



# POSGRADOS

## MAESTRÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES CON MENCIÓN EN REMEDIACIÓN Y RESTAURACIÓN

RPC-SO-17-NO.363-2020

### OPCIÓN DE TITULACIÓN:

PROYECTO DE TITULACIÓN CON  
COMPONENTES DE INVESTIGACIÓN APLICADA  
Y/O DE DESARROLLO

### TEMA:

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN REACTOR  
DE CONTACTORES BIOLÓGICOS  
ROTATIVOS (BIODISCOS) A ESCALA PARA  
EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
DE LA CENTRAL TÉRMICA EL DESCANSO

### AUTOR:

EDWIN RAFAEL ARICHÁBALA CABRERA

### DIRECTOR:

NELSON GUSTAVO JARA COBOS

CUENCA – ECUADOR

2023

**Autor:****Edwin Rafael Arichábala Cabrera**

Ingeniero Mecánico con mención en Diseño de Maquinaria.

Candidato a Magíster en Recursos Naturales Renovables con Mención en Remediación y Restauración por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.

earichabala@est.ups.edu.ec

**Dirigido por:****Nelson Gustavo Jara Cobos**

Ingeniero Mecánico.

Magister en Ingeniería Mecánica.

Doctor en Ingeniería Mecánica – Área Energías.

njara@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2023 © Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA

EDWIN RAFAEL ARICHÁBALA CABRERA

Diseño y evaluación de un reactor de contactores biológicos rotativos (biodiscos) a escala para el tratamiento de aguas residuales de la Central Térmica El Descanso

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación les dedico especialmente a Dios primero por darme la salud, el conocimiento, la confianza, a mi familia, a mis padres, a mi esposa María de Lourdes a mis hijos Donato y Salomé, por el tiempo entregado en esta Maestría por la comprensión de ellos en los días de nuestros estudios arduos y el tiempo dedicado a los mismos.

Edwin

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecimiento especial a los docentes que nos entregaron todo su contingente y el apoyo para este logro en especial al Ing. Nelson Jara Cobos. PhD como docente universitario siempre está presto para apoyar en nuevos proyectos y objetivos que uno se traza en el camino de la educación, gracias por su amistad Nelson.

# TABLA DE CONTENIDO

---

## 1. CONTENIDO

Resumen .....	7
Abstract .....	8
2. Introducción.....	9
3. Determinación del Problema.....	11
4. Marco teórico referencial .....	13
4.1. Fundamento de los biodiscos.....	13
4.1.1. Formación de la biomasa. ....	16
4.1.2. Normativa vigente. ....	18
4.2. Método para determinar los TPH en el agua residual. ....	19
4.3. Microorganismos o bacterias utilizadas en la biorremediación. ....	23
5. Materiales y metodología .....	26
5.1. Aguas residuales industriales.....	26
5.2. Armado del biorreactor. ....	27
5.3. Ubicación de las bacterias Pseudomonas.....	30
6. Resultados y discusión.....	32
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	36
8. Conclusiones y Recomendaciones.....	41
9. Anexos .....	44
Referencias .....	47

# DISEÑO Y EVALUACION DE UN REACTOR DE CONTACTORES BIOLOGICOS ROTATIVOS (BIODISCOS) A ESCALA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CENTRAL TÉRMICA EL DESCANSO.

AUTOR(ES):

EDWIN RAFAEL ARICHÁBALA CABRERA

## RESUMEN

---

En el presente estudio se ejecutó el diseño y construcción de un reactor biológico de discos rotativos con la finalidad de establecer una propuesta que posibilite remediar agua residual contaminada con hidrocarburos. Para cumplir con este cometido se tomó una muestra de 94,63 litros de agua de la Central Termoeléctrica “El Descanso” ubicada en la ciudad de Cuenca, a la que se mezcló con 10 ml de diésel y 10 ml de aceite SAE 90; mezcla que luego se colocó con 1 litro de microorganismos inoculados de *Pseudomonas Fluorescens* ATCC 13525 en el tanque del reactor implementado, a fin de ejecutar el procedimiento establecido para remediar el agua. De acuerdo con los resultados obtenidos se consiguió degradar un 91 % de hidrocarburos totales de petróleo en un lapso de 28 días.

El reactor biológico implementado cuenta con un motor de 12 voltios que mueve un eje que contiene 30 discos de poliuretano, los que al girar tienen contacto con el agua residual en un 40 % de su área, lo que permite crear la biomasa en el paso del tiempo. Es importante mencionar que el eje con los discos se calibró con una velocidad variable de 7 rpm en 10 días y 10 rpm en 18 días, esto permitió también determinar un mayor alcance de degradación en los primeros 10 días.

**Palabras clave:**

Biorremediación, Hidrocarburos, Agua Residual, Central Térmica, Reactor Biológico

## ABSTRACT

---

In the present study, the design and construction of a biological rotating disk reactor were carried out with the purpose of establishing a proposal that enables the remediation of wastewater contaminated with hydrocarbons. To fulfill this objective, a sample of 94.63 liters of water from the "El Descanso" Thermoelectric Power Plant located in the city of Cuenca was taken, which was mixed with 10 ml of diesel and 10 ml of SAE 90 oil. The mixture was then placed in the implemented reactor tank along with 1 liter of inoculated microorganisms of *Pseudomonas Fluorescens* ATCC 13525, in order to execute the established procedure for remediating the water. According to the obtained results, a 91% degradation of total petroleum hydrocarbons was achieved within a span of 28 days.

The implemented biological reactor is equipped with a 12-volt motor that moves a shaft containing 30 polyurethane disks, which, when rotating, come into contact with the wastewater, covering 40% of their surface area. This allows the formation of biomass over time. It is important to mention that the shaft with the disks was calibrated with a variable speed of 7 rpm for 10 days and 10 rpm for 18 days. This also enabled determining a greater degradation reach within the first 10 days.

### **Keywords:**

Bioremediation, Hydrocarbons, Wastewater, Thermal Power Plant, Biological Reactor.



## 2. INTRODUCCIÓN.

La producción de energía térmica en todos los países del mundo ha derivado millones de toneladas de gases contaminantes a la atmósfera, en nuestro país por estar ubicado en un lugar privilegiado y por tener diversos afluentes hídricos los mismos que se han utilizado para el bienestar de producir energía “limpia” le ha ido desplazando a la energía térmica casi en su totalidad. El Ecuador al contar con muchos proyectos hidroeléctricos se ha preocupado en tener en reserva en frío a las centrales térmicas, estas centrales usan en su mayoría bunker y diésel. Para la generación de la energía térmica nos conlleva a utilizar como principales combustibles los hidrocarburos y sus derivados, la central en el presente estudio tiene una edad de funcionamiento alrededor de 40 años el proceso de separación de aguas residuales de componentes con hidrocarburos que son tratadas en una planta de separación API, por densidad los elementos más pesados se depositan en el fondo de un pozo y el agua es enviada hacia el río Cuenca, el estudio que se pretende realizar es la utilización de un sistema de biodiscos para poder completar la separación del afluente que todavía contiene partículas de TPH, para realizar el análisis de este caudal se elegirá el mejor método para conocer la cantidad de hidrocarburos que contiene este afluente y mejorar la salida del fluido en menores cantidades de los permitidos por la norma que es 20mg/L de TPH, se ha determinado que los niveles de hidrocarburos en el agua residual de la CTD está al límite según pruebas hechas en laboratorios particulares del país. El diseño del prototipo del reactor biológico se analizó en un plano principal el tamaño de los biodiscos según el caudal de ingreso del afluente de agua residual y con ello la biopelícula con los microorganismos que se van a situar, los biodiscos puedan degradar los TPH contenidos en el agua residual y así proteger al río al que va a desembocar estas aguas residuales.



### 3. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.

La Central de energía termoeléctrica “El Descanso” en la actualidad cuenta con un proceso de separación de componentes con hidrocarburos de las aguas residuales que resultan de los equipos y sistemas del proceso termoeléctrico con los que cuenta la planta; en la planta, este proceso es denominado como API (planta de tratamientos de efluentes), el cual, aprovechando la diferencia de densidad que poseen los elementos que componen el agua residual, se provoca el depósito en el fondo de un pozo de los componentes más pesados y los más livianos se quedan flotando, una vez determinado cierto tiempo de proceso el agua es enviada hacia el río Cuenca, lo que significa que el agua devuelta al río no es la más adecuada, ya que presenta otro tipo de contaminantes que no pudieron ser eliminados en la planta de separación.

Por lo antes mencionado, el estudio que se pretende realizar consiste en analizar el grado de efectividad que tendría la utilización de un sistema de biodiscos que de acuerdo al estado de la técnica posibilitaría completar la separación de partículas de contaminantes TPH (hidrocarburos totales de petróleo) que todavía se encuentran en el afluente. Para realizar el análisis de este caudal se elegirá el mejor método para conocer la cantidad de hidrocarburos que contiene este afluente y mejorar la salida del fluido en menores cantidades de los permitidos por la norma que establece como máximo un valor de 20 mg/l de TPH, se ha determinado que los niveles de hidrocarburos en el agua residual de la CTD (Central Térmica El Descanso) está al límite según pruebas hechas en laboratorios particulares del país.

El diseño del prototipo del reactor biológico se fundamenta principalmente en el tamaño de los biodiscos que tienen una función directa con el valor de caudal de ingreso del afluente de agua residual existente y con ello la biopelícula que resultaría de los microorganismos que se van a situar, permitiendo que los biodiscos puedan degradar los

---

TPH (hidrocarburos totales de petróleo) contenidos en el agua residual y así poder devolver al río una mejor calidad de agua.

## 4. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En este espacio del documento se hace referencia a los conceptos y teoría que conlleva el objetivo de la investigación, en donde se aclara sobre el funcionamiento de un reactor biológico anaerobio para la biorremediación de aguas residuales contaminadas con hidrocarburos.

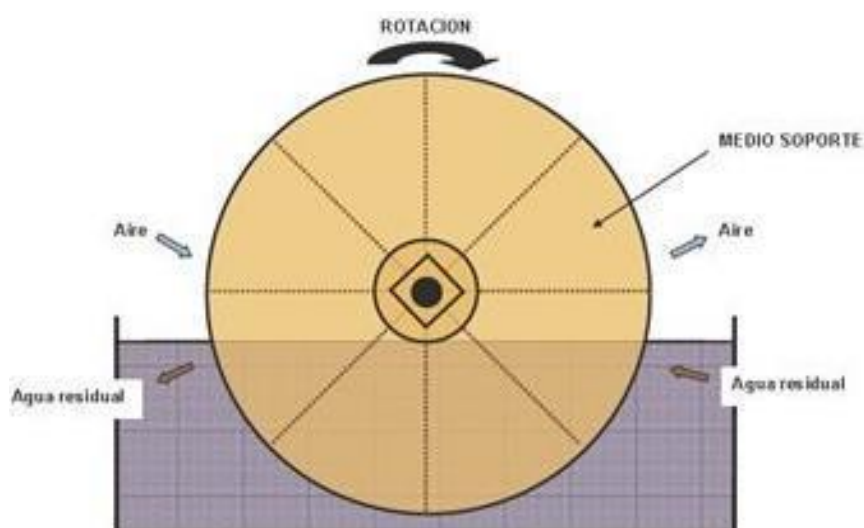
### 4.1. FUNDAMENTO DE LOS BIODISCOS.

Como principal propuesta se ha establecido un proceso de remediación que utiliza biodiscos, el cual funciona de la siguiente manera: De acuerdo con (Eckenfelder 1989) el reactor biológico de discos rotatorios o biodiscos forma parte de los llamados procesos de biopelícula, constituyendo una variante de depuración de aguas residuales que puede brindar resultados comparables con cualquier otro tipo de sistema de depuración convencional. Las reducciones del contenido de materia orgánica (expresada como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) o Demanda Química de Oxígeno (DQO)) obtenidas por este sistema de tratamiento, pueden variar entre 80 y 95 % para aguas residuales municipales, pudiéndose obtener además altos niveles de nitrificación. (Menéndez Gutiérrez & Dueñas Moreno, 2020)

Como define (Spellman, 2013) un Contactor Biológico Rotativo consta de una serie de discos circulares de plástico (sintéticos) muy espaciados (montados uno al lado del otro), que son típicamente de unos 3,5 m de diámetro y unidos a un eje horizontal giratorio. Aproximadamente el 40% de cada disco se sumerge en un tanque que contiene el agua residual a tratar. A medida que gira el Contactor Biológico Rotativo, la película de biomasa adjunta que crece en la superficie de los discos se mueve dentro y fuera de las aguas residuales. Mientras están sumergidos en las aguas residuales, los microorganismos absorben sustancias orgánicas; cuando se rotan fuera del agua residual, se suministran con el oxígeno requerido para la descomposición aerobia. A

medida que la biomasa adherida vuelve a entrar en las aguas residuales, el exceso de sólidos y productos de desecho se quitan de los medios como desechos. Estos desechos se transportan con el flujo de aguas residuales a un tanque de sedimentación para su remoción. (Goldman, Ian. and Pabari, 2021)

Los biodiscos son básicamente instalaciones de discos con superficie cubierta de biomasa en condiciones aerobias que, en régimen continuo, consumen materia orgánica presente en el agua residual afluyente. Es además considerada parte de las tecnologías de tratamiento biológico secundario del tipo de crecimiento de biomasa adherida a un soporte, o reactor de película fija. Desde el punto de vista estructural consisten en placas sintéticas que rotan montadas sobre un eje horizontal a velocidad variable, sumergidas parcialmente en un tanque donde está contenida el agua residual (figura 2). (Menéndez-Gutiérrez & Dueñas-Moreno, 2020)



**Figura 2** Esquema de biodisco. [Menéndez Gutiérrez, C., & Dueñas Moreno, J. (2020)]

La propuesta de este estudio es construir el prototipo el mismo que demostramos en la figura 3 donde se observa la bandeja semicilíndrica y el eje que está conteniendo ya el primer disco de poliuretano.



**Figura 3** Construcción del biorreactor. Fuente: Autores.

Montado los 30 discos del material mencionado anteriormente se tiene el prototipo terminado (ver figura 4).



**Figura 4** Construcción del prototipo. Fuente: Autores.

De acuerdo a (Von Sperling 2007) citado en (Menéndez Gutiérrez & Dueñas Moreno, 2020). Los biodiscos emplean el mismo principio de los filtros percoladores, pero en lugar de estar constituidos por un medio estático (empaquete), el medio soporte rota. Los

discos giran alrededor de un eje central a una velocidad comprendida entre 1 y 5 rpm, con una parte de su área sumergida y otra expuesta al aire, alternándose ambas. La rotación del disco induce la transferencia de oxígeno y mantiene la biomasa en condiciones aerobias. El área sumergida comprende entre el 35 y 40% de la superficie total de los discos.

Según (Ramalho, 2003), el oxígeno juega un papel primordial en el tratamiento biológico de las aguas residuales, esto se debe a que la ausencia o presencia de este condiciona el tipo de microorganismos que se encargarán de degradar y eliminar la materia orgánica presente en el agua residual. (Cabrera Vallejo et al., 2017)

#### 4.1.1. FORMACIÓN DE LA BIOMASA.

El principio de la formación y remoción es el siguiente el consumo de oxígeno y la remoción de la materia orgánica se efectúa mientras que el sistema gira a través del agua residual, contenida en el tanque de concreto u otro material.(Deloya Martínez, 2001). Cuando la sección del disco está sumergida, la biomasa adherida a ella consume materia orgánica presente en el agua residual, mientras que, durante su exposición al aire, la biopelícula arrastra una capa de agua que escurre sobre la superficie del disco y absorbe oxígeno. De esta manera, la biopelícula consume materia orgánica y oxígeno para su desarrollo, propiciando la disminución de la demanda de oxígeno del agua residual.(Menéndez Gutiérrez & Dueñas Moreno, 2020). La composición microbiológica de la biopelícula varía en la misma dirección y sentido en que se mueve el flujo del agua residual a través de las sucesivas etapas del reactor. La diversidad de microorganismos que se desarrollan da origen a un cultivo mixto. La variedad y proporción de estos depende de parámetros tanto operacionales como ambientales. Los factores que determinan las características de la biopelícula son: carga hidráulica y orgánica a las que opera el biodisco, velocidad de rotación de los discos, composición del agua residual, pH, temperatura y disponibilidad de oxígeno, (Menéndez Gutiérrez & Dueñas Moreno, 2020Cortez et al. (2008). Una vez mezclada nuestra agua residual con 10 ml/L de diésel



y 10 ml/L de aceite para engranajes SAE 90 observamos en la figura 5 el agua que contiene una capa aceitosa la cual tiene ya contacto con los biodiscos.



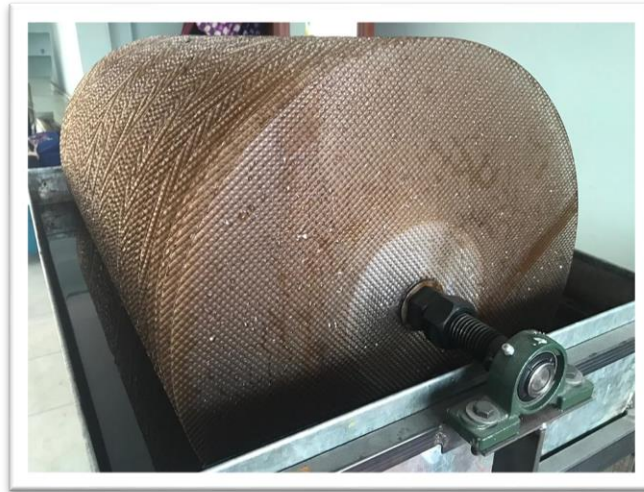
**Figura 5** Agua residual en contacto con los biodiscos. Fuente: Autores.

Durante el tiempo ensayado se generó sobre las paredes la película biológica que alcanzó aproximadamente 2 mm de espesor. En la figura 6 mostramos la formación de la biomasa de un prototipo realizado por aguas residuales obtenidas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba-Cuenca.(Duque Sarango et al., 2018)



**Figura 6** Prototipo construido. (Duque Sarango et al., 2018)

Al momento de iniciar el proceso de biorremediación y teniendo presente que las bacterias están en reactor observamos la formación de la biomasa como se ve en la figura 7.



**Figura 7** Formación de la biomasa del prototipo para hidrocarburos. Fuente: Autores.

#### 4.1.2. NORMATIVA VIGENTE.

En la constitución de la República del Ecuador, en el anexo 1 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

La presente norma técnica determina o establece:

- a. Los principios básicos y enfoque general para el control de la contaminación del agua;
- b. Las definiciones de términos importantes y competencias de los diferentes actores;
- c. Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos;
- d. Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;
- e. Permisos de descarga;
- f. Los parámetros de monitoreo de las descargas de industrias de importancia.

Criterios de calidad para aguas de uso industrial se entiende por uso industrial del agua su empleo en actividades como:

- a. Procesos industriales y/o manufactureros de transformación o explotación, así como aquellos conexos o complementarios;
- b. Generación de vapor para procesos industriales y energía;
- c. Generación de energía hidroeléctrica
- d. Minería.

Para el uso industrial, se deberán observar los diferentes requisitos de calidad correspondientes a los respectivos procesos, aplicando el criterio de tecnología limpia que permitirá la reducción o eliminación de los residuos (que pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos).(Ministerio del Ambiente, 2015). En la tabla 1 expresamos los límites permisibles para descargar agua ya tratada a una fuente de agua dulce.

**Tabla 1** Límites Permisibles para descarga a fuentes de agua dulce. Fuente: Autores.

Parámetro	Límite máximo permisible	Unidad
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	250	mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno DQO	500	mg/l
Hidrocarburos totales de petróleo	20	mg/l
Potencial de Hidrógeno	6-9	
Temperatura	< 45	°C

## 4.2. MÉTODO PARA DETERMINAR LOS TPH EN EL AGUA RESIDUAL.

Antes de establecer el método, se requiere en primera instancia definir la calidad del agua en cuanto a sus contaminantes con hidrocarburos para determinar las condiciones requeridas para remediar dicha agua residual con hidrocarburos.

Estableciendo un análisis general se puede afirmar que las aguas residuales ricas en hidrocarburos son principalmente una consecuencia de la refinación de petróleo crudo

en las industrias petroquímicas y la cantidad (1,2-1,6 litros/litros de crudo refinado) (Coelho y col., 2006; Sharghi et al., 2016) es sustancial. Las aguas residuales de las estaciones de servicio de automóviles también aportan hidrocarburos similares a la corriente de aguas residuales (Mallick y Chakra-borty, 2019a). Además del predominio de los hidrocarburos, los inorgánicos como el amoníaco, el sulfuro y el nitrato también contribuyen a la sopa química liberada por estas industrias (Diya'uddin et al., 2011). Algunos de los hidrocarburos pueden contener merceptanos y compuestos orgánicos de azufre. (MoEF, 2010). Las refinerías de petróleo pueden generar aguas residuales que constan de más de 2500 compuestos complejos que varían en sus propiedades químicas y físicas (Razavi y Miri, 2015), tales como aceite, compuestos BTEX, sulfuros, sólidos disueltos, sólidos en suspensión, metales tóxicos, compuestos que ejercen DBO y DQO.

La demanda de la sociedad mundial por el uso de petróleo y sus derivados tanto para ser usados en procesos industriales como a nivel de usuarios es cuantiosa. El poder usar estos recursos requiere que las empresas petroleras lleven a cabo actividades de exploración, explotación, refinación, industrialización, comercialización, distribución de gas por redes, transporte y almacenaje. Todo esto conlleva una alta contaminación de ecosistemas terrestres y acuáticos, debido al derrame de petróleo crudo y sus derivados. La mayor contaminación proviene del uso de este material tanto para vehículos como en la industria. Por otro lado, la mayoría de las emisiones producidas por estos compuestos puede representar riesgos irreversibles, como consecuencia de sus diferentes concentraciones depositadas en el agua o suelo. Además, por sus características de persistencia durante largos periodos de tiempo, así como por los cambios adversos producidos al entrar en contacto con la flora, fauna y con seres humanos, hace que el petróleo y sus derivados sean contaminantes altamente peligrosos.(Rodríguez-Gonzales et al., 2022)

Los hidrocarburos del petróleo se clasifican en cuatro clases: saturados, aromáticos, asfáltenos y resinas. Los saturados, entre los que se encuentran los alifáticos, presentan una tasa mayor de degradación con respecto a los aromáticos. El petróleo crudo es el más susceptible a la descomposición microbiana. (Patricia Lozano, 2005)

Para conseguir nuestro objetivo planteamos realizar un estudio experimental de un prototipo y para ello debemos conocer los datos de nuestro afluente, en la tabla 2 se presentan los métodos o técnicas para determinar los parámetros requeridos, con ayuda de un laboratorio indagué sobre los procesos de cuantificación de las propiedades físicas químicas del agua a tratar.

**Tabla2** *Análisis Técnico - Análisis Físico -Químico (Acuerdo ministerial N.- 097. Tabla 9) Parámetros a realizar en el laboratorio de nuestro afluente.*

<b>Parámetro</b>	<b>Método - Técnica</b>
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	APHA 5210 B ELECTROMETRÍA
Demanda Bioquímica de Oxígeno DQO	APHA 5220 D COLORIMETRÍA
Hidrocarburos totales de petróleo	EPA 418.1 - ESPECTROFOTOMETRÍA INFRAROJA
Potencial de Hidrógeno	AOAC 981.12 - POTENCIOMÉTRICO
Temperatura	APHA 2550 B - TÉRMICO

EPA 418.1 Espectrofotometría Infrarroja es el método o la técnica utilizada para determinar la cantidad de hidrocarburos existentes en el agua residual que se mide en las siguientes unidades mg/l.

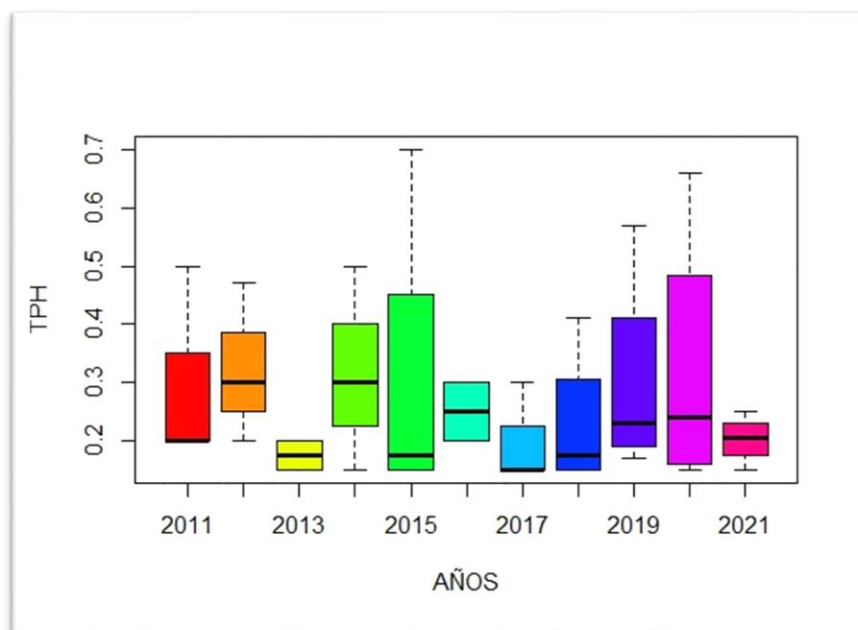
Se define HTP por IR, a cualquier hidrocarburo extractable por un solvente, el cual no es removido por la sílica gel y que puede ser detectado por un espectrómetro de rayos infrarrojos. (Cantero, J.; Videla, S.; Gálvez, J.; Vardaro, S.; Tettamanti, G.; López, A. y Ercoli, n.d.).

La principal ventaja del método es que resulta simple, rápido y económico. La espectroscopia IR mide la vibración que se produce cuando una molécula absorbe energía calórica de la región infrarroja del espectro electromagnético. Los diferentes grupos funcionales y los tipos de enlaces tienen diferentes frecuencias e intensidad de absorción. El método para determinar HTP por IR mide la absorbancia del enlace

carbono – hidrógeno. La mayoría de los métodos por IR miden absorbancias a una frecuencia simple (usualmente  $2930\text{ cm}^{-1}$ ) que corresponde a la resistencia que ofrecen los grupos alifáticos. Algunos métodos usan frecuencias mayores (entre  $2960$  y  $3000\text{ cm}^{-1}$ ) para enlaces carbono - hidrógeno en moléculas de compuestos aromáticos. Las muestras son tratadas con solventes adecuados (sin enlaces carbono – hidrógeno aromáticos). Las sustancias o compuestos biogénicos polares son removidos con sílica gel. Algunos hidrocarburos polares del petróleo también son removidos por la sílica de limpieza. El solvente específico de la técnica es el freón. Pero actualmente no se lo utiliza debido a los efectos ambientales que genera. Un solvente alternativo es el tetracloruro de carbono, aunque también presenta características toxicológicas que deben ser contempladas. El tetracloroetileno, también conocido como percloroetileno, es usado en algunos países. Solventes como el metanol, cloruro de metileno o hexano, no se usan como solventes para IR debido a que poseen enlaces carbono – hidrógeno que son cuantificados. En esta técnica es importante utilizar estándares de calibración semejantes o comparables con el tipo de hidrocarburos a determinar. El método de espectroscopia infrarrojo más frecuentemente usado es el EPA Method 418.1 (EPA – 600 / 4-79-020 Método para análisis químico de aguas y aguas residuales) solamente es apropiado para muestras de agua. (Cantero, J.; Videla, S.; Gálvez, J.; Vardaro, S.; Tettamanti, G.; López, A. y Ercoli, n.d.)

La norma EPA 418.1 utiliza una mezcla específica de calibración constituida por 15 partes de N-hexano, 15 partes de isooctano y 10 partes de clorobenceno.(Cantero, J.; Videla, S.; Gálvez, J.; Vardaro, S.; Tettamanti, G.; López, A. y Ercoli, n.d.)

En la figura 6 se ilustra numéricamente los hidrocarburos totales de petróleo que como se observa se tiene datos estadísticos de alrededor de diez años los mismos que nos sirve de referencia para el diseño.



**Figura 6.** Gráfica de cajas y bigotes comparativa de los hidrocarburos totales de petróleo vs los años de muestreo. Fuente: Autores.

### 4.3. MICROORGANISMOS O BACTERIAS UTILIZADAS EN LA BIORREMEDIACIÓN.

Como define (Das & Chandran, 2011; Chibuike & Obiora, 2014) citado en (Mayz & Manzi, 2017) la biorremediación es una tecnología prometedora para el tratamiento de sitios contaminados, ya que es de bajo costo, lleva a la completa mineralización y no requiere técnicas sofisticadas para su funcionamiento. Se puede igualmente llevar a cabo in situ, eliminando así los riesgos asociados con el transporte de los suelos contaminados.

Los microorganismos o bacterias nos pueden ayudar a la biorremediación del agua contaminada con hidrocarburos.

En los procesos de depuración de aguas residuales, los tratamientos biológicos se convierten en una alternativa de gran importancia. Su aplicación se fundamenta en la

capacidad de los microorganismos para eliminar por digestión y descomposición la materia orgánica biodegradable presente en aguas residuales (Behling et. al., 2003).

Para que los microorganismos "coman" y descompongan el compuesto de manera eficiente, deben cumplir ciertas condiciones: adecuada temperatura, agua conveniente, nutrientes necesarios y oxígeno apropiado (para microorganismos aeróbicos) (Ossai et al., 2020).

Los microorganismos presentes en el agua se adhieren a los discos formando una película de biomasa (biopelícula) con concentraciones de sólidos en suspensión de hasta 30.000 mg/l. Esta elevada concentración de microorganismos permite alcanzar altos rendimientos con tiempos de retención mínimos y sin necesidad de recirculación de fangos. (Nathalie Schmitt & Ricard García Cudinachy y Jordi Dalmau Soley, n.d.)

De acuerdo a (Vandera & Koukkou, 2017) citado en (Espinosa-Rodríguez et al., 2020). Una herramienta para solucionar este problema ambiental es el uso de microorganismos naturales para degradar o descomponer sustancias que son contaminantes y convertirlas en otras menos tóxicas o inocuas para el medio ambiente. Esta herramienta biotecnológica se llama biorremediación y es una tecnología emergente que utiliza organismos vivos (plantas, algas, hongos y bacterias) para absorber, degradar o transformar los contaminantes y retirarlos, inactivarlos o atenuar su efecto en el suelo, el agua y el aire.

En cuanto a la degradación de los hidrocarburos aromáticos, se puede hacer de manera aeróbica, en la cual las *Pseudomonas* es la especie mejor estudiada. (Patricia Lozano, 2005).

Los miembros del género *Pseudomonas* son conocidos por su capacidad de degradación aeróbica de numerosos hidrocarburos, compuestos aromáticos y sus derivados, que son compuestos naturales y productos finales o intermediarios de actividades industriales. (N. G. García, n.d.)



Tienen unos requerimientos nutricionales muy sencillos y crecen quimioorganotróficamente a pH neutro y a temperaturas en el rango de los mesófilos. La temperatura óptima para el crecimiento de la mayoría de las especies es aproximadamente 28°C aunque su rango de crecimiento generalmente oscila entre 18 y 37°C. Algunas especies pueden crecer a temperaturas cercanas a 4°C y por lo tanto, pueden considerarse psicrófilas en este caso. Para otras especies la temperatura máxima a la que pueden crecer es 45°C. Ninguno de los miembros del género tolera condiciones ácidas y el crecimiento es inviable a pH menor a 4.5. (N. G. García, n.d.)

Las bacterias encargadas de la biorremediación del agua contaminada se determinaron que las cepas de *Pseudomonas Fluorescens* ATCC 13525.

La descomposición del petróleo por la vía microbiana es un mecanismo ágil y seguro para eliminar la contaminación. Por esto es importante estudiar las formas por las cuales los microorganismos asimilan los compuestos del petróleo y de qué manera se puede acelerar el proceso de descontaminación. Se han desarrollado tecnologías de biorremediación en las cuales actúan microorganismos o plantas que permiten la descomposición de compuestos tóxicos. (Patricia Lozano, 2005)

## 5. MATERIALES Y METODOLOGÍA

### 5.1. AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.

En esta investigación se evaluó la biodegradación aeróbica en un reactor RBC del efluente de la Central Térmica el Descanso, el efluente proviene del sótano de la central en donde se concentran todos los hidrocarburos utilizados en la generación de energía térmica. La separación del agua y de los hidrocarburos se lo realiza en una planta de separación (separadores API). El agua proveniente de la planta API se conduce directamente al río Cuenca en la descarga. En la figura 8 obtenemos el agua residual del sótano de la central térmica antes que llegue a la planta API para su tratamiento.



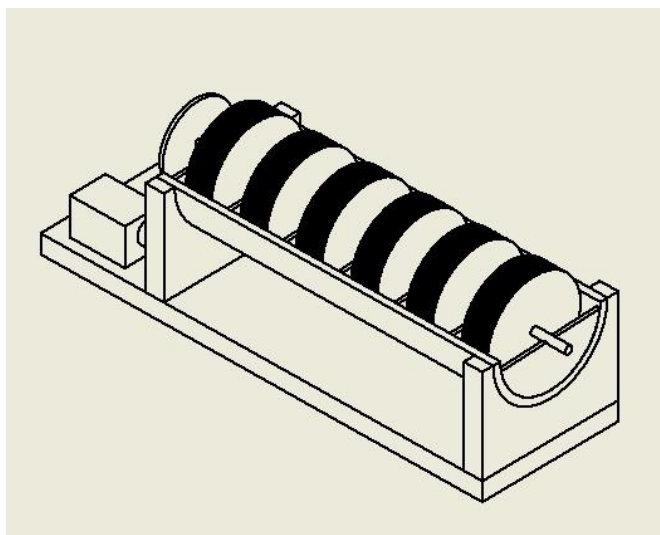
**Figura 8.** Agua residual sótano de la Central Térmica el Descanso. Fuente: Autores.

La contaminación de aguas con hidrocarburos es un problema medioambiental que ocasiona daños ecológicos de gran importancia con un efecto negativo en diferentes ámbitos (salud, agricultura, pesca...etc.), y por ello provoca un interés y preocupación a nivel científico, social y de las autoridades.(Alfonso rodriguez calvo, 2017)

Las muestras del efluente se recolectaron en 5 recipientes de plástico con una capacidad de 18,92 litros cada uno obteniendo 94,63 litros de agua con hidrocarburos y mantenidas a temperatura ambiente 15 °C, para comprobar la eficiencia del reactor se mezcló el agua con 10 ml de diésel y 10 ml de aceite SAE 90 para lubricación de engranajes.

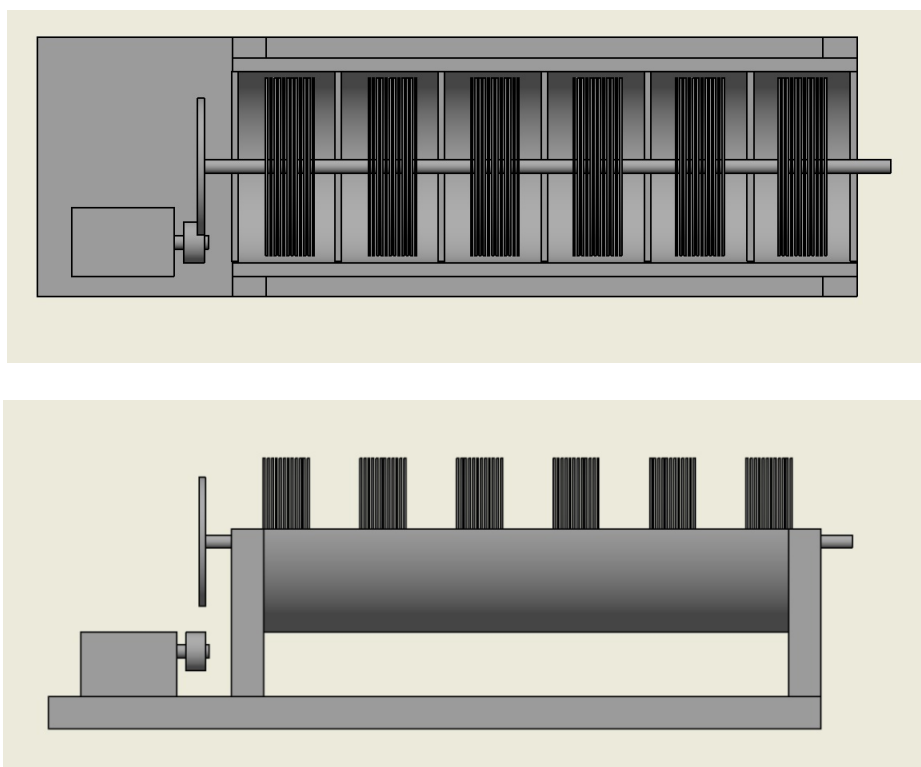
## 5.2. ARMADO DEL BIORREACTOR.

Se colocó el tanque recolector de forma semicilíndrica fabricado en acero inoxidable para evitar la corrosión con el agua residual, encima de una estructura metálica conjuntamente con el motor que va a dar el movimiento de las revoluciones por minuto ensamblado a lado izquierdo del tanque para dar el corte con el agua y provocar la aireación del reactor biológico, el motor alimentado con voltaje de 110 voltios previo a una transformación a 12 voltios por medio de presostato para poder subir y bajar la revoluciones por minuto del eje que conlleva los 30 discos de poliuretano los que se encargaran de que se adhiera con el paso del tiempo la biomasa que crecerá con las bacterias introducidas al reactor (ver Figura 9).



**Figura 9.** Grafica del prototipo – vista de primera posición. Fuente: Autores.

En el diseño del prototipo se plantea utilizar 94,63 litros de agua del efluente extraída de la planta API, este líquido es el que se descarga al río Cuenca, esta cantidad de agua servirá para realizar el experimento y la verificación de la efectividad de sistema. Luego de proceder al llenado del medio tanque de acero en donde se van a ubicar los biodiscos de poliuretano emplazados en línea sobre el agua a tratar y hacer girar mediante un motor eléctrico a bajas revoluciones por minuto (7 rpm) por un promedio de 10 días y (10 rpm) por unos 18 días, en los discos se concentrará la biomasa y realizará el tratamiento del agua residual consecuentemente la disminución de los hidrocarburos de petróleo planteado como hipótesis. En las figuras 9 y 10 se presentan bosquejos del prototipo de sistema de biodiscos.



**Figura 10.** Gráfica del prototipo – vista de segunda posición. Fuente: Autores.

Después de realizar el diseño del sistema de biorreactor se procedió con la construcción del prototipo, en función de todas las características y condiciones establecidas, en la figura 11 se muestra el biorreactor implementado.



**Figura 11.** Reactor Biológico Manufacturado. Fuente: Autores.

En la tabla 3 se presenta las características principales con las que se construyó el reactor biológico de contactores.

**Tabla 3** Datos completos de nuestro prototipo. Fuente: Autores.

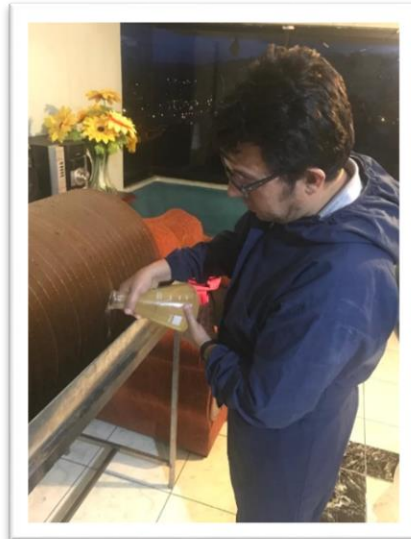
PARAMETRO	VALOR
Diámetro del disco	46 cm
Diámetro del tanque	58 cm
Longitud del tanque	99,7 cm
Porcentaje del disco sumergido	40 %
Espesor del disco	2 mm
Área de contacto total	7,97 m <sup>2</sup>
Cantidad de discos	30
Velocidades de giro	7 rpm /10 rpm
Espaciamiento entre discos	3 cm

### 5.3. UBICACIÓN DE LAS BACTERIAS PSEUDOMONAS.

Al inicio del proyecto se investigó sobre el tipo de bacterias ideales para biodegradar hidrocarburos en aguas residuales llegando a conseguir cepas inoculadas de *Pseudomonas Fluorescens* (Atcc 13525) importadas por una empresa ubicada en la ciudad de Guayaquil las mismas que tuvieron que ser mantenidas en refrigeración, luego en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca se deshidrataron para obtener una solución de 1 litro como vemos en la figura 10 y consecuentemente ser vertidas en el biorreactor figura 11.



**Figura 10.** Matraz de 1000 ml que contienen los microorganismos. Fuente: Autores.



**Figura 11.** Colocación de los microorganismos en el reactor. Fuente: Autores.

La cepa adquirida se encuentra desactivada hay que seguir las indicaciones para deshidratarlas según la ficha técnica de esta bacteria, a continuación, se establece el procedimiento.

Añadir 51,4 g del polvo en 1 litro de agua destilada que contenga 10 ml de glicerol. Esterilizar en una autoclave a 121°C durante 15 minutos. Enfriar a 45-50 °C y añadir 2 viales del suplemento Selectivo CFC (Ref. 06-726LYO1). Homogeneizar y verter en placas. (Base & Kauffman, 2020)

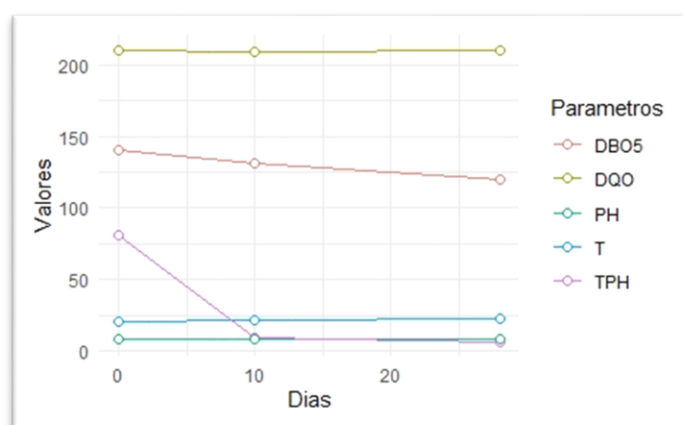
## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para iniciar el estudio, se necesitó conocer con cuanto porcentaje de TPH abarca nuestra agua residual por lo que el primer análisis nos demostró los siguientes resultados en la tabla 4:

**Tabla 4** Datos de nuestro afluente. Fuente: Autores.

Parámetro	Método - Técnica	Resultado	Unidad
Demanda Bioquímica De Oxígeno Dbo5	Apha 5210 B Electrometría	140	mg/l
Demanda Bioquímica De Oxígeno Dqo	Apha 5220 D Colorimetría	210,5	mg/l O <sub>2</sub>
Hidrocarburos Totales De Petróleo	Epa 418.1 - Espectrofotometría Infrarroja	80,713	mg/l
Potencial de hidrógeno	Aoac 981.12 - Potenciométrico	8,4	upH
Temperatura	Apha 2550 B - Térmico	23	°C

En la figura 12 se ilustra los resultados obtenidos en las tres pruebas realizadas en un tiempo de 28 días iniciando con los datos de nuestro afluente y las otras dos pruebas del efluente en un tiempo de 10 días y 28 días respectivamente como se puede observar los Hidrocarburos Totales de Petróleo disminuyeron en un 91 % al aplicar la cepa inoculada de *Pseudomonas Fluorescens*.



**Figura 12.** Gráfica de los parámetros de estudio en las pruebas de laboratorio. Fuente: Autores.



En las tablas 5, 6, 7 se ilustra los resultados obtenidos en las pruebas realizadas a nuestra agua residual.

**Prueba numero 1 Fecha: 2023-03-03**

**Tabla 5 Prueba número1. (Autor).**

<b>Parámetro</b>	<b>Método - Técnica</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	APHA 5210 B ELECTROMETRIA	140	mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno DQO	APHA 5220 D COLORIMETRIA	210,5	mg/l O <sub>2</sub>
Hidrocarburos totales de petróleo	EPA 418.1 - ESPECTROFOTOMETRIA INFRAROJA	80,713	mg/l
Potencial de hidrogeno	AOAC 981.12 - POTENCIOMETRICO	8,4	upH
Temperatura	APHA 2550 B - TERMICO	23	°C

**Prueba numero 2 Fecha: 2023-03-31**

**Tabla 6 Prueba número 2. Fuente: Autores.**

<b>Parámetro</b>	<b>Método - Técnica</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	APHA 5210 B ELECTROMETRIA	131	mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno DQO	APHA 5220 D COLORIMETRIA	210	mg/l O <sub>2</sub>
Hidrocarburos totales de petróleo	EPA 418.1 - ESPECTROFOTOMETRIA INFRAROJA	9,387	mg/l
Potencial de hidrogeno	AOAC 981.12 - POTENCIOMETRICO	8,32	upH
Temperatura	APHA 2550 B - TERMICO	21,65	°C

**Prueba numero 3 Fecha: 2023-04-10****Tabla 7 Prueba número 3. Fuente: Autores.**

<b>Parámetro</b>	<b>Método - Técnica</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	APHA 5210 B ELECTROMETRIA	120	mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno DQO	APHA 5220 D COLORIMETRIA	209	mg/l O <sub>2</sub>
Hidrocarburos totales de petróleo	EPA 418.1 - ESPECTROFOTOMETRIA INFRAROJA	6,488	mg/l
Potencial de hidrógeno	AOAC 981.12 - POTENCIOMETRICO	8,24	upH
Temperatura	APHA 2550 B - TERMICO	20,3	°C

\*Acuerdo Ministerial Nro. 097A. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces.

Se utiliza la tabla 1 para comparar los límites permisibles con los resultados obtenidos en la prueba 3, que se expresa en la tabla 7.

Al realizar una comparación de los datos de la tabla 1 con sus respectivos de la tabla 7, se expresan los criterios admisibles y los determinados por el estudio, afirmando que se cumple con lo establecido en la norma respectiva (revisada anteriormente) se puede indicar que en estas condiciones el agua tratada puede devolverse al río.

En los resultados obtenidos después del tiempo de permanencia del agua residual en el biorreactor desarrollado, se nota una disminución considerable de los hidrocarburos totales de petróleo contenidos, el indicador que se obtuvo fue de 6,488 mg/l, con lo que se puede decir que la cepa inoculada de bacterias *Pseudomonas Fluorescens* generaron resultados satisfactorios en el proceso ejecutado para remediar el agua residual, cabe recalcar que el agua residual viene ya de un proceso de decantación previo al ingresos en el prototipo de ensayo.

Los materiales que se utilizaron para la construcción del prototipo fueron escogidos a raíz de los resultados de otras investigaciones realizadas con diferentes tipos de aguas residuales, como en el caso de aguas residuales no domésticas, por ejemplo.

Para llevar a cabo la evaluación del sistema RBC, se realizó una primera fase que comprendió la caracterización del afluente para obtener datos de entrada en el sistema. Esta caracterización se realizó con muestras obtenidas de una planta de tratamiento de la industria de bebidas no alcohólicas.(Quintero Pulgar et al., 2021)

Otro caso analizado, hace referencia que el lodo utilizado para dar partida al sistema fue obtenido de una estación de tratamiento de aguas residuales domésticas ubicada en el Municipio Miranda de la Costa Oriental del Lago de Maracaibo (Venezuela). (Cárdenas et al., 2012)

## 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

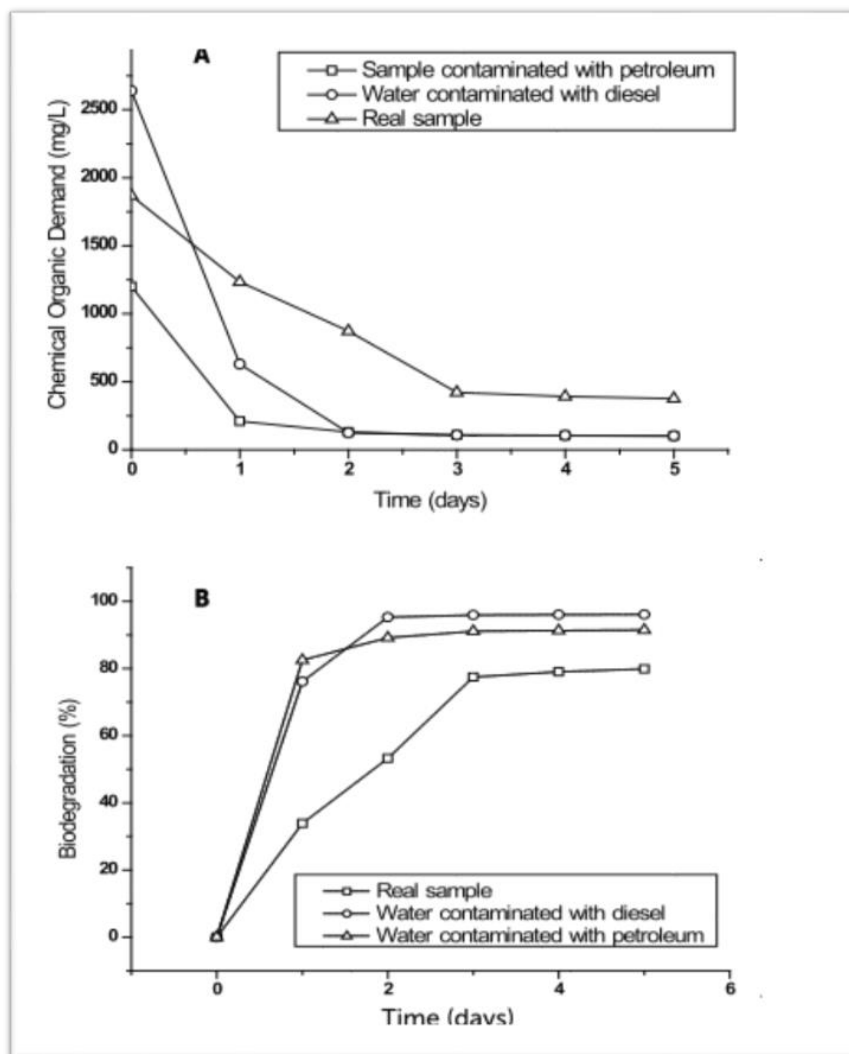
---

En este apartado se comparará algunas investigaciones realizadas sobre la biodegradación de hidrocarburos en aguas residuales, teniendo como objetivo determinar si el diseño desarrollado presentó los resultados esperados.

### **Contaminación de muestras de agua y montaje de reactores y métodos analíticos.**

Las muestras de agua contaminada fueron preparadas tomando nueve volúmenes de medio mínimo (consorcio bacteriano), por un volumen del hidrocarburo (diésel o petróleo). Los sistemas se mantuvieron en agitación por 24 h a 200 rpm a 30 °C. Se utilizaron tres reactores (Figura 2), con un volumen de 600 ml. Se mantuvieron condiciones aerobias, proporcionando un flujo de aire de 60 l/h y una temperatura constante de 30 °C. Los reactores fueron cargados con 450 ml de muestra contaminada, dos con muestra contaminada con petróleo y dos con muestra contaminada con diésel. Se adicionaron 50 ml del inóculo correspondiente a un reactor conteniendo muestra contaminada con diésel y a otro con muestra contaminada con petróleo. Los dos restantes se completaron con solución de medio mínimo para tomarse como blancos. Las condiciones se mantuvieron por seis días, tomando muestras de 2 ml cada 12 h. (N. García et al., 2018)

Se analiza a continuación en la figura 13 las gráficas de este estudio en donde compara tres diferentes tipos de aguas, una contaminada con diésel, la segunda con petróleo y la última es agua sin contaminar según se observa tiene una capacidad de biodegradación muy alto en un tiempo de 6 días.

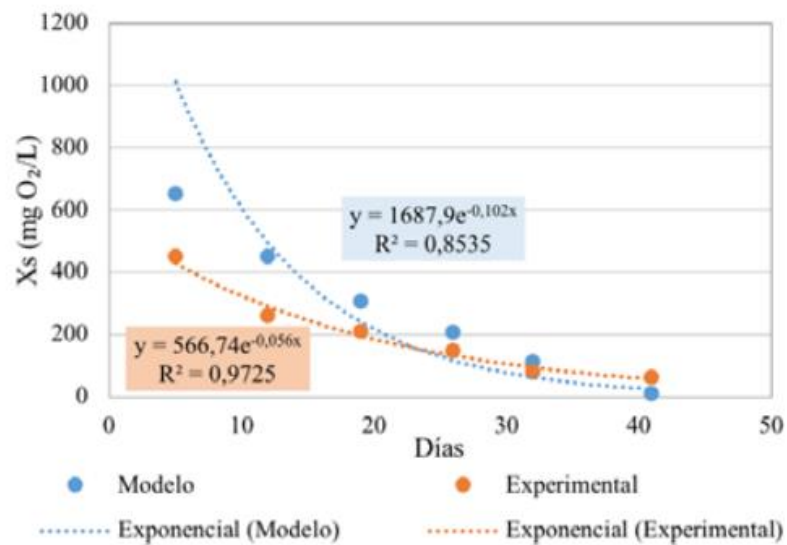


**Figura 13.** En la gráfica se observa A: Disminución de DQO y B: porcentaje de biodegradación. (N. García et al., 2018).

En un estudio realizado en la ciudad de Cuenca se obtubieron resultados prometedores en un prototipo de CBR que a continuación se describe y se grafica en la figura 14.

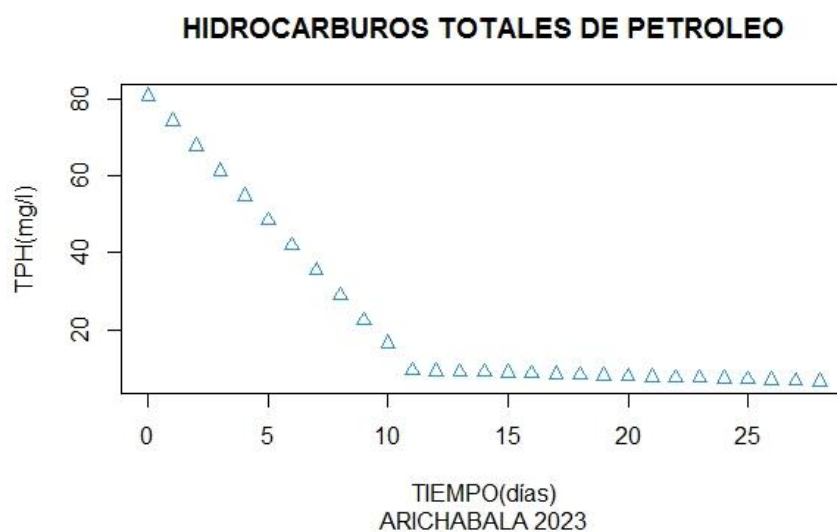
Siendo una propuesta tecnológica válida para el tratamiento de aguas residuales urbanas, en este caso generadas en la ciudad de Cuenca, puesto que los resultados muestran buenos rendimientos en la remoción de contaminantes orgánicos. Para realizar el diseño con una remoción de DQO del 90% se trabajó con CBR de 4 etapas

demostrando una eficacia experimental del 86% de remoción. (Duque Sarango et al., 2018)



**Figura 14.** Variación de las concentraciones de materia orgánica ( $X_s$ ; mg  $O_2$ /L) con el modelo matemático vs datos experimentales. (Duque Sarango et al., 2018)

Como se ve en la figura 15 el reactor diseñado para degradar hidrocarburos se obtuvo algo similar que se explica a continuación. En la siguiente figura se plasma la representación de la degradación de los hidrocarburos totales de petróleo de una forma lineal tomando datos relativos en el tiempo de 28 días, se ve una degradación en los 10 primeros días de un 91%, según los estudios realizados en estos tipos de tratamientos.

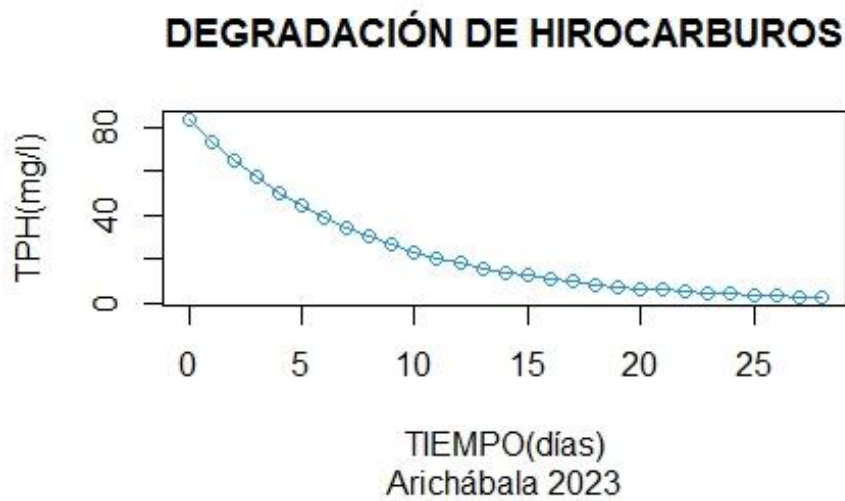


**Figura 15.** Relación de los hidrocarburos totales de petróleo vs el tiempo. Fuente: Autores.

En la figura 16 se ha encontrado la representación de la degradación de los hidrocarburos totales de petróleo de una forma exponencial ajustando a la curva en una ecuación que se obtuvo  $y = 83,56 \times 0,88^x$ .

Este modelo de ecuación nos puede servir para futuros modelos en donde se puede cambiar los datos en la variable “y” siendo la tendencia de los hidrocarburos totales de petróleo y la variable “x” el tiempo de degradación.

$$y = 83,56 \times 0,88^x.$$



**Figura 16.** Relación de los hidrocarburos totales de petróleo vs el tiempo en una forma exponencial. (Autor)

El estudio desarrollado para remediar aguas residuales descargadas a una fuente natural por medio de Biodiscos o también llamado reactor de contactores biológicos aplicado a una contaminación por hidrocarburos y utilizando microorganismos como son la *Pseudomona Fluorescens* se puede concluir que fue un éxito, al observar la biodegradación de hidrocarburo en el tiempo, este sistema aerobio podría ser la solución para muchas industrias que contaminamos las fuentes de agua que en algunos espacios del tiempo por el cambio climático nos hace mucha falta a nivel mundial.



## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

En la Central Térmica el Descanso, se utiliza para el proceso de generación de energía eléctrica una alta cantidad de hidrocarburos, mismos que durante la operación han contaminado el agua que se utiliza en dicho proceso, por lo que pueden generar una mayor contaminación a fuentes de agua ya que los hidrocarburos son altamente contaminantes.

Alrededor de cuatro décadas, la Central Térmica el Descanso, ha sufrido varios eventos catastróficos como inundaciones, debidas principalmente a la fuerza de la naturaleza, ya que el agua de los afluentes naturales que rodean esta central, como es el río Cuenca y el río Burgay, pueden entrar en contacto con los combustibles y aceites pesados, provocando una contaminación a gran escala que puede perjudicar las poblaciones que habitan agua abajo.

El presente estudio se basa en presentar un alternativa para la biorremediación natural de los contaminantes, utilizando microorganismos como lo son las *Pseudomonas Fluorescens* (Atcc 13525) , estas bacterias como todo ser vivo necesita de nutrientes para poder sobrevivir completando su ciclo natural, el momento que se reactivan los microorganismos necesitan de una fuente de carbono para vivir el mismo que lo consiguieron en el agua residual de la central térmica, lo que ha permitido presentar resultados satisfactorios al disminuir drásticamente el contenido de hidrocarburos en las aguas contaminadas.

Se recomienda realizar estudios con otro tipo de bacterias y comprobar la efectividad del tratamiento desarrollado. Por citar un ejemplo práctico, se describe brevemente lo analizado en una investigación, en donde se realiza estudios en agua y suelo contaminados con petróleo, para lo que se determina siete cepas bacterianas a partir de las muestras de agua y seis de las muestras de suelo. La identificación por

caracterización del gen ARNr 16S mostró que pertenecen a los géneros Klebsiella, Enteobacter, Pseudomonas, Serratia, Acinetobacter, Proteus y Morganella (Castillo Rogel et al., 2020).

El prototipo del reactor biológico depende mucho de las revoluciones por minuto con las que giran los discos, ya que con las pruebas desarrolladas se ha podido encontrar una definición clara de la importancia de las RPM en el biorreactor.

El giro de los discos de un RBC afecta al tratamiento del agua residual de varias formas. Permite el contacto entre la biomasa y el agua residual, produce un esfuerzo cortante entre agua y biomasa que hace desprenderse la biomasa en exceso y airea el agua residual. (Bezanilla, 1993).

El Ministerio del Ambiente del Ecuador, establece límites permisibles para el vertimiento de aguas industriales hacia las fuentes hídricas indicando que el tratamiento por biodiscos sea efectivo pudiendo degradar los 80,713 mg/l a 6,488 mg/l de hidrocarburos totales de petróleo en un periodo de 28 días, la norma permite como límite 20mg/l de hidrocarburos totales de petróleo.

Se constituyeron los parámetros de diseño necesarios para la construcción del prototipo de birreactor de contactores, el cual presentó resultados de biodegradación de los hidrocarburos satisfactorios, con números por debajo de lo establecido como límite en la norma.

Hay que tomar en cuenta que el motor que da el movimiento al eje principal que conlleva los discos de poliuretano, debe tener la fuerza necesaria para mover el número de discos, que en este caso específico son 30, además debe tener la fuerza suficiente para desarrollar el corte que realiza con el agua y el peso de cada disco va adquiriendo con la creación de la biomasa. Durante las pruebas realizadas y al paso de los días de ensayo se verificó que se requería una mayor potencia del motor, el cual tuvo que ser cambiado por otro porque su potencia de reducción no fue suficiente.

La implementación de sistemas de biorremediación en lugares que están siempre en contacto con derivados de petróleo, como es el caso de lavadoras de vehículos, por ejemplo, es de mucha importancia, ya que constantemente el agua se ve contaminada

con residuos de hidrocarburos. Otros casos de focos de contaminación de aguas son las lubricadoras, estaciones de abastecimiento de combustibles, centrales hidroeléctricas que utilizan combustibles fósiles, etc.

# 9. ANEXOS



Acreditación N° SAE LEN 16-018  
LABORATORIO DE ENSAYOS

Informe: MSV-IE-449-23  
Orden de ingreso: OI-169-23  
Cuenca, 15 de Marzo del 2023

## INFORME DE RESULTADOS

### DATOS DEL CLIENTE

Cliente: EDWIN RAFAEL ARICHABALA  
Dirección: CUENCA  
Teléfono: 0994757008

### DATOS DE LA MUESTRA

<sup>1</sup> NOMBRE DE LA MUESTRA: AGUA CONTAMINADA			
<sup>2</sup> MARCA COMERCIAL: N/A		<sup>2</sup> FABRICANTE: N/A	
PROCEDENCIA: CUENCA	TIPO DE MUESTRA: AGUA	<sup>2</sup> TIPO DE ENVASE: PET	
<sup>2</sup> PRESENTACIONES: 1 L		<sup>2</sup> FORMA DE CONSERVACION: AMBIENTE FRESCO Y SECO	
CODIGO MUESTRA: OI16923	<sup>2</sup> LOTE: N/A	<sup>2</sup> FECHA ELAB: 2023-03-03	<sup>2</sup> FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2023-03-03	FECHA ANALISIS: 2023-03-03 - 2023-03-15	FECHA ENTREGA: 2023-03-15	
ENSAYO EN: LABORATORIO	MUESTREO: CLIENTE	NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)	

### ENSAYOS ANÁLISIS FISICO-QUIMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMS VFQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	140	±32.88%
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO	APHA 5220 D / PEMS VFQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	210.5	±26.44%
***HIDROCARBUROS TOTALES DEL PETROLEO	EPA 418.1 - ESPECTROFOTOMETRIA INFRAROJA	mg/L	80.713	---
PH	APHA 4500H-B / PEMS VFQ001 - POTENCIOMETRICO	upH	8.4	±3.99%
*TEMPERATURA	APHA 2550 B - TERMICO	°C	23	---

\*Fuera del alcance de la acreditación. \*\*Subcontratado acreditado. \*\*\*Subcontratado no acreditado. U: INCERTIDUMBRE.



Dra. Sandra Guaraca  
GERENTE DE LABORATORIO

Cualquier información adicional correspondientes a los ensayos que requiera el cliente, están a disposición. Los datos e información de las muestras (tal como se reciben) y de los clientes, que puedan afectar la validez de los resultados han sido proporcionados por el cliente y son de su exclusiva responsabilidad. El Laboratorio no será responsable de los desvíos encontrados en los ítems de ensayo entregados por los clientes que puedan afectar a los resultados, que al ser detectados serán comunicados al cliente.

Los resultados expresados en este informe tienen validez solo para la muestra recibida en el laboratorio. Este informe no será reproducido sin la aprobación de MSV. <sup>4</sup>Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance del SAE. <sup>3</sup>Información proporcionada por el cliente. MSV se responsabiliza exclusivamente de los análisis realizados. Regla de decisión: <sup>1</sup>Pasa: el valor medido está por debajo del límite de tolerancia. <sup>2</sup>No pasa: el valor medido está por encima del límite de tolerancia; se tomará en cuenta la incertidumbre asociada al resultado, riesgo < 50% de probabilidad de aceptación no pasa, se aplicará en todos los ensayos. MSV está comprometido con la imparcialidad y Confidencialidad de la información y los resultados (este informe representa la aceptación de la política declarada de MSV en relación al tema)

FMC2104-05

Avenida de las Américas y Turuhuaico, Edificio Miraflores, 3er piso. Cuenca-Ecuador  
Teléfono: 074045127 Celular: 0995354172 msvlaboratorio@gmail.com

Página 1 de 1

**INFORME DE RESULTADOS**

Informe: MSV-IE-544-23  
Orden de ingreso: OI-224-23  
Cuenca, 24 de Marzo del 2023

**DATOS DEL CLIENTE**

Cliente: EDWIN RAFAEL ARICHABALA  
Dirección: CUENCA  
Teléfono: 0994757008

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>*NOMBRE DE LA MUESTRA:</b> AGUA CONTAMINADA DIA 10			
<b>*MARCA COMERCIAL:</b> N/A		<b>*FABRICANTE:</b> N/A	
<b>PROCEDENCIA:</b> CUENCA		<b>TIPO DE MUESTRA:</b> AGUA	<b>*TIPO DE ENVASE:</b> PET
<b>*PRESENTACIONES:</b> 1 L		<b>*FORMA DE CONSERVACION:</b> AMBIENTE FRESCO Y SECO	
<b>CODIGO MUESTRA:</b> OI22423	<b>*LOTE:</b> N/A	<b>*FECHA ELAB:</b> 2023-03-16	<b>*FECHA CAD:</b>
<b>FECHA RECEPCION:</b> 2023-03-16		<b>FECHA ANALISIS:</b> 2023-03-16 - 2023-03-24	<b>FECHA ENTREGA:</b> 2023-03-24
<b>ENSAYO EN:</b> LABORATORIO		<b>MUESTREO:</b> CLIENTE	<b>NUMERO DE MUESTRAS:</b> UNO (1)

**ENSAYOS ANÁLISIS FISICO-QUIMICOS**

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMSVMQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	131	±32.88%
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO	APHA 5220 D / PEMSVMQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	210	±26.44%
HIDROCARBUROS TOTALES DEL PETROLEO	EPA 418.1 - ESPECTROFOTOMETRIA INFRAROJA	mg/L	9.387	---
PH	AOAC 981.12 - POTENCIOMETRICO	upH	8.32	---
TEMPERATURA	APHA 2550 B - TERMICO	°C	21.65	---



Dra. Sandra Guaraca  
GERENTE DE LABORATORIO

Cualquier información adicional correspondientes a los ensayos que requiera el cliente, están a disposición. Los datos e información de las muestras (tal como se reciben) y de los clientes, que puedan afectar la validez de los resultados han sido proporcionados por el cliente y son de su exclusiva responsabilidad. El Laboratorio no será responsable de los desvíos encontrados en los ítems de ensayo entregados por los clientes que puedan afectar a los resultados, que al ser detectados serán comunicados al cliente.

Los resultados expresados en este informe tienen validez solo para la muestra recibida en el laboratorio. Este informe no será reproducido sin la aprobación de MSV. <sup>1</sup>Opciones e interpretaciones están fuera del alcance del SAE. <sup>2</sup>Información proporcionada por el cliente. MSV se responsabiliza exclusivamente de los análisis realizados. Regla de decisión: \*Pasa: el valor medido está por debajo del límite de tolerancia. \*No pasa: el valor medido está por encima del límite de tolerancia; se tomará en cuenta la incertidumbre asociada al resultado, riesgo de 50% de probabilidad de aceptación no pasa, se aplicará en todos los ensayos. MSV está comprometido con la imparcialidad y Confidencialidad de la información y los resultados (este informe representa la aceptación de la política declarada de MSV en relación al tema)



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL SAE CON  
ACREDITACION  
N°SAE-LEN-16-018

**INFORME DE RESULTADOS**

Informe: MSV-IE-678-23  
Orden de ingreso: OI-325-23  
Cuenca, 10 de Abril del 2023

**DATOS DEL CLIENTE**

Cliente: EDWIN RAFAEL ARICHABALA  
Dirección: CUENCA  
Teléfono: 0994757008

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b><sup>1</sup>NOMBRE DE LA MUESTRA:</b> AGUA CONTAMINADA DÍA 28			
<b><sup>2</sup>MARCA COMERCIAL:</b> N/A		<b><sup>3</sup>FABRICANTE:</b> N/A	
<b>PROCEDENCIA:</b> CUENCA	<b>TIPO DE MUESTRA:</b> AGUA	<b><sup>4</sup>TIPO DE ENVASE:</b> PET	
<b><sup>5</sup>PRESENTACIONES:</b> 1 L		<b><sup>6</sup>FORMA DE CONSERVACION:</b> AMBIENTE FRESCO Y SECO	
<b>CODIGO MUESTRA:</b> OI32523	<b><sup>7</sup>LOTE:</b> N/A	<b><sup>8</sup>FECHA ELAB:</b> 2023-03-31	<b><sup>9</sup>FECHA CAD:</b>
<b>FECHA RECEPCION:</b> 2023-03-31	<b>FECHA ANALISIS:</b> 2023-03-31 - 2023-04-06	<b>FECHA ENTREGA:</b> 2023-04-10	
<b>ENSAYO EN:</b> LABORATORIO	<b>MUESTREO:</b> CLIENTE	<b>NUMERO DE MUESTRAS:</b> UNO (1)	

**ENSAYOS ANÁLISIS FISICO-QUIMICOS**

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMSVMQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	120	±32.88%
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO	APHA 5220 D / PEMSVMQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	209	±26.44%
HIDROCARBUROS TOTALES DEL PETROLEO	EPA 418.1 - ESPECTROFOTOMETRIA INFRAROJA	mg/L	6.4883	---
PH	AOAC 981.12 - POTENCIOMETRICO	upH	8.24	---
TEMPERATURA	APHA 2550 B - TERMICO	°C	20.3	---

  
Dra. Sandra Guaraca  
GERENTE DE LABORATORIO

Cualquier información adicional correspondientes a los ensayos que requiera el cliente, están a disposición. Los datos e información de las muestras (tal como se reciben) y de los clientes, que puedan afectar la validez de los resultados han sido proporcionados por el cliente y son de su exclusiva responsabilidad. El Laboratorio no será responsable de los desvíos encontrados en los ítems de ensayo entregados por los clientes que puedan afectar a los resultados, que al ser detectados serán comunicados al cliente.

Los resultados expresados en este informe tienen validez solo para la muestra recibida en el laboratorio. Este informe no será reproducido sin la aprobación de MSV. <sup>1</sup>Opciones e interpretaciones están fuera del alcance del SAE. <sup>2</sup>Información proporcionada por el cliente, MSV se responsabiliza exclusivamente de los análisis realizados. Regla de decisión: <sup>3</sup>Pasa: el valor medido está por debajo del límite de tolerancia; <sup>4</sup>No pasa: el valor medido está por encima del límite de tolerancia; se tomará en cuenta la incertidumbre asociada al resultado, riesgo < 50% de probabilidad de aceptación no pasa, se aplicará en todos los ensayos. MSV está comprometido con la imparcialidad y Confidencialidad de la información y los resultados (este informe representa la aceptación de la política declarada de MSV en relación al tema)

## REFERENCIAS

---

- Alfonso rodriguez calvo. (2017). *Bioremediación de aguas contaminadas con hidrocarburos mediante sistemas Alfonso Rodríguez Calvo*. 203.
- Base, C., & Kauffman, M. (2020). *Producto Scharlau Microbiology - Ficha de Datos Técnicos Producto*. 24–25.
- Behling, E., Marín, J., Castro, E., Rincón, N., & Colina, G. (2013). Tratabilidad de un efluente industrial sintético ( sacarosa / leche ) en un sistema RBC anaeróbico de etapa simple. *Boletín Del Centro de Investigaciones Biológicas*, 47(1), 1–16.
- Bezanilla, J. A. (1993). *Depuración De Aguas Residuales En Un Contactor Biológico Rotativo Con Alternancia En El Sentido Del Flujo*. 1, 1–197.
- Cabrera Vallejo, M. V., Mejía-Lopez, A., & Carillo, Y. (2017). REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA MEDIANTE PROTOTIPO A ESCALA DE LABORATORIO. *La Granja*, 26(2), 72. <https://doi.org/10.17163/lgr.n26.2017.07>
- Cantero, J.; Videla, S.; Gálvez, J.; Vardaro, S.; Tettamanti, G.; López, A. y Ercoli, E. (n.d.). *Límites prácticos de biorremediación de suelos afectados por Petróleo*.
- Cárdenas, C., Yabroudi, S. C., & Benítez, A. (2012). Desempeño de un reactor biológico secuencial ( RBS ) en el tratamiento de aguas residuales domésticas Performance of a Sequencing Batch Reactor ( SBR ) in the treatment of domestic sewage. *Revista Colombiana de Biotecnología*, XIV, num 2(2), 111–120.
- Castillo Rogel, R. T., More Calero, F. J., Cornejo La Torre, M., Fernández Ponce, J. N., & Mialhe Matonnier, E. L. (2020). Aislamiento de bacterias con potencial biorremediador y análisis de comunidades bacterianas de zona impactada por derrame de petróleo en Condorcanqui – Amazonas – Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 22(3), 2015–2225. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.656>
- Coelho, A., Castro, A. v., Dezotti, M., & Sant'Anna, G. L. (2006). Treatment of petroleum refinery sourwater by advanced oxidation processes. *Journal of Hazardous Materials*, 137(1), 178–184. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2006.01.051>

- Deloya Martínez, A. (2001). Biodiscos: una alternativa de tratamiento biológico para aguas residuales cuando no se dispone de grandes extensiones de terreno. *Biodiscos: Una Alternativa de Tratamiento Biológico Para Aguas Residuales Cuando No Se Dispone de Grandes Extensiones de Terreno*, 13(4), 57–59.
- Diya'Uddeen, B. H., Daud, W. M. A. W., & Abdul Aziz, A. R. (2011). Treatment technologies for petroleum refinery effluents: A review. *Process Safety and Environmental Protection*, 89(2), 95–105.  
<https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2010.11.003>
- Domínguez, J. (2002). Estudio de impacto ambiental definitivo y plan de manejo ambiental de las instalaciones para generación hidroeléctrica propiedad de la empresa electro generadora del austro elecaustro s.a. *ECUAMBIENTE, HANS WOLF & PARTNER Cía. Ltda.- Consulting Group*, 1–26.
- Duque Sarango, P. J., Heras-Naranjo, C., Lojano-Criollo, D., & Vilorio, T. (2018). Modelamiento del tratamiento biológico de aguas residuales; estudio en planta piloto de contactores biológicos rotatorios.//Modeling of biological wastewater treatment; study in pilot plant of rotating biological contactors. *Ciencia Unemi*, 11(28), 88–96. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol11iss28.2018pp88-96p>
- Espinosa-Rodríguez, M. Á., Delgado-Delgado, R., & Hidalgo-Millán, A. (2020). Evaluation of an anoxic-aerobic mbr process with high nitrogen content. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 36(2), 303–320.  
<https://doi.org/10.20937/RICA.53111>
- García, N. G. (n.d.). *Análisis multilocus de especies del género Pseudomonas de origen clínico*. (p. 32 pag).
- García, N., Aguirre, M., Cruz-Narváez, Y., Rico-Arzate, E., Castro-Arellano, J., Guajardo-Hernández, L. G., Almeraya-Quintero, S. X., Contreras, H., & Carreño, C. (2018). Degradación De Hidrocarburos Del Petróleo Utilizando Un Microbioma Agrícola. *Revista de Investigacion Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 1(March 2015), 27–33. <https://core.ac.uk/download/pdf/249320783.pdf>
- Mallick, S. K., & Chakraborty, S. (2021). Treatment of petroleum wastewater contaminated with hydrocarbons and inorganics by anoxic-aerobic sequential moving bed reactors. *Journal of Environmental Management*, 288.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112430>
- Mayz, J. C., & Manzi, L. V. (2017). Bacterias hidrocarburoclásticas del género *Pseudomonas* en la rizosfera de *Samanea saman* (Jacq.) Merr. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 19(1), 29–37.  
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v19n1.57408>



- Menéndez Gutiérrez, C., & Dueñas Moreno, J. (2020). Criterios de diseño y escalado de biodiscos para el tratamiento de aguas residuales. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 41(2), 64–74
- Ministerio del Ambiente. (2015). Revisión y actualización de la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. *Registro Oficial No. 387*, 97, 1–40. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>
- MoEF, 2010. Manual de orientación técnica de EIA para la industria de refinación de petróleo. los Ministerio de Medio Ambiente y Bosques, Gobierno de la India. [http://environmentclearance.nic.in/writereaddata/Form-1A/HomeLinks/TGM\\_Petroleum\\_Refineries\\_010910.pdf](http://environmentclearance.nic.in/writereaddata/Form-1A/HomeLinks/TGM_Petroleum_Refineries_010910.pdf)
- Nathalie Schmitt, de P. M. T., & y Ricard García Cudinachy y Jordi Dalmau Soley, de C. M. A. (n.d.). *BIODISCOS*.
- Ossai, I. C., Ahmed, A., Hassan, A., & Hamid, F. S. (2020). Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 17, 100526. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2019.100526>
- Patricia Lozano, N. P. (2005). Biorremediación de ambientes contaminados con petróleo Biorremediation of environment polluted with petroleum. *TecnoGestion, Una Mirada Al Ambiente*, II(I), 51–55.
- Quintero Pulgar, L. F., MolanoGuarín, A. F., & Pramparo, L. M. (2021). Diseño hidráulico y evaluación a escala laboratorio de un sistema RBC (Rotating Biological Contactor) para tanque primario de aguas residuales no domésticas provenientes de una industria de bebidas no alcohólicas. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 29(2), 324–333. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052021000200324>
- Razavi, S. M. R., & Miri, T. (2015). A real petroleum refinery wastewater treatment using hollow fiber membrane bioreactor (HF-MBR). *Journal of Water Process Engineering*, 8, 136–141. <https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2015.09.011>
- Rodríguez-Gonzales, A., Zárate-Villarroe, S. G., & Bastida-Codina, A. (2022). Biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para realizar biorremediación. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 178–208. <https://doi.org/10.15359/rca.56-1.9>
- Spellman, F. R., & Water. (2003). Water and Wastewater Handbook of Treatment Plant Operations. In *Cpe: Normas Para Estudio Y Diseño De Sistemas De Agua Potable Y Disposición De Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes* (Vol. 23). <http://qjgeh.lyellcollection.org/cgi/doi/10.1144/1470-9236/04-105>