

## GESTIÓN URBANA DEL AGUA EN EFLUENTES CLOACALES TRATADOS

Miriam Cecilia López ([mclopez@frm.utn.edu.ar](mailto:mclopez@frm.utn.edu.ar)); José Alberto Flores ([jflores@mendoza.gov.ar](mailto:jflores@mendoza.gov.ar)); Edgardo Ghellinaza ([eghellinaza@yahoo.com.ar](mailto:eghellinaza@yahoo.com.ar)); Gastón Paéz Villavisencio ([gastonpaez7@gmail.com](mailto:gastonpaez7@gmail.com))

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza (UTN-FRM) - Arg.

**Palabras clave:** riego, ACRE, tratamiento biológico, radiación solar

*Fomentar la reutilización e incentivar el uso de recursos hídricos alternativos no convencionales, es muy importante en una planificación y gestión integrada del ciclo del agua, como sustitución del agua potable en aquellos usos privados y municipales que así lo permitan, y para riego agrícola.*

*En la provincia de Mendoza, el Departamento General de Irrigación (DGI) es el organismo que administra el recurso agua, mientras que Agua y Saneamiento Mendoza (AySAM) es el mayor operador del servicio de agua y cloacas de la provincia. Ambos organismos públicos integran el convenio general de ACRE que establece que el operador AySAM entrega los efluentes tratados al DGI y este lo administra distribuyéndolo a los regantes en los diferentes ACRE de la provincia, siendo responsables de la gestión del riego y la aplicación de buenas prácticas sanitarias.*

*Esta investigación se llevó a cabo en el ACRE del establecimiento depurador Campo Espejo. Este establecimiento trata efluentes cloacales de parte del área geográfica Gran Mendoza. El caudal tratado de 1,6 m<sup>3</sup>/s corresponde a una población urbana de aproximadamente 400.000 habitantes. El ACRE Campo Espejo irrigado con estos líquidos depurados es de 3.500 Ha en verano y 5.000 Ha en invierno. Al día de la fecha lo que establece el reglamento no se aplica en su totalidad. Esto resulta muy peligroso para los regantes del ACRE y para los consumidores de los cultivos regados con los efluentes tratados.*

*En este trabajo se presentan los resultados del estudio sobre la influencia de parámetros de diseño, como temperatura del líquido y radiación solar, en plantas de tratamiento biológico para residuos cloacales sobre los principales indicadores físicos, químicos y biológicos del efluente usado para riego.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El reuso de aguas residuales previo a un tratamiento para el riego de las áreas verdes urbanas y rurales, tiene como fin ahorrar el agua que actualmente se utiliza para riego y proteger las fuentes naturales, fundamentalmente en zonas áridas. Para este fin, es necesario que las aguas residuales tratadas, adecuen su calidad a los requisitos necesarios para la disposición final o reuso de las mismas, asegurando la sostenibilidad del tratamiento y un uso responsable de los usuarios. Con el paso del tiempo el reuso de agua residual tratada es un recurso valioso y su demanda irá creciendo en la medida de que aumente la necesidad y decrezca la disponibilidad de aguas claras.

El tratamiento mediante lagunas de estabilización es un tratamiento biológico natural muy difundido en América Latina por su bajo costo y su posibilidad de ser aprovechado mediante el reuso agrícola. Este proceso es muy eficiente en la remoción de carga orgánica y fundamentalmente agentes patógenos, especialmente los resistentes a tratamientos convencionales.

El funcionamiento de una laguna facultativa depende de diversos parámetros y factores como el clima, la temperatura del líquido, la estacionalidad, etc. El diseño de estas unidades puede abordarse mediante métodos empíricos, como aquellos basados en criterios de tasas de carga orgánica, obtenidos de múltiples correlaciones extraídas de sistemas existentes que presentan gran variabilidad. Otra posibilidad es diseñarlas siguiendo una metodología racional, en cuyo caso la herramienta de diseño más ampliamente aceptada ha sido la aplicación del modelo de flujo disperso. Considerable confusión existe en la conceptualización teórica del coeficiente de mortalidad bacteriano. Los coeficientes de mortalidad inicialmente reportados se basaron en conteos en afluente y efluente y el cálculo del coeficiente de mortalidad forzando el ajuste al submodelo hidráulico de mezcla completa.

En la práctica de la Ingeniería Ambiental, las lagunas de estabilización constituyen reactores donde ocurren procesos físicos, químicos y biológicos, constituyendo un sistema heterogéneo donde ocurre una cinética de primer orden y donde la constante de reacción depende invariablemente de la temperatura del líquido, de acuerdo a la ley de Arrhenius modificada, de la naturaleza de las sustancias reaccionantes y de las condiciones climáticas y atmosféricas. Tanto la mencionada temperatura del líquido como la constante cinética de remoción bacteriana dependen directamente de la radiación solar que recibe la laguna de estabilización.

Debido a la falta de investigación sobre indicadores de contaminación en aguas residuales en estas latitudes, la práctica tradicional para diseño de lagunas ha sido utilizar la de países industrializados, basadas en la reducción de compuestos orgánicos (DBO<sub>5</sub>, DQO, nutrientes), con poca o ninguna atención a los aspectos de salud pública. Esta práctica convencional ha resultado con mucha frecuencia, en sistemas con celdas únicas. Una revisión de las prácticas modernas de diseño de lagunas exige nuevas concepciones basándose en criterios múltiples, como la reducción de compuestos orgánicos, sólidos en suspensión, parásitos e indicadores de contaminación fecal. Al poner en práctica esta nueva tendencia, los diseños resultarán en instalaciones con unidades múltiples y de alta eficiencia. Todos los parámetros de diseño de lagunas tienen una dependencia directa con la temperatura del líquido de la laguna.

La importancia del presente proyecto de investigación radica, además de lo indicado precedentemente, en que en pocos países del mundo se ha cuantificado la real influencia de los valores de la radiación solar zonal en la determinación de dicha constante cinética y de la temperatura del líquido, centralizándose la gran mayoría de las investigaciones realizadas y los procedimientos de cálculo de las lagunas en la sola incidencia de la temperatura sobre la remoción bacteriana, situación que no es del todo real. Al respecto, prestigiosos investigadores de la talla de Polprasert, Sarikaya, Mayo, Saatci, entre otros, consideran la importancia de la medición de la intensidad de la radiación solar en el cálculo del abatimiento bacteriano en lagunas de estabilización.

El objetivo general del proyecto de investigación al cual pertenece este trabajo, es la determinación de un modelo de correlación y predicción de temperatura del agua, en función de la temperatura del aire y de la radiación solar, para los factores de diseño que correspondan a la región.

## 2. METODOLOGÍA

El proyecto de investigación se desarrolla en el Establecimiento Depurador Campo Espejo, ubicado en el departamento de Las Heras, y recibe los efluentes cloacales de un sector del Gran Mendoza. El área geográfica que abarca el Gran Mendoza tiene una población

superior a 1.000.000 de habitantes y este establecimiento recibe los efluentes de más de 500.000 habitantes con caudales medios de 1,5 m<sup>3</sup>/s.

Está conformado por un sistema de lagunas de estabilización de tipo facultativas (Figura N° 1). El establecimiento se ubica a una cota media de 694 m.s.n.m., con las siguientes coordenadas geográficas de la laguna donde se encuentran instalados los sensores de temperatura del líquido: latitud 32° 47' 14,5" S y longitud 68° 47' 51,8" O. Los sensores de temperatura se han instalado en la laguna secundaria de la serie N° 4.



Figura 1. Ubicación Establecimiento Campo Espejo

La temperatura del agua se determinó a través de tres sensores de temperatura modelo TMC20-HD junto con un data-logger para captura de datos, todos ellos montados y conectados en su estructura y gabinete. Los sensores de temperatura miden este parámetro en tres profundidades distintas: 0,74 m, 1,20 m y 2,34 m. Los datos obtenidos corresponden al período 2013-2015. Mientras que las mediciones de radiación solar son tomadas por un pirómetro, ubicado en el Parque General San Martín, perteneciente al grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales (GEAA).

### 2.1. Estratificación de la temperatura

Puesto que la densidad del agua cambia con la temperatura, es mínima a 4° C y aumenta para temperaturas menores o mayores, el agua más cálida es más ligera y tiende a “flotar” sobre las capas más frías. Como durante los meses de primavera y verano el calentamiento tiene lugar desde la superficie, las capas superiores están más calientes que las inferiores, son menos densas y flotan sobre ellas sin que se produzca la mezcla entre unas y otras. Este fenómeno es lo que se conoce como estratificación.

Si las lagunas son suficientemente profundas la estratificación aparece a medida que progresa la primavera, y se mantiene hasta mediados de otoño. En lagunas poco profundas, la acción del viento es suficiente para romper esta distribución por densidades y dar lugar a la homogeneización de toda la columna de agua.

En la siguiente figura (Figura 2) se muestra una gráfica del perfil de temperaturas en la laguna para el día 01/02/2014. La zona próxima a la superficie, más cálida y con una temperatura casi uniforme, es el epilimnio. La zona central, en la que la temperatura desciende bruscamente al aumentar la profundidad, es la termoclina. Por último, la zona del fondo, que presenta una temperatura más baja, es el hipolimnio.

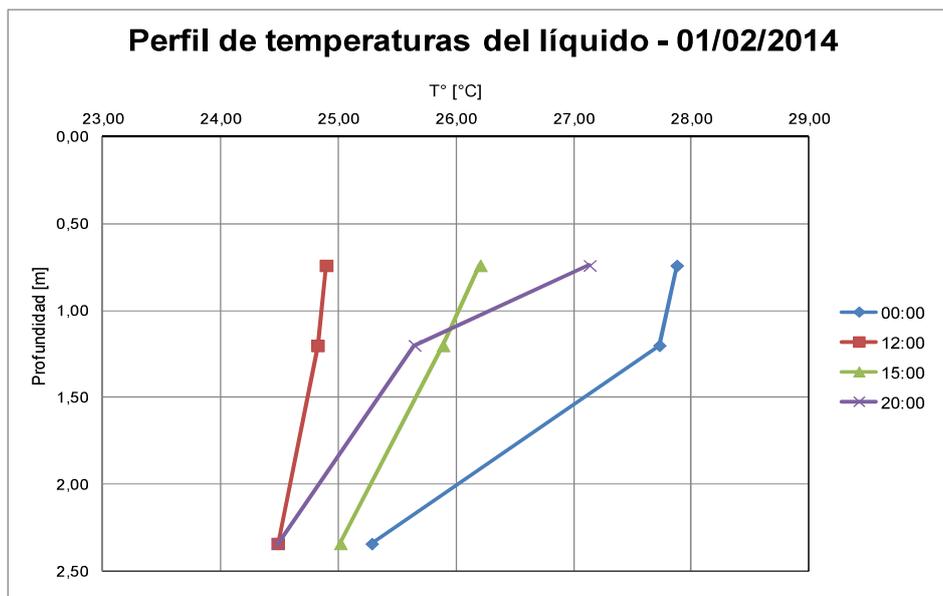


Figura 2. Estratificación de las temperaturas del líquido efluente.

El efecto principal de la estratificación térmica en lagunas facultativas es la segregación a efectos de flujo de la capa fría inferior. Como la alimentación a la laguna facultativa viene directamente del sistema cloacal, su temperatura es normalmente alta, similar a la que existe en el epilimnio. Puesto que su densidad es también similar a la del agua en el epilimnio, se mezcla únicamente con ésta, es decir, se distribuye en una capa fina próxima a la superficie, y ocupa sólo una fracción del volumen de la laguna.

En estas condiciones, el tiempo de residencia es inferior al de diseño, por lo que no hay tiempo suficiente para la mineralización de la materia orgánica ni para alcanzar las tasas mínimas de mortandad bacteriana; además el efluente presenta concentraciones anormalmente altas de DBO5 y DQO. Cuando esto ocurre hay que tomar medidas especiales. Fundamentalmente, las medidas a tomar consisten en disminuir la altura de agua de trabajo o intentar romper la estratificación mediante alteraciones de la posición de entradas y salidas de agua.

Con los datos de temperatura del agua y de radiación solar, comprendidos entre 2014 y 2015) se trazaron las curvas correspondientes de correlación, donde se aplicaron modelos de regresión no lineal. Los modelos paramétricos tales como la regresión lineal y no lineal son métodos comúnmente utilizados para escalas de tiempo más cortas (por ejemplo, diarias, semanales).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A modo de ejemplo se muestran las correlaciones de temperaturas del líquido y de la radiación solar con mediciones tomadas a intervalos de 30 minutos y una hora para el día 25 de abril de 2015. Para la temperatura del agua se utilizaron mediciones tomadas a las profundidades de 0,74 m, 1,20 m y 2,34 m, correspondiente a las temperaturas indicadas como T1, T2 y T3.

En el siguiente gráfico se muestra la correlación para los valores comprendidos en un período de tiempo que va desde las 8.00 am a las 6.30 pm del día 25 de abril. No se han considerado las mediciones tomadas para el resto del día porque los valores de radiación son cero. (Figuras 3 y 4).

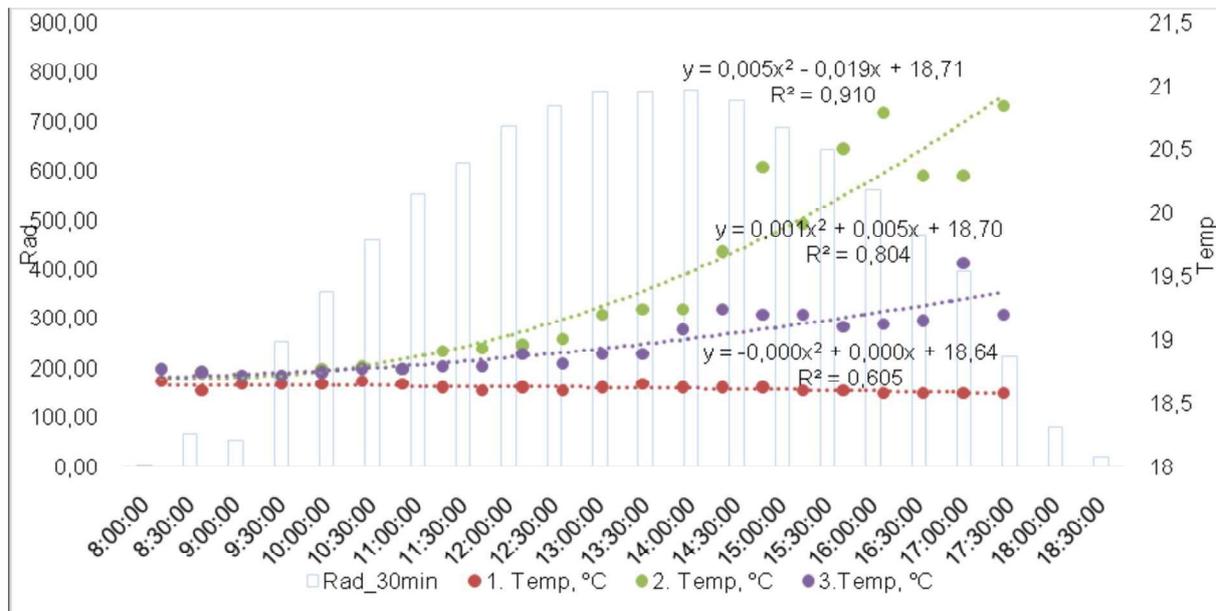


Figura 3. Curvas de la radiación solar, de temperatura (T1, T2 y T3) de mediciones tomadas cada 30 min y de correlación entre ellas.

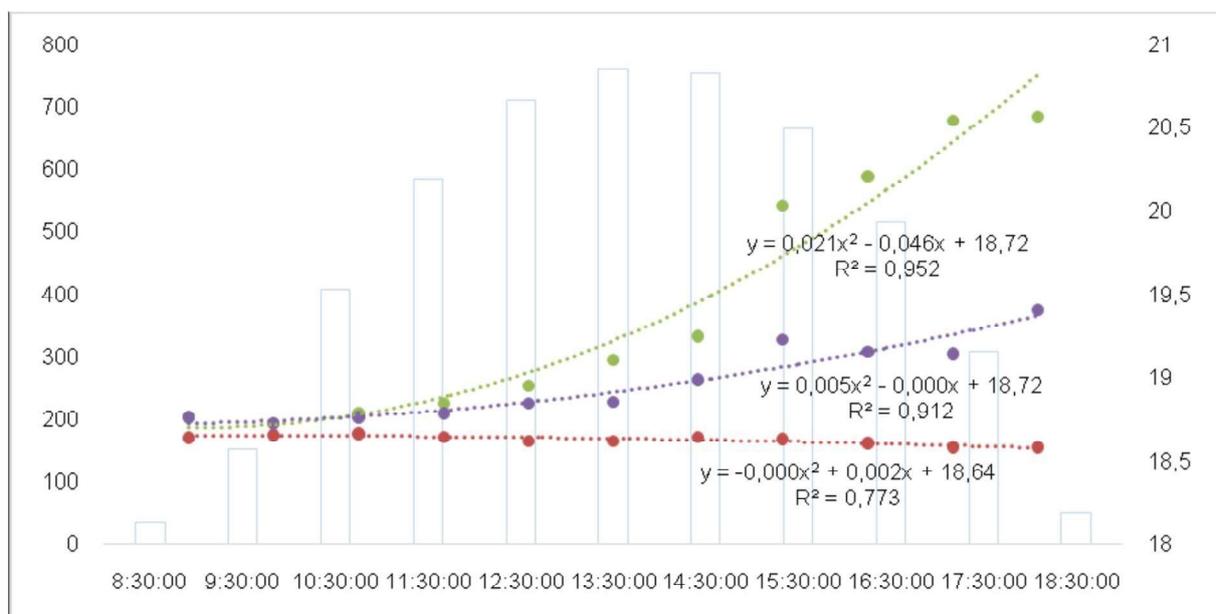


Figura 4. Curvas de la radiación solar, de temperatura (T1, T2 y T3) de mediciones tomadas cada 1 hora y de correlación entre ellas.

Del análisis del gráfico se observa una variable y más baja correlación de valores tomados de temperatura cada 30 minutos que las de una hora. Esto indicaría que considerar intervalos mayores son más representativos para la medición, y por lo tanto, no se procesarán los valores menores a una hora en las dichas correlaciones.

La curva que más se aproxima a la correlación entre temperatura y radiación solar es de tipo polinómica. Para el sensor T1 disminuye la correlación, ya que se trata de una profundidad donde las temperaturas son casi constantes a lo largo del día y no tiene gran incidencia la radiación.

También se realizaron curvas de la radiación solar, y de temperaturas del líquido para los sensores T1, T2 y T3, de mediciones promedio diarias tomadas en el período enero-julio 2014 y enero-agosto 2015. Figuras 5 y 6.

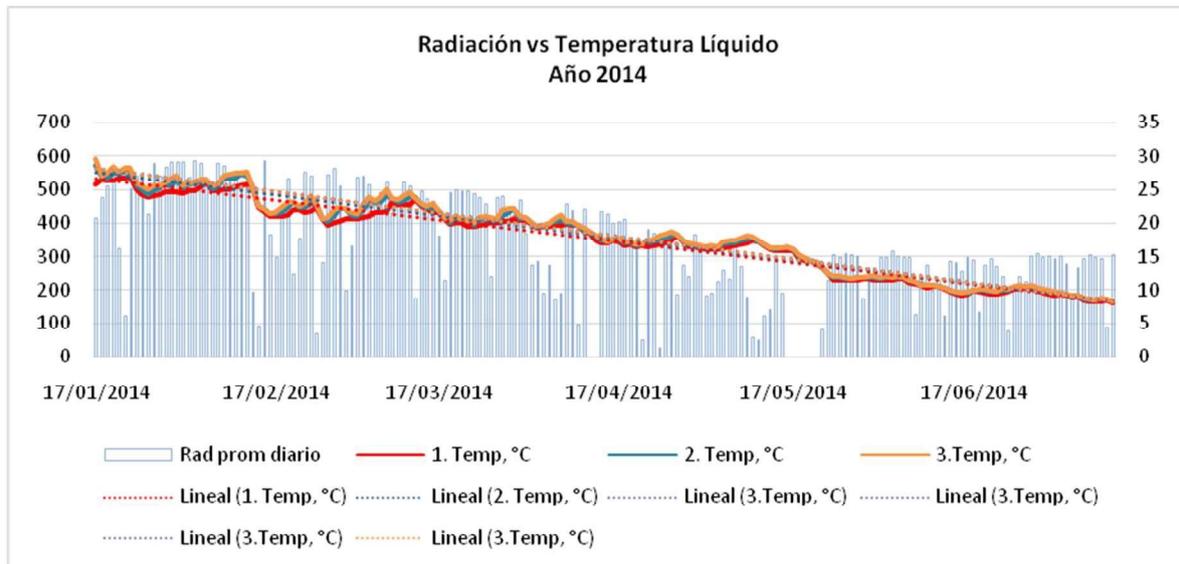


Figura 5. Curvas de temperaturas del líquido y radiación solar. Año 2014

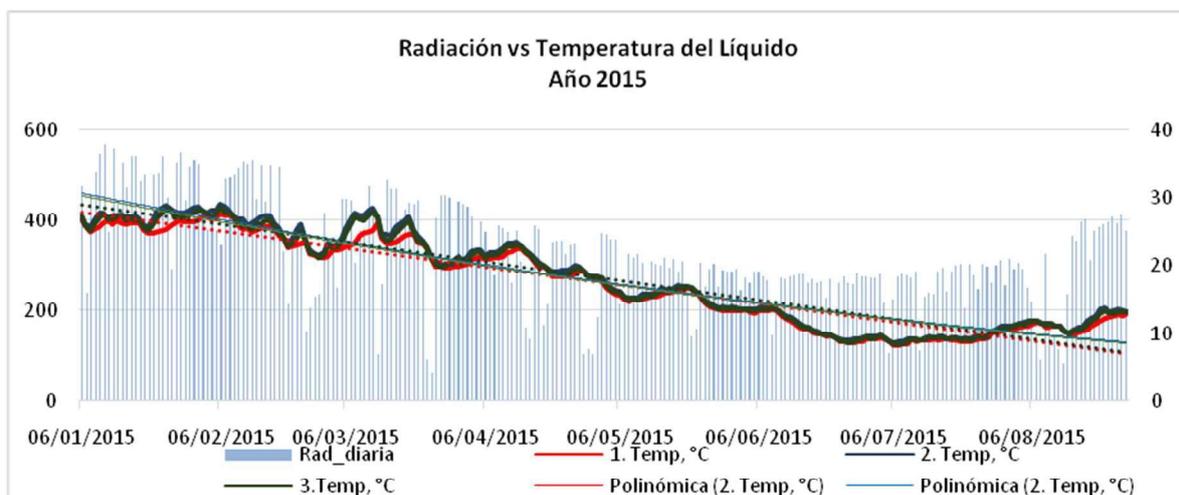


Figura 6. Curvas de temperaturas del líquido y radiación solar. Año 2015

En próximos análisis, la información que se tomará será las temperaturas medias diarias para períodos semanales, mensuales y estacionales, en primera instancia. Luego se procesarán temperaturas medias mensuales para las correlaciones estacionales y anuales, de modo tal de conocer el comportamiento del líquido en las lagunas durante todo un año.

#### 4. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos se constató que la metodología de recolección de datos y su procesamiento es la adecuada, por lo que se mantendrá durante todo el desarrollo del proyecto. Además, la utilización de métodos estadísticos en esta primera etapa, presentó la ventaja de requerir menos datos y un tiempo de desarrollo generalmente más corto que los modelos determinísticos.

Como la alimentación a la laguna facultativa viene directamente del sistema cloacal, su temperatura es normalmente alta, similar a la que existe en el epilimnio y con densidad es similar a la del agua, el tiempo de residencia es inferior al de diseño, por lo que no hay tiempo suficiente para la mineralización de la materia orgánica ni para alcanzar las tasas mínimas de mortandad bacteriana; además el efluente presenta concentraciones anormalmente altas de DBO5 y DQO.

Los efectos de la estratificación térmica en las lagunas de estabilización y su estacionalidad permiten establecer los períodos más críticos en los procesos de depuración biológica natural y su incidencia en el efluente tratado.

Si analizamos la correlación de las temperaturas del líquido versus la radiación solar encontramos que son relativamente bajas entre si, esto representa que no se puede hablar de una correlación directa entre radiación y temperaturas sin considerar otras variables atmosféricas como el viento o densidad del líquido, sustancias en suspensión, entre otras.

En futuros estudios es conveniente incorporar, además de los ya indicados, otros factores que inciden en el diseño de lagunas de estabilización, como puede ser la topografía del terreno, la calidad y tipo de efluente o el sistema de operación, entre otras variables.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Libro completo:

- Benyahya L., Caissie D., St-Hilaire A., Taha B.M.J. Ourada and Bobée B. (2007). *A review of Statistical Water Temperature Models. Canadian Water Resources Journal, Vol. 32(3), pág. 179-192.*
- Burgers Lizette, (1982). *Temperature behaviour in stabilization ponds under tropical conditions. CEPIS-PAHO.*
- Polprasert, Chongrak, (1996). *Organic Waste Recycling Technology and Management. 2nd Edition. Published by Wiley. U.S.A.*
- V. Kothandaraman y R.L. Evans. *Use of Air-Water Relationships for Predicting Water Temperature. State water survey division, State of Illinois. 1972.*

Capítulo de libro:

- Lubna Benyahya, Daniel Caissie, André St-Hilaire, Taha B.M.J. Ourada and Bernard Bobée. (2007). *A review of Statistical Water Temperature Models. Canadian Water Resources Journal, Vol. 32(3), pág. 179-192.*
- Marta Saracho, Norma Rodríguez, Víctor Luque, Carlos Rodríguez, Adolfo Iriarte. (2005). *Estudio del comportamiento de lagunas de estabilización de efluentes: modelo de regresión temperatura aire-agua. Gloria Plaza. ASADES, Vol. 9.*

Artículo en eventos:

- López, M. Ghellinaza E., Flores J., Finocciaro O. Toum E. (2016). *Estudio de un Modelo de Correlación entre temperatura del Aire y Temperatura del Agua para el diseño de Lagunas de Estabilización Facultativas. Libro de resúmenes VI Congreso Argentino de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental de Argentina (SETAC). ISBN 978-987-42-2288-6. P207. Pág. 301.*