lodo residual. Aumentando el tiempo de residencia y por ende el volumen del reactor.

**Reactores aerobios:** La velocidad de transferencia de masa de oxígeno (Martínez et al., 2005), en un biorreactor aerobio es importante por cuanto dicho valor determinara la productividad del sistema.

**Coefficiente de transformación (f):** El coeficiente de transformación *f*, se utiliza para caracterizar los tipos de agua residual e indicar su biodegradabilidad. Utilizamos *f* como una relación de la DBO<sub>5</sub> y la DQO, (Gil, 2005), ver Tabla 1.

$$f = \frac{DBO_5}{DQO}$$

**Tabla 1.**  
*Coefficientes de Transformación*

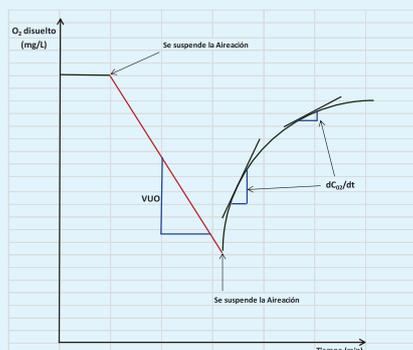
<b>f</b>	<b>Tipo de Agua Residual</b>	<b>Biodegradabilidad</b>
> 0.7	Urbanas Puras	Muy biodegradables
0.2 a 0.7	Industriales	Biodegradables
< 0.2	Industriales	No biodegradables

**Medición del Coeficiente de Transferencia de Oxígeno (K<sub>La</sub>):** (Erazo et al. 2001). La prueba se realiza en un reactor aireado de lodos activados suspendidos en agua residual. Consiste en suspender la aireación en el sistema, permitiendo que la concentración de oxígeno disuelto disminuya debido al consumo de microorganismos. Esto nos permita evaluar la velocidad de utilización o consumo de oxígeno (VUO), ya que se mide la caída en la concentración de O<sub>2</sub> disuelto, en función del tiempo. Inmediatamente después, se restablece la aireación.

$$\frac{\partial c_{O_2}}{\partial t} = \underbrace{k_L a_r (c_{sr} - c_L)}_{\text{su min istro de } O_2} - \underbrace{VUO}_{\text{consumo de } O_2}$$

$$\frac{\partial c_{O_2}}{\partial t} = (k_L a_r * c_{sr} - VUO) - k_L a_r * c_L$$

*Velocidad de Utilización de Oxígeno (VUO):* (Martínez et al. 2005), es la velocidad de utilización de oxígeno, esto es el oxígeno consumido por día por unidad de volumen del reactor.



**Figura 1.** Variación de la Concentración de Oxígeno Disuelto en Reactor de Lodos Activados, al suspender y restablecer la aireación

**Bacterias:** Pueden ser autótrofas o heterótrofas. En procesos de lodos activos normalmente las bacterias constituyen el 95 % del material celular (biomasa). La temperatura del medio es importante para el crecimiento bacteriano y de otros organismos, cada especie de bacterias se desempeña mejor dentro de cierto rango de temperatura, fuera de estas temperaturas su actividad es afectada apreciablemente, como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Clasificación de bacterias según el rango de temperatura. (Lourdes, 2012)

Clasificación	Rango de Temperatura, °C	Optimo, °C
Psicrofilas	-5 a 30	10 a 20
Mesófilas	10 a 45	20 a 40
Termófilas	50 a 60	25 a 80

### **Investigación experimental:**

En la investigación experimental se establecen las siguientes fases para el sistema de tratamiento de las aguas residuales municipales. Caracterización inicial de las aguas residuales. Análisis de los procesos que se pueden emplear para el tratamiento del agua residual:

- ✓ Construcción del equipo a escala de laboratorio.
- ✓ Desarrollo experimental (Tratamiento Biológico).
- ✓ Caracterización final del efluente luego del tratamiento.
- ✓ Evaluación de los resultados.

### **Enfoque Cualitativo:**

Se observara los efectos contaminantes que producen las aguas municipales en la laguna de oxidación y como estos podrían intervenir en el tratamiento de las aguas residuales. (Bernal et al., s/f)

### **Enfoque Cuantitativo:**

Se realizará el tratamiento del agua residual procedente de la laguna de oxidación, en un reactor biológico continuo a escala de laboratorio a flujo constante de aire, durante el tratamiento se tomarán muestras representativas a distintos intervalos de tiempo para medir la concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla, SS, DBO<sub>5</sub>

soluble, pH, Oxígeno disuelto e índice volumétrico de lodos.

Posteriormente con los valores obtenidos y mediante cálculos específicos se obtendrán los parámetros biocinéticos del reactor bilógico, estos resultados nos permiten obtener la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno.

**Variables utilizadas:**

PH = Potencial de Hidrógeno

SSVLM = Sólidos Suspendidos Volátiles en Licor de Mezcla.

DBO<sub>5</sub> = Demanda Biológica de Oxígeno

SS = Sólidos Suspendidos T = Temperatura

VUO = Velocidad de Utilización de Oxígeno

OD = Oxígeno Disuelto

Como se observa en la Figura 2.

**Desarrollo Experimental:**

La parte experimental de esta investigación se realizó en un reactor biológico continuo, a escala de laboratorio en la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Nacional “San Luis Gonzaga” de Ica. El afluente a tratar “Agua Residual procedente de la Laguna de Oxidación ubicado en el Parque Ecológico Golder Meir, Distrito de Guadalupe, la toma de muestra se realizó al ingreso a la laguna de oxidación como se muestra la Figura 3.

El reactor está hecho de acrílico transparente, como se muestra en la Figura 4. La capacidad de la cámara de aireación y sedimentación es de 5 litros respectivamente.



**Figura 3.** Parque Ecológico Golder Meir

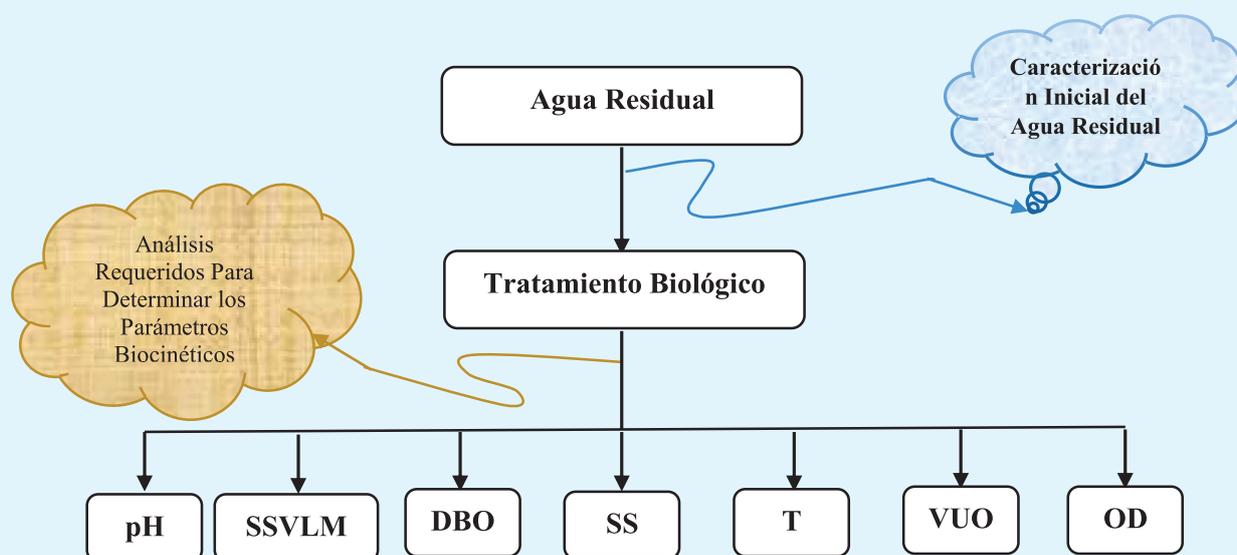


**Figura 4.** Reactor de flujo continuo a escala de laboratorio.

El aire se suministra con ayuda de un compresor de 2 HP por medio de un difusor en tubería de cobre que se encuentra en el fondo del reactor. Las burbujas de aire mantienen el contenido de la cámara de aireación en una condición de mezcla completa. El agua residual se alimenta continuamente por gravedad luego de la fase estacionaria, desde un recipiente que se encuentra ubicado a una cierta altura, y fluye continuamente hasta un recipiente de recogida del efluente.

**Diseño Experimental:**

Información requerida para establecer las variables de diseño del reactor biológico



**Figura 2: Diseño Experimental**

**Procedimiento:**

Para el tratamiento del afluente se considera las siguientes etapas:

- Toma de la muestra “agua residual al ingreso de la laguna de oxidación
- Caracterización del agua residual cruda considerando los parámetros establecidos
- Proceso Biológico.

**Toma de la Muestra “agua residual”:**

El agua residual fue extraída del colector de la Laguna de Oxidación que se encuentra ubicada en el Parque Golder Mayer – Distrito Salas Guadalupe, ver Figura 5.



**Figura 5.** Parque Golder Mayer – Distrito Salas Guadalupe

**Caracterización del afluente (Agua residual cruda):**

Caracterización del agua residual en la alimentación del reactor, como se muestra en la Tabla 3, se recogía en 2 baldes de 10 l, durante el mes de Julio.

**Proceso biológico**

- Se adiciona cal para ajustar el pH del agua residual según las necesidades de la misma, para operar en un rango de pH entre 6 y 8. Según las especificaciones técnicas de la bacteria comercial.

**Tabla 3.**  
*Caracterización del Afluente*

Análisis	Frecuencia	Agua Residual Inicial <sup>a</sup>	Licor Mezclado <sup>b</sup>	Efluente <sup>c</sup>
DQO (mg/l)	1/día	x	x	x
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	1/día	x	x	x
pH	1/día	x	x	x
SS, SSVLM (mg/l)	2/día	---	x	---
Oxígeno Disuelto (OD), (mg/l)	1/día	x	x	---
Velocidad de Utilización del O <sub>2</sub>	1/día	---	x	---
Color, Turbiedad	1/día	x	x	x

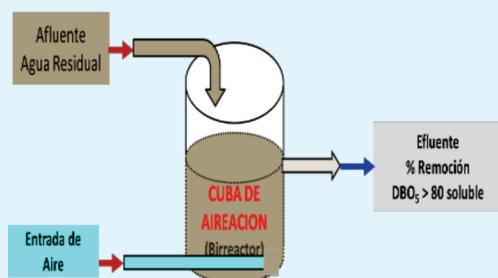
Donde:

<sup>a</sup> Muestra extraída de la alimentación del afluente o de los depósitos de agua residual cruda

<sup>b</sup> Muestra extraída del biorreactor

<sup>c</sup> Muestra extraída del efluente

- Se llena el reactor con agua residual hasta un volumen predeterminado (5 litros).
- Se conecta el compresor y se suministra aire al reactor; el contenido de la cámara de aireación se mezcla completamente mediante la turbulencia producida, como se observa en la Figura 6.



**Figura 6.** Parque Golder Mayer – Distrito Salas Guadalupe

- Se adicionan los nutrientes requeridos, que contemplan: bacterias, componentes minerales, polisacáridos y materia

orgánica para acelerar el proceso biológico.

- Se mide, la concentración de MLVSS. Para comprobar el aumento neto de MLVSS, se tapona el vertedero de descarga, se eleva la pantalla, se homogeniza el licor de mezcla y se extrae una muestra del tanque.
- El proceso de lodos activos se desarrolla hasta que se observa una disminución en los niveles de DQO, DBO<sub>5</sub>, Sólidos Suspendidos.
- El control de los parámetros establecidos se lo realiza en forma periódica cada 12 horas según el programa de muestreo indicado en la Tabla 3
- Una vez alcanzado la operación en estado estacionario se regula el caudal necesario

(suministrado por acción de la gravedad) para obtener el tiempo de residencia deseado en la cámara de aireación.

- Se tabula los datos obtenidos.
- Se replica el proceso anteriormente descrito para verificar los resultados obtenidos.

#### ***Caracterización del agua residual cruda:***

El agua cruda se analizó mediante aplicación de ensayos fisicoquímicos según los parámetros indicados para el agua residual de la laguna de oxidación, ver la Tabla 4.

**Tabla 4.**

*Caracterización del Agua Residual Cruda*

Parámetros	Simbología	Resultados
pH	pH	4.52
DQO (mg/l)	S	8096
DBO (mg/l)	S <sub>0</sub>	5514
SS (mg/l)	X	815
SSVLM (mg/l)	Y	49
SSedim. (ml/l)	Z	4
Olor	---	Desagradable
Color	---	Oscuro
Temperatura	T	20°C

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### ***Caracterización del Agua Tratada en el Reactor Biológico:***

El agua residual cruda es alimentada al reactor biológico, en función de ensayos preliminares se establece como tiempo de muestreo 24 horas. Se caracteriza el agua luego de cada muestreo, el agua del reactor biológico y el agua de salida del reactor. Los datos se registran en las Tablas 5 y 6.

**Tabla 5. Datos Experimentales del Bioreactor**

Nº	Tiempo h	pH	T °C	DQO mg/l	DBO5 mg/l	SS mg/l	OD mg/l	MLVSS mg/l	S.Sed ml/l
1	0	4.52	21.10	8096	5550	815	3.87	46	3
2	20	5.05	21.70	6955	3803	4015	3.97	166	15
3	45	5.59	20.90	4792	2616	5495	3.87	286	32
4	70	6.80	21.40	2343	1466	9425	3.63	511	93
5	90	7.22	21.30	1787	576	2095	3.23	1176	148

**Tabla 6. Datos Experimentales a la Salida del Bioreactor**

Nº	Tiempo h	pH	T °C	DQO mg/l	DBO5 mg/l	SS mg/l	S.Sed ml/l
1	10	4.35	21.48	8096	5042	1721	3.8
2	20	4.88	21.88	6955	2994	841	0.8
3	45	5.46	21.68	4792	2381	671	0.6

4	70	6.73	22.18	2343	991	351	0.3
5	90	7.09	22.38	1787	490	301	0.1

**Coefficiente de transformación, “f”:**

$$f = \frac{5514}{8096} = 0.686$$

El valor de f = 0.686, nos indica que el agua residual de la laguna de oxidación del parque Golder Mayer – Distrito Salas Guadalupe es biodegradable; por lo tanto, puede tratarse biológicamente.

**Carga másica, “C<sub>m</sub>”:**

$$C_m = \frac{Q * DBO_{5,F}}{V * SS} = \frac{0.058 * 5550}{5 * 815}$$

Para t = 0 horas (Condición inicial)

$$C_m = 0.079 \frac{mgO_2}{mgSS * h} = 1.896 \frac{mgO_2}{mgSS * d}$$

**Tabla 7.**  
Cálculo de la Carga Másica Dentro del Bioreactor

Tiempo, h	C <sub>m</sub> , mgO <sub>2</sub> /mgSs*h
0	1.896
20	0.264
45	0.133
70	0.043
90	0.077

**Carga Volumétrica, “C<sub>v</sub>”:**

$$C_v = \frac{Q * DBO_{5,F}}{V} = \frac{0.058 * 5550}{5}$$

$$C_m = 64.38 \frac{mgO_2}{l * h} = 1545.12 \frac{mgO_2}{l * d}$$

**Tabla 8.**  
Cálculo de la Carga Volumétrica Dentro del Bioreactor

Tiempo, h	C <sub>m</sub> , mgO <sub>2</sub> /mgSs*h
0	1545.12

20	1058.76
45	728.29
70	408.13
90	160.36

**Rendimiento:**

$$\%R = \frac{(DBO_{5,F} - DBO_{5, salida, 90 h})}{DBO_{5,F}} * 100\%$$

$$\%R = \frac{(5550 - 490)}{5550} * 100\%$$

$$\%R = 91.17\%$$

**Muestra 1, Condiciones Iniciales (10 h):**

$$V_C = \frac{V_T(V_M - V_D)}{V_M} = \frac{50(110 - 2.5)}{110}$$

$$V_C = 48.86 \text{ ml}$$

$$\frac{mg OD}{l} = \frac{M * ml \text{ Tiosulfato de sodio} * 8 * 1000}{V_C}$$

$$\frac{mg OD}{l} = \frac{0.025 * 0.94 * 8 * 1000}{48.86}$$

$$\frac{mg OD}{l} = 3.85$$

**Velocidad del Consumo de Oxígeno**

La capacidad de transferencia de oxígeno en un reactor biológico, es uno de los factores de mayor relevancia en el proceso de absorción, por cuanto, dicho factor determina la productividad del sistema de difusores.

La velocidad de transferencia de masa, se encuentra estrechamente relacionada con muchos parámetros, pero el más importante de ellos es el coeficiente de transferencia de masa K<sub>La</sub>. Una característica general que presentan los procesos de transferencia de

1	5	50	49.05	0.94	<b>3.83</b>
2	10	50	49.05	0.78	<b>3.18</b>
3	15	50	49.05	0.59	<b>2.41</b>
4	20	50	49.05	0.49	<b>2.00</b>
5	25	50	49.05	0.35	<b>1.43</b>

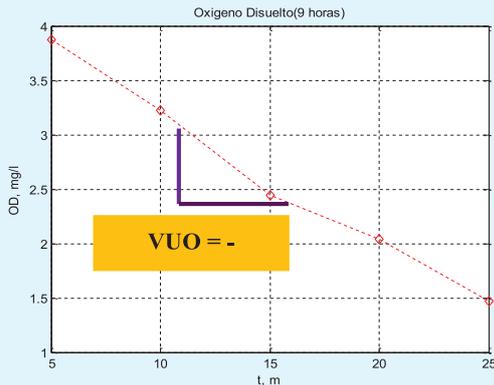


Figura 9. Oxígeno Disuelto para 45 horas

Tabla 12. Muestra 4, Condiciones Iniciales (70 h)

N <sup>o</sup>	Tiempo min	V Muestra ml	V Corregido ml	V Tiosulfato ml	OD mg/l
1	5	50	49.12	0.89	<b>3.62</b>
2	10	50	49.12	0.87	<b>3.54</b>
3	15	50	49.12	0.71	<b>2.89</b>
4	20	50	49.12	0.59	<b>2.40</b>
5	25	50	49.12	0.42	<b>1.71</b>

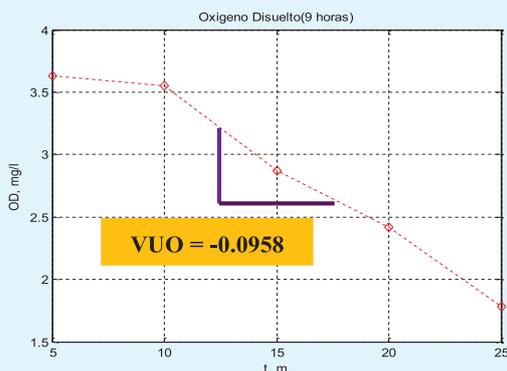


Figura 10. Oxígeno Disuelto para 70 horas

Tabla 13. Muestra 5: Condiciones Iniciales (90 h)

N <sup>o</sup>	Tiempo min	V Muestra ml	V Corregido ml	V Tiosulfato ml	OD mg/l
1	5	50	49.23	0.79	<b>3.21</b>
2	10	50	49.23	0.61	<b>2.48</b>
3	15	50	49.23	0.54	<b>2.19</b>
4	20	50	49.23	0.48	<b>1.95</b>
5	25	50	49.23	0.30	<b>1.22</b>

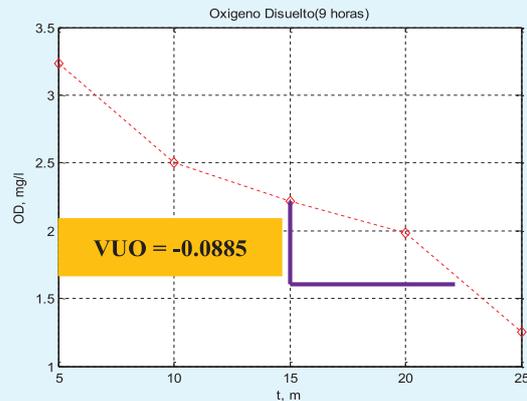


Figura 11. Oxígeno Disuelto para 90 horas

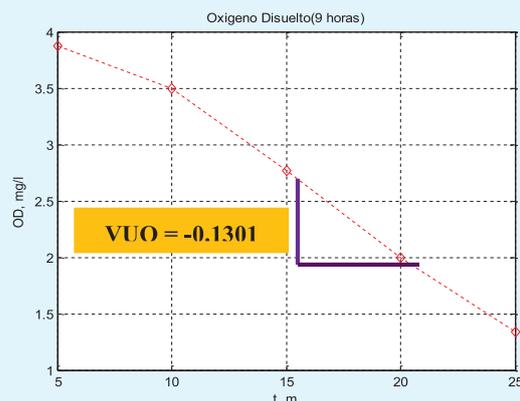
Para obtener la velocidad de utilización del oxígeno (VUO), sea considerado, desde la muestra 1 hasta la muestra 5, con los datos a las condiciones iniciales, para 10, 20, 45, 70 y 90 horas. Para ello se suspendió la aireación en el sistema, permitiendo que la concentración de oxígeno disuelto disminuya debido al consumo de microorganismos. Como se observa en las Figuras del 7 al 11, se realizan las gráficas de tiempo vs OD, esto permite evaluar la velocidad de utilización o consumo de oxígeno (VUO), ver la tabla 14,

masa en cada uno de los diferentes sistemas fermentativos, consiste en describir “el cómo” se llevan a cabo los procesos de transferencia de oxígeno, pasando desde la fase gaseosa a la fase líquida.

Fase en la cual, se encuentran todos los microorganismos responsable de la descomposición de la materia orgánica en el reactor de lodos activados. Los valores de Velocidad de Utilización de Oxígeno (VUO), corresponden a la pendiente en el diagrama Oxígeno Disuelto en función del tiempo. La determinación de OD se puede realizar por medio de una titulación redox. La prueba se realiza en un reactor aireado de lodos activados suspendidos en agua residual.

**Tabla 9.**  
*Muestra 1, Condiciones Iniciales (10 h)*

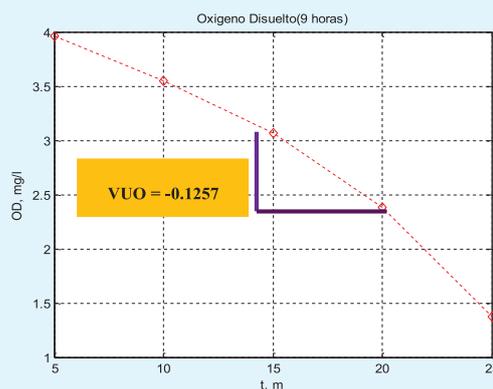
N <sup>o</sup>	Tiempo min	V <sub>Muestra</sub> ml	V <sub>Corregido</sub> ml	V <sub>Tiosulfato</sub> ml	OD mg/l
1	5	50	48.86	0.94	3.85
2	10	50	48.86	0.85	3.48
3	15	50	48.86	0.67	2.74
4	20	50	48.86	0.48	1.96
5	25	50	48.86	0.32	1.31



**Figura 7.** Oxígeno Disuelto para 10 horas

**Tabla 10.**  
*Muestra 2, Condiciones Iniciales (20 h)*

N <sup>o</sup>	Tiempo min	V <sub>Muestra</sub> ml	V <sub>Corregido</sub> ml	V <sub>Tiosulfato</sub> ml	OD mg/l
1	5	50	48.35	0.97	3.96
2	10	50	48.35	0.87	3.55
3	15	50	48.35	0.75	3.06
4	20	50	48.35	0.58	2.37
5	25	50	48.35	0.33	1.35



**Figura 8.** Oxígeno Disuelto para 20 horas

**Tabla 11.**  
*Muestra 3, Condiciones Iniciales (45 h)*

N <sup>o</sup>	Tiempo min	V <sub>Muestra</sub> ml	V <sub>Corregido</sub> ml	V <sub>Tiosulfato</sub> ml	OD mg/l
----------------	---------------	----------------------------	------------------------------	-------------------------------	------------

permitiendo medir la caída en la concentración de oxígeno disuelto (OD), para luego restablecer la aireación permitiendo que se alcance de nuevo la concentración de (OD) de operación.

**Tabla 14.**

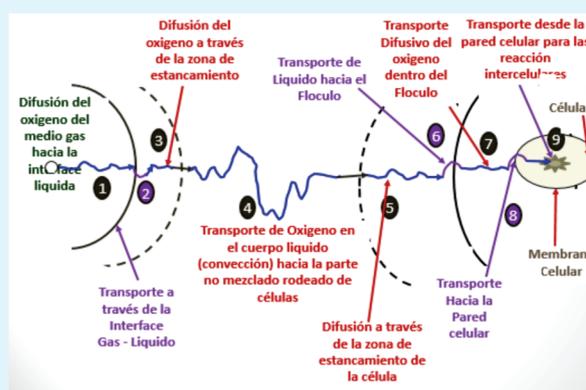
*Velocidad de Utilización de Oxígeno*

Nº	Tiempo (h)	VUO (mg/l.min)
1	0	0.1301
2	20	0.1257
3	45	0.1187
4	70	0.0958
5	90	0.0885

Todo este proceso se realizó en el sistema de aireación y la cantidad de lodos que deben ser recirculados; por lo tanto, se requieren la Concentración de Oxígeno Disuelto del efluente y el tiempo de retención hidráulica en el reactor, teniendo en cuenta que se trata de aireación extendida, donde el oxígeno pasa de una fase a otra y estas son, ver Figura 12:

- Difusión del oxígeno del medio gas hacia la interface líquida.

- Transporte a través de la interface Gas - Líquido.
- Difusión del oxígeno a través de la zona de estancamiento.
- Transporte de oxígeno en el cuerpo líquido (convección) hacia la parte no mezclado rodeado de células.
- Difusión a través de la zona de estancamiento de la célula.
- Transporte difusivo del oxígeno dentro del floculo.
- Transporte hacia la pared celular (Membrana celular)
- Transporte desde la pared celular para la reacción intercelular.



**Figura 12.** Mecanismo de Difusión

## CONCLUSIONES

La determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno ( $K_{La_r}$ ) en función de la caracterización del agua cruda y de la relación del coeficiente de transformación se establece como sistema de tratamiento la aplicación del proceso Biológico, que conducen a la reducción de la carga contaminante expresada como  $DBO_5$  a 490

$mgO_2/l$ . Por tanto, se concluye que la implementación de este sistema de tratamiento permite disminuir el contenido de carga contaminante de las descargas líquidas provenientes.

El coeficiente de transferencia de oxígeno disminuye al aumentar la cantidad

de microorganismos presentes en el agua residual, partiendo del tiempo de 0 horas hay un  $k_{LA_r}$  de 0.1301 mg/l.min y a un tiempo de 90 horas se obtiene un  $k_{LA_r}$  de 0.0885 mg/l.min. El período de tiempo óptimo de aireación del agua residual de la laguna de oxidación en el bioreactor es de 15 a 90 horas.

El estudio cinético del tratamiento biológico aerobio a escala piloto permite evaluar los parámetros biocinéticos: con un tiempo de 90 h a un pH de 7.09; Solidos suspendidos 301 mg/l y Solidos sedimentables 0.1 ml/l. Al finalizar el tratamiento biológico el efluente aún posee elevada concentración de DBO<sub>5</sub>, se realiza una post-clarificación siendo la DBO<sub>5</sub> de 125 mg/l. con un DQO de 387 mg/l.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnaiz, C.; Isac, L y Lebrato, J. (2000). *Tratamiento biológico de aguas residuales. Grupo de Tratamiento de Aguas Residuales*. Escuela Universitaria Politécnica. Universidad de Sevilla.
- Bernal, P.; Cardoia, A.; Galvis, A. & Peña, R. (s/f). *Guía de selección para el tratamiento de aguas residual domesticas por métodos naturales*. Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Instituto Cinara., Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Buitrago G.; Otálvaro A.; Duarte P. (2013). *Evaluación de la transferencia de oxígeno en un biorreactor convencional con aireador externo*. Revista Colombiana de Biotecnología. ISSN: 0123-3475. revcbib\_bog@unal.edu.co. Colombia. Vol. XV No. 2 Diciembre 2013 106-114. Universidad Nacional de Colombia.
- Colli Badino Júnior, Alberto y Antonio José Gonçalves da Cruz. (2002). *Agitação e aeração em tanque cilíndrico em sistema automatizado*. Brasil, São Paulo: Depto de Ingeniería Química de la Universidad de São Carlos.
- Coefficiente de transferencia de oxígeno. Visita 07 de enero del 2018. <https://www.youtube.com/watch?v=kBI10ktgcQo>
- Chávez M. (2004). *Determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno en aguas residuales como parámetro para el dimensionamiento del equipo de aireación de un biodigestor aeróbico*. Universidad de San Carlos de