

**DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE
UNA INDUSTRIA LÁCTEA POR MEDIO DE
HUMEDALES ARTIFICIALES DE TOTORA.**

**PURIFICATION OF WASTEWATER FROM A
DAIRY INDUSTRY THROUGH ARTIFICIAL
REED WETLANDS.**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA
Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

Presentado por:

LIDIA JHOANNA GALLARDO DONOSO

Dirigido por:

DRA. IRENE DE BUSTAMANTE

Alcalá de Henares, a 08 de julio del 2020

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por permitirme seguir con vida, la sabiduría para poder culminar mis estudios.

A mis padres y hermana por siempre ser mi apoyo y fortaleza a lo largo de toda mi vida.

A las Universidades de Alcalá y Rey Juan Carlos por haberme guiado en esta formación profesional, y a todos los docentes que formaron parte de esta etapa.

Y a la Doctora Irene De Bustamante quien me orientó en el avance de este trabajo de fin de master.

Jhoanna Gallardo

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. JUSTIFICACIÓN-OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. METODOLOGÍA	4
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL.....	4
3.2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE LÁCTEOS “EL BATÁN” 4	
3.3. PRODUCTOS LÁCTEOS PROCESADOS.....	4
3.4. GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES	5
3.5. COMPOSICIÓN TÍPICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIAS LÁCTEAS	6
3.6. HUMEDALES ARTIFICIALES	6
3.6.1. HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUPERFICIAL.....	7
3.6.2. HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL	8
3.7. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TOTORA (<i>SCHOENOPLECTUS</i>).	10
3.7.1. ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y SALIDA.....	10
3.7.2. MEDIO GRANULAR.....	11
3.7.3. VEGETACIÓN	11
3.8. PARÁMETROS ANALIZAR	13
3.8.1. SÓLIDOS SUSPENDIDOS	13
3.8.2. NITRÓGENO TOTAL.....	13
3.8.3. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	14
3.8.4. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅)	14

3.8.6.	FOSFATOS	14
3.9.	PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	15
3.9.1.	CONDICIONES INICIALES	15
3.9.2.	EMPLEO DE HUMEDALES ARTIFICIALES	16
3.9.3.	COMPARACIÓN DE DATOS.....	16
3.10.	MARCO JURÍDICO.....	16
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
4.1.	RESULTADOS DE LAS MUESTRAS TOMADAS.	18
4.2.	PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.....	19
4.3.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	24
4.4.	DISCUSIÓN	25
5.	CONCLUSIONES	27
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	29
7.	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	30
8.	ANEXOS.....	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de humedales artificiales.....	7
Figura 2. Humedal artificial de flujo superficial.	8
Figura 3. Humedal artificial de flujo subperificial.	8
Figura 3.1. Humedal artificial de flujo subperificial horizontal y vertical.	10
Figura 4. Vista en planta del sistema de humedales artificiales.	11
Figura 5. Totorá (<i>Schoenoplectus</i>).	12
Figura 6. Vista en planta del sistema de humedales artificiales incluido grava y totora....	13
Figura 7. Procedimiento de recolección de datos.	15
Figura 8. Porcentaje de remoción de los Sólidos Suspendidos empleando Totorá en función del tiempo.	20
Figura 9. Porcentaje de remoción de Nitrógeno Total empleando Totorá en función del tiempo.	20
Figura 10. Porcentaje de remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) empleando Totorá en función del tiempo.	21
Figura 11. Porcentaje de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) empleando Totorá en función del tiempo.	22
Figura 12. Porcentaje de remoción de Aceites y Grasas empleando Totorá en función del tiempo.	22
Figura 13. Porcentaje de remoción de Sólidos Totales empleando Totorá en función del tiempo.	23
Figura 14. Porcentaje de remoción de Fosfatos empleando Totorá en función del tiempo.	24
Figura 15. Resultados de la experimentación Arías et al. (2010).	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados del Análisis Químico del agua residual de la Industria láctea “El Batán”.....	18
Tabla 2. Porcentaje de eliminación en función del tiempo.....	19
Tabla 3.- Comparación de resultados, primera muestra Vs 60 días.	24

TABLA DE ABREVIATURAS

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

DBO₅: Demanda bioquímica de oxígeno, en 5 días.

TULSMA: Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

CIP: Cámara de industrias de la producción.

RESUMEN

El presente trabajo tiene la finalidad de indicar y comprobar si el empleo de humedales artificiales naturales para la depuración de aguas residuales generadas por la industria láctea, ayuda con la disminución de contaminantes presente como sólidos suspendidos, nitrógeno total, DQO, DBO₅, aceites y grasas, sólidos totales y fosfato.

Para ello se analizan las aguas residuales de la industria de lácteos El Batán estando ubicada en la provincia de Chimborazo, cantón Chambo; tomando muestras de agua residual a la salida en la caja de revisión en el horario donde la producción es máxima, posteriormente realizar ensayos de laboratorio para determinar si los parámetros cumplen con lo indicado según TULSMA (Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente).

El objetivo principal es el empleo de humedales artificiales con totora (*Schoenoplectus*), sistema que ha sido construido con anterioridad; por lo que se transportara la muestra aguas residuales de la industria láctea “El Batán” hacia dicho sistema, se dejara por un lapso de tiempo de 60 días en el cual se tomaran datos a los 15, 30, 45 y 60 días realizando posteriormente determinaciones analíticas en el laboratorio y verificando como los contaminantes van disminuyendo su contenido; comprobando que la totora (*Schoenoplectus*), siendo una planta nativa del sector se puede emplear para la fabricación de sistema de depuración de aguas residuales ya que por su naturaleza siendo una planta macrófita asimila los nutrientes mediante transporta una gran cantidad de oxígeno desde los tallos hasta sus raíces y rizomas.

En síntesis el sistema de humedales artificiales es una opción para la depuración de las aguas residuales donde se disminuyen gastos de operación, mantenimiento, siendo amigable con el medio ambiente; permitiendo a su vez se tener resultados adecuados que indican que se cumplen con los límites estipulados por TULSMA.

1. INTRODUCCIÓN

Siendo el agua uno de los recursos naturales necesarios para la vida, en la actualidad se ve como el uso de los recursos hídricos va siendo limitado debido al problema de escasez, teniendo que utilizar aguas subterráneas para poder abastecer a la población para que pueda realizarse actividades como industria, ganadería, consumo doméstico, etc.

Por lo que uno de los problemas que afecta a este recurso es la contaminación del agua que viene principalmente por las distintas actividades que el hombre realiza para los procesos de industrialización misma que no tiene efectos amigables con el medio ambiente.

Por lo cual, las industrias lácteas producen contaminación ambiental en el aire, suelo y agua; siendo el agua el principal factor más contaminado por descarga de residuos de productos que se elaboran (quesos, yogures, leche, etc.) y a su vez por el empleo de productos de limpieza y desinfección de los equipos; siendo importante realizar un análisis a la cantidad de contenido de orgánico que se está evacuando a las redes de alcantarillado y que soluciones se puede plantear para que se cumpla con la normativa vigente.

Si bien sabemos que existen artículos científicos y tesis de investigación en donde han estudiado tratamientos de aguas residuales de industrias lácteas, la mayoría de estos son con tratamientos biológicos y químicos, mediante sustancias y compuestos químicos para realizar la depuración de contaminantes, lo cual es necesario el estudio de otras alternativas de depuración de bajo costo pero que den buenos resultados y cumplan con los estándares requeridos para eliminación de materia orgánica, como en este caso de Humedales Artificiales con vegetación de la zona para tratar aguas residuales industriales.

Se realiza entonces el análisis de una alternativa económica y que además no tendrá afectación al medio ambiente planteando realizar la purificación de las aguas residuales mediante el empleo de totora (*Schoenoplectus*), se toma los datos iniciales de los contaminantes y su grado de concentración industria de productos lácteos “El Batán” ubicada en la provincia de Chimborazo, cantón Chambo.

2. JUSTIFICACIÓN-OBJETIVOS

En vista que el agua se ve afectada por la contaminación en este caso una planta industrial láctea “El Batán” y considerando que el agua se evacua directamente a la red de alcantarillado público sin ningún tratamiento previo, es necesario realizar un análisis de parámetros que permitan caracterizar si cumple con los límites estipulados en la legislación vigente para poder verterla en las redes de alcantarillado.

Es indispensable analizar más alternativas económicas en donde no se requieran de tratamientos químicos sino más bien se utilicen recursos naturales disponibles, por lo cual el planteamiento principal es la aplicación del sistema experimental para la purificación de aguas residuales empleando humedales artificiales con totora (*Schoenoplectus*).

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar el porcentaje de depuración de aguas residuales de una industria láctea por medio de humedales artificiales de totora (*Schoenoplectus*).

2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Indicar las características técnicas que posee la totora (*Schoenoplectus*).
- Emplear la planta de tratamiento con humedales artificiales con totora (*Schoenoplectus*) para tomar datos de eliminación de sólidos suspendidos, nitrógeno, DQO, DBO₅, aceites, sólidos y fosfatos, en varios días.
- Realizar una comparativa entre los valores obtenidos del análisis realizado con los valores límite recomendados por la normativa del país.

3. METODOLOGÍA

La investigación que se llevara a cabo para efectuar el presente Trabajo Fin de Máster será de tipo descriptiva, investigativa y cualitativa.

Este proyecto investigativo dio inicio con la compilación, análisis, estudio y compendio de información bibliográfica existente referente al tema depuración de aguas residuales generadas por una industria láctea empleando humedales artificiales de totora (*Schoenoplectus*).

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

Es indispensable realizar un tratamiento previo para que el agua después de haber sido utilizada para sus distintitos usos doméstico, industrial, agrícola, etc; por lo cual se debe cumplir con los parámetros que indique la normativa vigente para poder verter el agua a las redes de alcantarillado; para el estudio del presente trabajo de fin de master se requiere indicar las afectaciones que genera la industria láctea “El Batán”.

3.2.DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE LÁCTEOS “EL BATÁN”

La industria láctea el Batán pertenece a la provincia de Chimborazo, cantón Chambo tiene sus inicios en el año de 1990. Dicha industria procesa quesos, yogurt, leche entera etc; para lo cual emplean gran cantidad de agua sea para el proceso de productos como para la limpieza de los equipos generando de la misma manera una gran cantidad de aguas residuales.

3.3.PRODUCTOS LÁCTEOS PROCESADOS

Los productos lácteos teniendo como materia prima principal la leche, en donde para lograr adquirir quesos, yogurt, etc; se debe adicionar químicos o sustancias mismas que nunca van a reemplazar la materia prima principal (Haro Carrillo, 2015).

Entre los principales productos están; Queso fresco, leche entera, yogurt, etc.

3.4.GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

La generación de aguas residuales es un factor predominante siendo el resultado del empleo de agua para poder realizar diversas actividades, afectando directamente al medioambiente debido a la gran cantidad de contaminantes que posee.

Considerando que una gran cantidad de agua vuelve a ser parte de un cauce natural, teniendo o no un tratamiento previo dependiendo del país y normativa que rija a cada uno; es indispensable entonces conocer de donde provienen los contaminantes principales en este caso de una industria láctea:

- Proviene de la limpieza de equipos.
- Proceso de fabricación de lácteos.
- Mantenimiento de maquinaria.
- Limpieza de instalaciones, vehículos en los cuales se transporta la materia prima.

La cantidad de concentración de contaminantes se puede afectar por los diversos procedimientos que se empleen tanto para la producción, limpieza y tecnologías empleadas; teniendo cada uno de ellos distintas actividades y procesos a realizarse, generando menor o mayor concentración de contaminantes.

Cabe indicar que la materia prima empleada “Leche”, contiene un alto grado de nitrógeno, contenido graso y contenido en fósforo; y por ende un alto contenido de DQO y DBO₅.

Se emplea una gran cantidad de agua para llevar a cabo los procesos industriales en una empresa láctea, de igual manera para mantener la infraestructura en condiciones higiénicas y sanitarias (EVITECH, 2020).

3.5.COMPOSICIÓN TÍPICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIAS LÁCTEAS

En general, los líquidos residuales de una industria láctea presentan las siguientes características:

- La materia prima principal es la leche donde posee un **gran contenido de materia orgánica.**
- Al momento de emplear productos de limpieza y desinfección se encuentra una **presencia elevada de contaminantes como nitrógeno y fosforo.**
- **Transiciones importantes del pH.**
- Vertidos de soluciones ácidas a la red de alcantarillado público.

Existe una variedad de procesos que permiten depurar el agua para llegar alcanzar los límites determinados por la normativa vigente; sin embargo son procesos en los que se emplea componentes químicos por tal motivo aplicar un sistema donde no exista incremento de contaminantes al medio ambiente es una alternativa analizar en este caso la aplicación de humedales artificiales con totora (*Schoenoplectus*) donde el impacto al medio ambiente es mínimo siendo el principal componente a emplear la totora (*Schoenoplectus*) (EVITECH, 2020).

3.6.HUMEDALES ARTIFICIALES

Los sistemas de humedales artificiales permiten realizar la fitodepuración de aguas residuales, mediante la siembra de macrofitas (plantas acuáticas) que se ubican sobre un lecho determinado que puede ser grava, arena etc; el mismo que mediante varios procesos propios de la planta tanto químicos, físicos y biológicos permiten realizar la purificación del agua de manera eficaz.

Principalmente estos sistemas de purificación de agua residual industrial se basa en la eliminación de DBO_5 , oxidando el amonio, reduciendo los nitratos y removiendo fósforo (Delgadillo *et al.*, 2010); realizando procesos de filtración, sedimentación, absorción para

lograr alcanzar la eliminación de contaminantes, siendo a su vez una alternativa natural para reemplazar el empleo de tratamientos secundarios o terciarios que requieran las aguas residuales.

Para lo cual un humedal superficial busca hacer funcionar a las microorganismos presentes en el agua residual, que la vegetación (macrofitas) brinde oxígeno y a su vez sirva como enraizamiento de los vegetales funcionando también como un lecho filtrante. Todos estos procesos permiten eliminar sólidos suspendidos, nitrógeno total, DQO, DBO₅, aceites y grasas, sólidos totales, fosfatos presentes en las aguas residuales.

“Los humedales artificiales se consideran los verdaderos riñones de la tierra, al ser capaces de biodegradar una gran cantidad de sustancias”.

Clasificación de humedales artificiales:

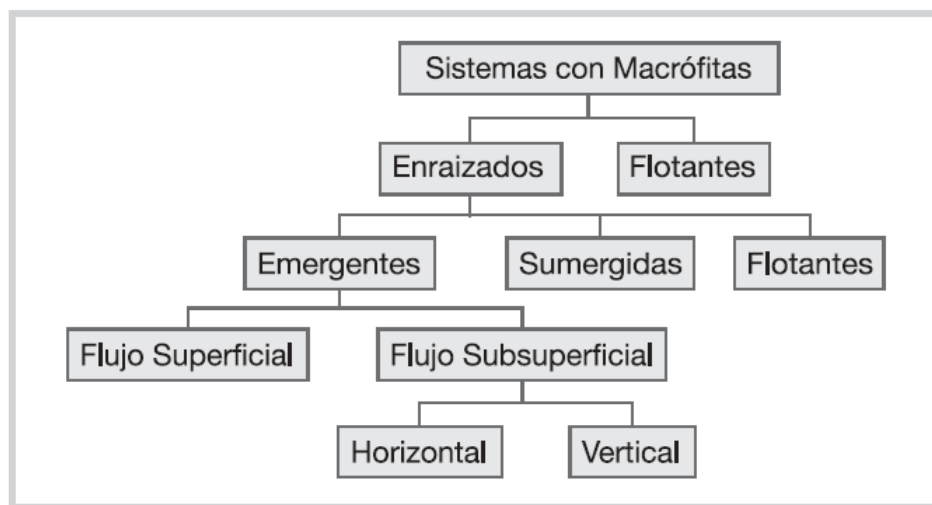


Figura 1. Clasificación de humedales artificiales.

3.6.1. HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUPERFICIAL

Los humedales artificiales son aquellos donde el agua circula por la superficie y la podemos ver a simple vista; conformándose por una excavación de terreno impermeabilizada en la cual se coloca una capa de grava de 20 o 30 cm donde se enraízan las plantas acuáticas, permitiendo la que se genere una película bacteriana tanto en la grava como en los tallos que

están sumergidos. Donde se genera una eliminación de nutrientes, de patógenos, eliminación de compuesto emergentes antes del vertido. Estos humedales se emplean para aguas que requieren afinación.

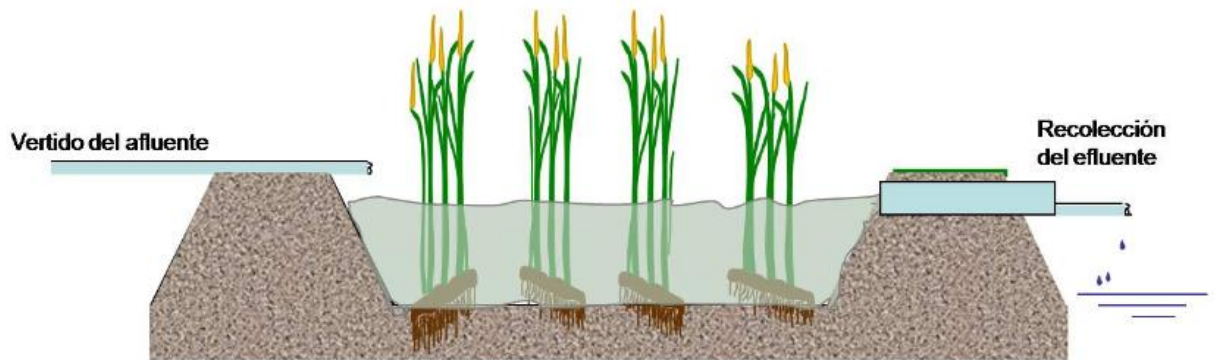


Figura 2. Humedal artificial de flujo superficial

3.6.2. HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

Los humedales de flujo subsuperficial son aquellos en los cuales no se puede ver el agua que circula a simple vista y está circulando por debajo del sustrato, clasificándose en dos sub familias dependiendo del sentido por el que circule horizontal y vertical, estos humedales se emplean para la purificación de aguas.

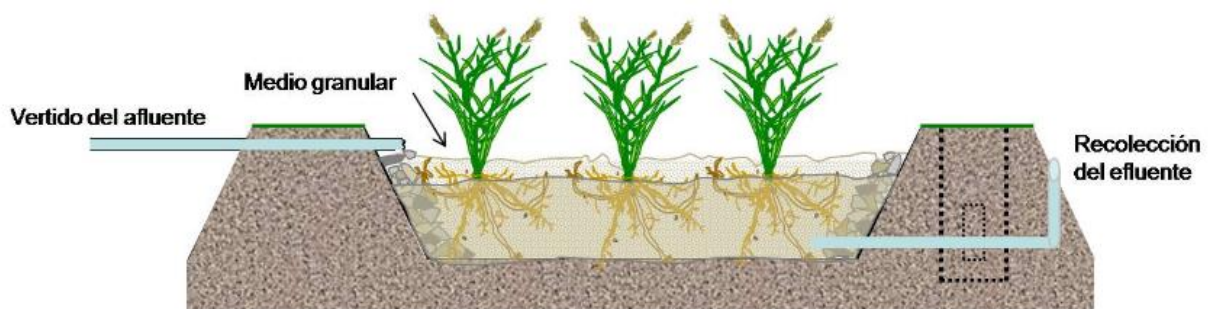


Figura 3. Humedal artificial de flujo subsuperficial.

Humedales de flujo subsuperficial horizontal siempre consta de un tratamiento primario (tanque séptico, tanque imhoff), debido a que es un proceso de filtración y requiere retener

sólidos en suspensión, constituidos por una excavación de terreno, impermeabilizada, colocamos grava en el fondo del humedal, colocación de plantas acuáticas; el fondo tiene un pendiente del 1%, el agua atraviesa todas las raíces, grava, biomasa adherida en forma de biopelícula a las raíces y a la grava, la planta aporta oxígeno para que se depure vía aerobia la zonas próximas a las raíces y el agua se va depurando.

Humedales de flujo subsuperficial vertical, constituido por una excavación de terreno, impermeabilizada, donde se coloca grava (sustrato inerte) en el fondo del humedal, colocación de plantas acuáticas; este tipo de humedal se alimenta de arriba abajo donde se recoge el agua que va drenando desde arriba, teniendo un alimentación intermitente y el sustrato no está inundado.

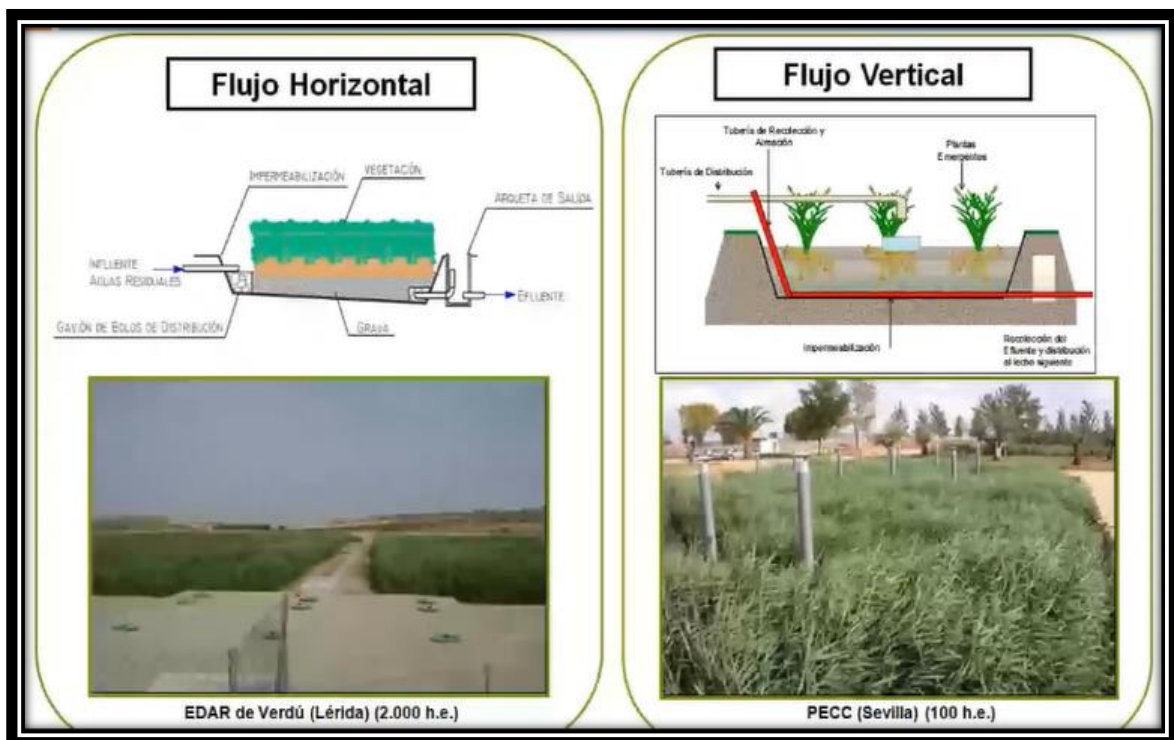


Figura 3.1 . Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal y vertical.

3.7. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TOTORA (*SCHOENOPLECTUS*).

En este caso se emplea un humedal de flujo subsuperficial de flujo horizontal donde al agua circula a través del medio granular y las raíces de la planta, este humedal está conformado principalmente por: tanque de almacenamiento, válvulas de control, tuberías de distribución de pvc de ½”, gavetas plásticas (para evitar la filtración) y tubería en el interior de las gavetas que permitan el flujo del agua.

3.7.1. ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y SALIDA

En la estructura de entrada se tiene el tanque de almacenamiento que cuenta con las instalaciones de válvulas que permite la circulación del agua mediante tuberías de distribución; el mismo que ha sido llenado de forma manual.



Figura 4. Vista en planta del sistema de humedales artificiales.

3.7.2. MEDIO GRANULAR

El medio granular permite que las macrofitas se enraícen trabajando como filtro reteniendo y sedimentando materia en suspensión, degradación de materia orgánica; por lo cual el mismo debe ser limpio, homogéneo; en este caso se emplea un material granular de diámetro $\frac{1}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ " y 1".

3.7.3. VEGETACIÓN

En este caso se emplea la totora (*Schoenoplectus*), siendo plantas que por su naturaleza permiten el crecimiento en condiciones de humedad y saturación, es decir son plantas que pueden vivir sin tener mucho oxígeno en el suelo.



Figura 5. Totoras (*Schoenoplectus*).

Los efectos de la vegetación sobre el funcionamiento de los humedales son:

- Debido a las características que este tipo de plantas poseen, sus raíces generan un ecosistema microbiano, permitiendo la degradación aeróbica de la materia orgánica y la nitrificación.

El papel de las macrofitas en los humedales artificiales se resume en los siguientes aspectos:

- Sirven de filtro, reteniendo sólidos suspendidos.
- Asimilan nutrientes como el nitrógeno y fósforo.
- Transportan grandes cantidades de oxígeno de los tallos hasta sus raíces.

Además del oxígeno en la zona radicular, las bacterias son favorecidas por exudados de las plantas en la misma zona (Delgadillo *et al.*, 2010).



Figura 6. Vista en planta del sistema de humedales artificiales incluido grava y totora.

3.8. PARÁMETROS ANALIZAR

3.8.1. SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Se refiere a las partículas orgánicas e inorgánicas que se encuentran suspendidas en el agua y que pueden determinarse por filtración (García & Ludizaca, 2017).

3.8.2. NITRÓGENO TOTAL

La eliminación de nitrógeno que se transforma a nitratos viene dado por los procesos de descomposición y mineralización que generan los microorganismos, la cantidad de eliminación de este parámetro viene determinada principalmente por la cantidad de oxígeno que se disponga (Lara Borrero, 1999).

3.8.3. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)

Este parámetro indica la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica, empleando el permanganato potásico o el dicromato potásico (García & Ludizaca, 2017).

3.8.4. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5)

Es un parámetro que permite determinar el oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica en un tiempo de 5 días; es importante conocer el valor de dicho parámetro para el dimensionamiento de aguas residuales y verificar si es posible realizar el vertido cumpliendo con la normativa.

3.8.5. SÓLIDOS TOTALES

Se considera sólidos totales al material que se queda en suspensión, flotante o sedimentado; es importante conocer este parámetro para posterior realizar un diseño de una EDAR y determinar los procesos para la eliminación de este parámetro.

3.8.6. FOSFATOS

Los fosfatos son importantes para el crecimiento de los microorganismos; donde los elementos que conforman el fósforo son nutrientes para las plantas que permiten su crecimiento (García & Ludizaca, 2017).

3.9.PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En la figura 7, se muestra el proceso seguido en la experimentación.

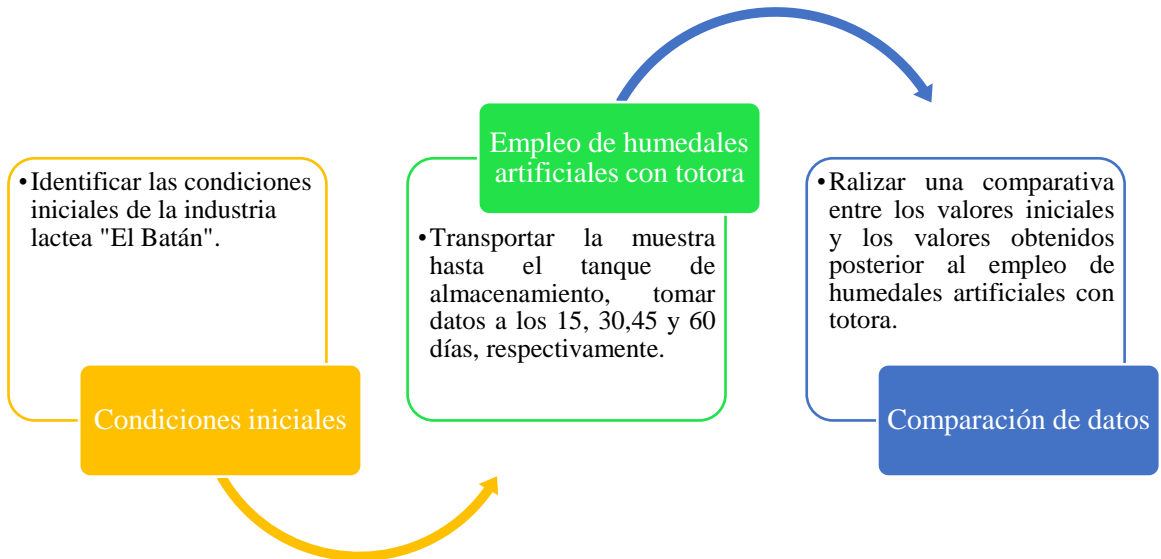


Figura 7. Procedimiento de recolección de datos.

3.9.1. CONDICIONES INICIALES

Para continuar con el análisis se procede a identificar las horas donde se registra la mayor producción de la industria láctea, tomando la muestra de agua mediante método manual de muestreo en la caja de revisión. Posteriormente se lleva la muestra a laboratorio para poder determinar los contaminantes presentes, siendo los parámetros determinados DBO₅, DQO, sólidos totales (ST), sólidos suspendidos (SS), nitrógeno total, aceites y grasas y fosfatos; datos que posteriormente se comparan con los obtenidos después de aplicar el agua a tratar en los humedales artificiales de totora (*Schoenoplectus*), en un lapso de tiempo donde la planta logre llegar a su punto de maduración.

3.9.2. EMPLEO DE HUMEDALES ARTIFICIALES

La muestra seleccionada se transportara hacia el tanque de almacenamiento y posteriormente se tomara las muestras a los 15, 30,45 y 60 días, para realizar determinaciones analíticas en el laboratorio.

3.9.3. COMPARACIÓN DE DATOS.

Los valores de comparación se obtuvieron mediante la medición de la DBO₅, DQO, sólidos en suspensión, nitrógeno total, aceites y grasas, solidos totales y fosfatos del efluente de la industria láctea a la salida del tratamiento propuesto, con los valores iniciales obtenidos.

Con toda la información recopilada se puede establecer la evaluación previa del agua a tratar, la evaluación del agua tratada después de la aplicación del humedal artificial de totora (*Schoenoplectus*), y establecer si cumplen con los parámetros requeridos por la legislación vigente.

3.10. MARCO JURÍDICO

La Constitución de la República del Ecuador dispone en la Sección segunda en referencia a la salud de las personas y del medio ambiente los siguientes artículos:

Art. 14.- En donde indica el derecho que tiene la población de vivir en un ambiente sano, donde el estado ecuatoriano se declara responsable de mantener el medioambiente, los ecosistemas la biodiversidad y la integridad del patrimonio del país.

Art. 15.- En donde el estado indica que se podrán emplear tecnologías que no generen ningún impacto al medio ambiente y tampoco al derecho del agua.

De igual manera el Plan Nacional del Buen Vivir en su objetivo 7, indica que el estado garantiza que el ciudadano pueda vivir en un ambiente sano, libre de contaminación mediante planificación integral para la conservación de los hábitats.

TULSMA es una norma donde el objetivo principal es controlar la contaminación ambiental, donde se basa principalmente en salvaguardar el recurso hídrico agua, y asignar sus usos integrando a las personas, ecosistemas y el ambiente en general. Además indican los límites límites de descarga establecidos en la norma deben ser tratadas adecuadamente sin importar su origen.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la primera toma de muestra recolectada (T0) de la industria láctea “El Batán” se obtiene los resultados que aparecen en la Tabla 1, donde se aprecia una concentración elevada de DQO y DBO₅; lo que indica que las agua residuales de la industria láctea contiene un alto contenido de materia orgánica; al igual que el resto de los parámetros medidos se encuentran fuera de los límites establecidos para descargas al sistema de alcantarillado publico estipulados para la República del Ecuador según lo indica TULSMA.

Como se indicó anteriormente para dar seguimiento de como el funcionamiento de los humedales artificiales favorece a la eliminación de ciertos parámetros se realiza también la toma de muestras a los 15 (T15), 30 (T30), 45 (T45) y 60 (T60) días respectivamente obteniendo los resultados que aparecen en la Tabla 1, después de haber realizado determinaciones analíticas en el laboratorio.

4.1. RESULTADOS DE LAS MUESTRAS TOMADAS.

Tabla 1. Resultados del Análisis Químico del agua residual de la Industria láctea “El Batán”.

PARAMETROS	UNIDADES	LIMITES*	RESULTADOS (días)				
ANALIZADOS			T0	T15	T30	T45	T60
Sólidos Suspendidos	mg/l	220	5420	580	342	65	18
Nitrógeno Total	mg/l	40	157	136	35	33.8	8.9
DQO	mg/l de O ₂	500	14000	6852	4865	450	225
DBO ₅	mg/l de O ₂	250	11150	5000	3657	232	190
Aceites y Grasas	mg/l	100	1900	555	200	10	2
Solidos Totales	mg/l	1600	7136	6358	4022	985	786
Fosfatos	mg/l	15	102,56	60	25	13	8

*TULSMA (Anexos: TABLA 11. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público).

Se puede observar que en la muestra T0 los resultados son elevados en comparación con T60 existiendo un diferencia de hasta el 99% de eliminación de los contaminantes presentes; esto

debido a que los humedales artificiales con totora (*Schoenoplectus*) permite la filtración y la adsorción de los constituyentes de las aguas residuales provenientes del tanque de almacenamiento y depurando dichas aguas.

4.2.PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.

Los porcentajes de remoción de contaminantes en función del tiempo al haber empleado el sistema de humedales artificiales con totora (*Schoenoplectus*), indica que la mayor reducción se registra en el día 60 donde la especie vegetal ya paso a su etapa de maduración por lo cual el proceso de depuración es más eficiente; en la tabla 2 aparecen los porcentajes de eliminación de contaminantes en función del tiempo.

Tabla 2. Porcentaje de eliminación en función del tiempo.

Tiempo	Solidos Suspendidos	Nitrógeno Total	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Aceites y Grasas	Solidos Totales	Fosfatos
15 DIAS	89,30	13,38	51,06	55,16	70,79	10,90	41,50
30 DIAS	93,69	77,71	65,25	67,20	89,47	43,64	75,62
45 DIAS	98,80	78,47	96,79	97,92	99,47	86,20	87,32
60 DIAS	99,67	94,33	98,39	98,30	99,89	88,99	92,20

A continuación se indica el comportamiento de cada uno de los parámetros analizados en función del tiempo.

SOLIDOS SUSPENDIDOS

En la figura 8, se puede apreciar el gran porcentaje de remoción de solidos suspendidos llegando al 99,67 % en el transcurso de tiempo indicado. Hay que tener en cuenta que la muestra inicial del agua es almacenada durante toda la duración del ensayo en un tanque de almacenamiento, por lo que los sólidos suspendidos se van decantando en el fondo en forma de lodos, que se fueron descomponiendo anaeróbicamente.

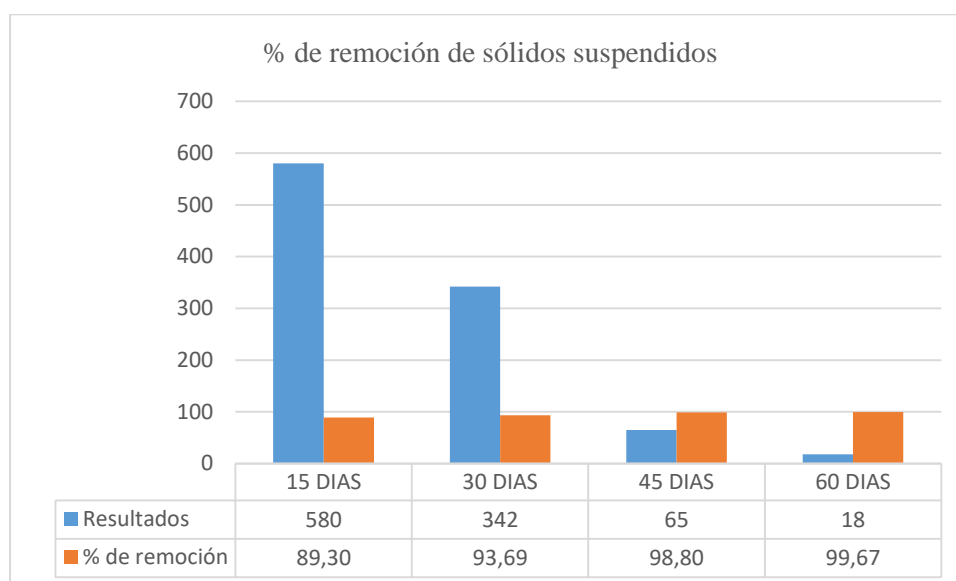


Figura 8. Porcentaje de remoción de los Sólidos Suspendidos empleando Totora en función del tiempo.

NITRÓGENO TOTAL

La figura 9, muestra el porcentaje de remoción de nitrógeno total un valor de 94,33% en el transcurso de tiempo que duró el experimento; esto se debe a el proceso de nitrificación/ desnitrificación que se produce en los lechos (Lara Borrero, 1999).

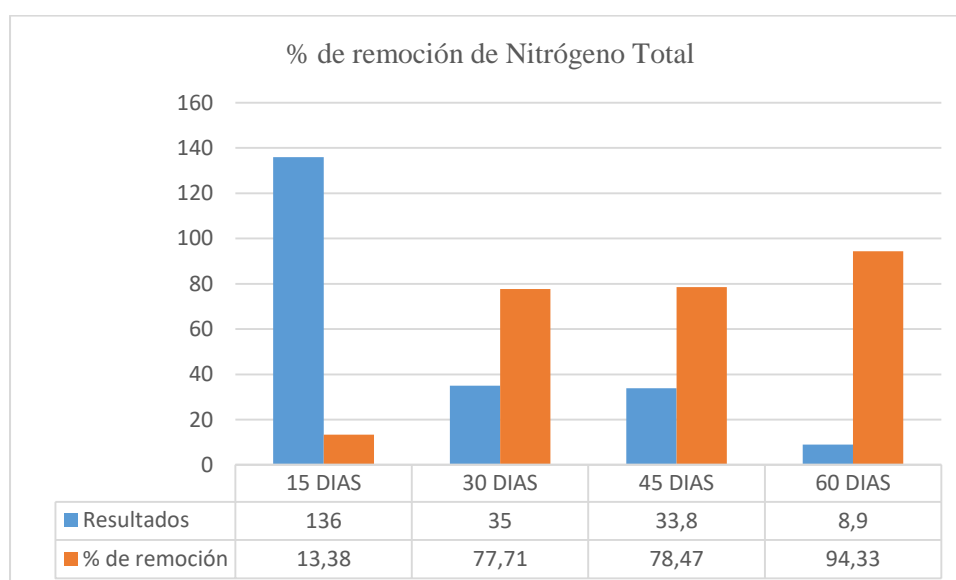


Figura 9. Porcentaje de remoción de Nitrógeno Total empleando Totora en función del tiempo.

DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)

En la figura 10, se puede apreciar el gran porcentaje de remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) un valor de 98,39% al final del experimento; esto nos indica la cantidad de sustancias a ser oxidadas por medios químicos, en este caso se presenta por la mineralización de la materia orgánica que está siendo adherida al material del relleno.

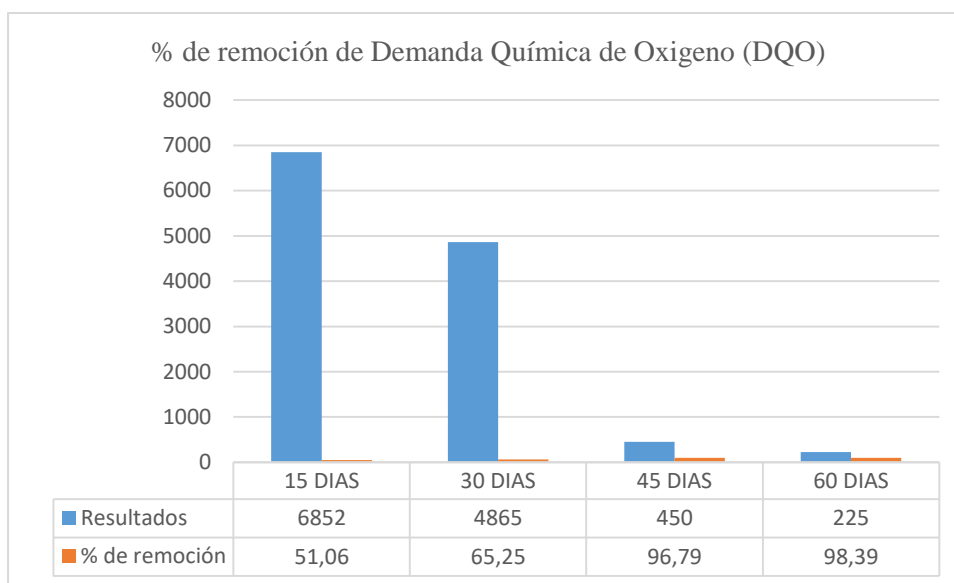


Figura 10. Porcentaje de remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) empleando Totora en función del tiempo.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)

En la figura 11, se observa una remoción final de 98,30 % de DBO₅, indicando el porcentaje de oxígeno que los microorganismos consumen durante 5 días a una temperatura de 20°C en una muestra de agua para la degradación aeróbica de las sustancias presentes en el agua con el paso del tiempo va mejorando.

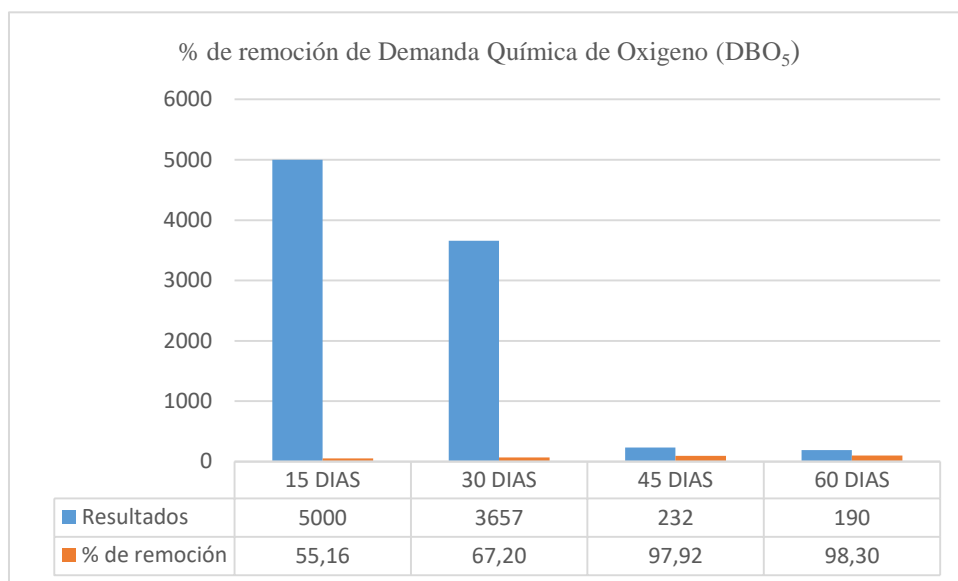


Figura 11. Porcentaje de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) empleando Totorá en función del tiempo.

ACEITES Y GRASAS

Se puede apreciar en la figura 12 que se produce un gran porcentaje de remoción de aceites y grasas, alcanzando un valor de 99,89 % en el transcurso de tiempo ensayado; como se indicó en el apartado de sólidos suspendidos el agua pasó en reposo durante este tiempo permitiendo que las grasas se mantuvieran en la superficie.

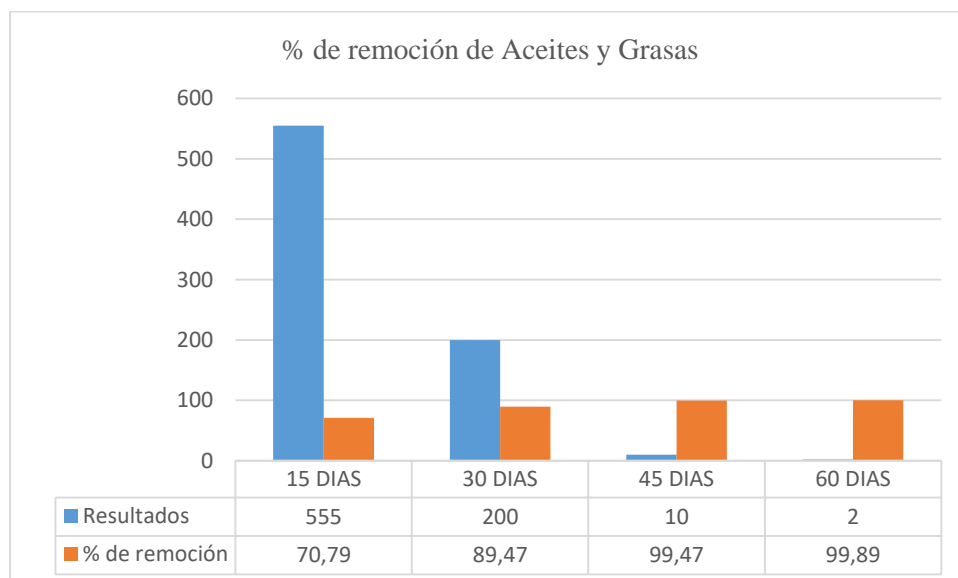


Figura 12. Porcentaje de remoción de Aceites y Grasas empleando Totorá en función del tiempo.

SOLIDOS TOTALES

Los sólidos totales alcanzan un valor de remoción del 88,99 % en el transcurso de tiempo ensayado (figura 13); como se indicó en el apartado de solidos suspendidos el agua paso en reposo durante este tiempo por lo que los sólidos suspendidos permitieron la sedimentación de materia orgánica que van quedando en el fondo en forma de lodos que se fueron descomponiendo anaeróbicamente.

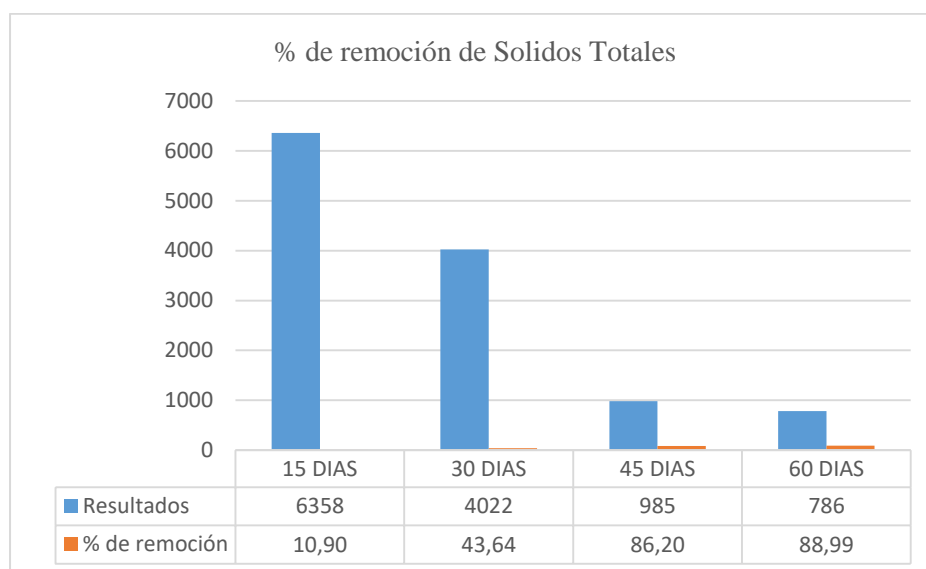


Figura 13. Porcentaje de remoción de Solidos Totales empleando Totorá en función del tiempo.

FOSFATOS

La figura 14 muestra el porcentaje de remoción de fosfatos, con un valor de 92,20 % a los 60 días desde el inicio del ensayo; esto se produce porque los contaminantes fueron filtrados por el lecho filtrante y gran cantidad fueron absorbidos por la propia planta para su crecimiento.

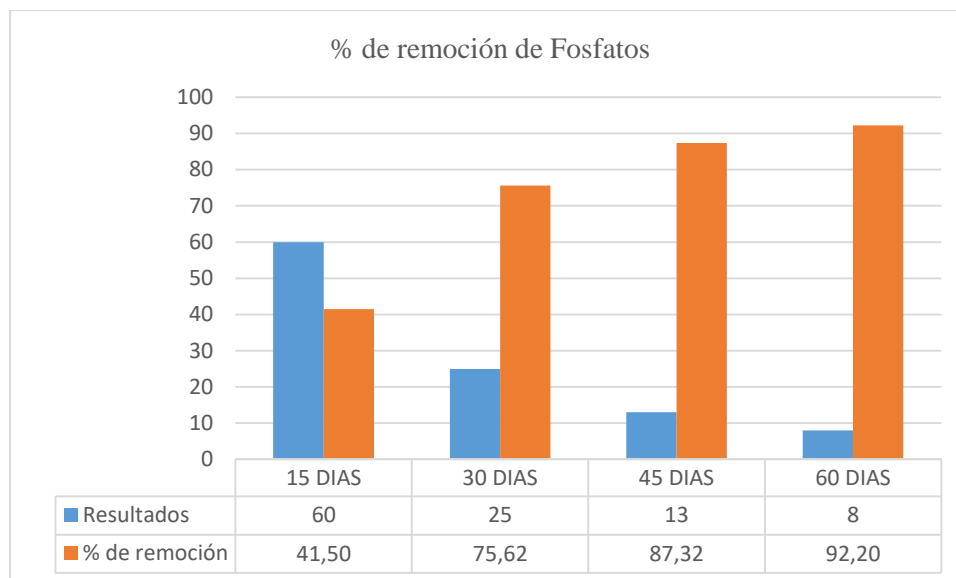


Figura 14. Porcentaje de remoción de Fosfatos empleando Totorá en función del tiempo.

4.3.COMPARACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se realiza la comparación de resultados entre los valores iniciales tomados con los valores después de aplicar el sistema de humedales artificiales con totora (*Schoenoplectus*). Así en la Tabla 3 se puede observar como los porcentajes de remoción para cada uno de los parámetros van aumentando y pasan a encontrarse dentro de los límites estipulados en la normativa vigente del país TULSMA, en el transcurso del tiempo.

Tabla 3.- Comparación de resultados, primera muestra Vs 60 días.

PARAMETROS ANALIZADOS	RESULTADO T0 DÍAS	RESULTADO T 60 DÍAS	% REMOCIÓN	TULSMA
Sólidos Suspendidos	5420	18	99,66	CUMPLE
Nitrógeno Total	157	8,9	94,33	CUMPLE
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	14000	225	98,39	CUMPLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	11150	190	98,3	CUMPLE
Aceites y Grasas	1900	2	99,89	CUMPLE
Sólidos Totales	7136	786	88,99	CUMPLE
Fosfatos	102,56	8	92,2	CUMPLE

4.4.DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos tenemos que la depuración de aguas residuales de una industria láctea por medio de humedales artificiales empleando totora (*Schoenoplectus*) logra eliminar una gran cantidad de contaminantes.

Estos resultados guardan relación con lo que Arías *et al.* (2010), presentan en su artículo “Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas”, donde evalúan la efectividad que tienen los humedales para eliminar la carga contaminante con estos sistemas económicos de tratamiento en granjas agrícolas de Colombia.

En dicho artículo se seleccionan y especies vegetales autóctonas, para diseñar un sistema piloto de fitorremediación y determinar cuál de ellas genera más remoción de contaminantes.

En los ensayos se emplean tres especies vegetales: *Brachiaria mutica* (S1), *Brachiaria arrecta* (S2), y *Hedychium montana* (S3); obteniendo los porcentajes de remoción que aparecen en la figura 16:

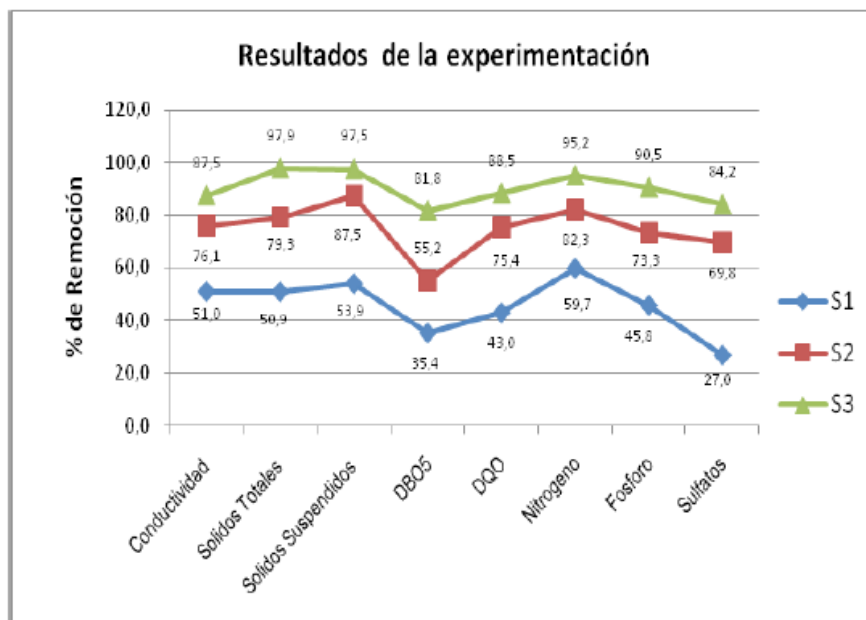


Figura 15. Resultados de la experimentación Arías *et al.* (2010).

Como se puede observar, existe un gran porcentaje de eliminación de contaminantes con la especie vegetal *Hedychium montana*, teniendo un porcentaje de remoción de DBO₅ de

81,8% y de DQO de 88,5%. En nuestro caso se empleó un sistema similar de humedales artificiales para aguas residuales generadas en una industria láctea, con la especie vegetal *Schoenoplectus californicus*, obteniéndose porcentajes de remoción superiores, que llegan al 98,30% para la DBO₅ y al 98,39% para la DQO.

Pese a que el grado de contaminación en la industria láctea es mayor en cuanto a materia orgánica en comparación con la industria porcina se obtuvieron resultados superiores de remoción de la carga orgánica debido a que la especie vegetal totora (*Schoenoplectus*) al ser una planta autóctona de la zona se adapta bien a los cambios de temperatura y realiza un buen proceso de fitorremediación y al ser correctamente combinadas con los lechos filtrantes ayudó a la remoción casi del 100% de sólidos suspendidos, grasas y aceites.

5. CONCLUSIONES

- La industria de lácteos el Batán descarga las aguas residuales a las redes de alcantarillado público de ciudad sin un tratamiento previo incumpliendo con la legislación establecida TULSMA; por lo que implantar un sistema de tratamiento de depuración de agua mediante humedales artificiales con totora (*Schoenoplectus*), permite disminuir la cantidad de contaminantes presentes en las aguas residuales de esta industria láctea cumpliendo con la normativa del país vigente.
- Los sistemas naturales de eliminación de contaminantes de aguas residuales son procesos que no requieren de energía externa ni de aditivos químicos; por lo que la aplicación de sistemas de humedales artificiales naturales no requieren de una gran inversión para cumplir con el objetivo final de eliminar contaminantes siendo factible su empleo en cualquier entorno.
- Mediante la caracterización de las aguas residuales de la primera muestra tomada se logró conocer sus características principales como sólidos suspendidos, nitrógeno total, DBO, DBO₅, aceites y grasas, sólidos totales y fosfato; presentan valores elevados y fuera de los parámetros establecidos en el TULSMA; después de haber aplicado el sistema experimental conformado de humedales artificiales con totora (*Schoenoplectus*), en un plazo de 60 días se obtienen resultados que cumplen con los límites estipulados en el TULSMA.
- La depuración de aguas residuales generadas por la industria láctea mediante la aplicación de un sistema experimental conformado de humedales artificiales con plantas macrófitas en este caso de totora (*Schoenoplectus*), permite un gran porcentaje de eliminación de contaminantes en un promedio de hasta un 98%; permitiendo evacuar las aguas residuales a las redes de alcantarillado cumpliendo con los valores límite que indica la normativa.
- La implementación de humedales artificiales naturales, permitiría realizando un estudio previo la disminución de gastos en cuanto a costos de energía eléctrica y

mano de obra para labores de operación y mantenimiento; siendo una alternativa para el tratamiento de aguas residuales de una industria láctea.

- En el experimento realizado en este trabajo, se obtienen porcentajes de remoción del 99,66% para los sólidos suspendidos, del 94,33% para el nitrógeno total, del 92,2% para el fósforo total, del 98,39% para la DQO, del 98,3% para la DBO₅, del 99,89% para aceites y grasas, y del 88,99% para los sólidos totales. Esto corrobora que el sistema constituye una buena alternativa para la depuración de este tipo de vertido.

6. BIBLIOGRAFÍA

Arias Martínez, S., Betancur Toro, F., Gómez Rojas, G., & Hernández Ángel, M. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcina. Colombia: SENA.

<http://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/Fitorremediacion%20con%20humedales%20artificiales%20para%20el%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20porcinas.pdf>

Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Constitución de la Republica del Ecuador*. Quito.

https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba – Bolivia: Centro AGUA de la UMSS (Bolivia).

<https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>

EVITECH, C. (17 de Marzo de 2020). Condorchem Envitech. Obtenido de Condorchem Envitech: <https://blog.condorchem.com/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea/>

García Quito, A., & Ludizaca Viracocha, W. (2017). “DISEÑO DE UN SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA COMUNIDAD DEL TABACAY, CANTÓN AZOGUES, PROVINCIA DE CAÑAR”. Cuenca: Universidad de Cuenca.

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27743/1/Trabajo%20de%20Titulaci%203%b3n.pdf>

Lara Borrero, J. (1999). Depuración de aguas Residuales Municipales con humedales artificiales. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

TULSMA. (s.f.). NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA, Libro VI. Anexo 1. Tabla 11. Límites de

descarga al sistema de alcantarillado público.

7. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Boltes Espínola, A. (2019-2020). TEMA 3.3: DEPURACIÓN. Alcalá de Henares: Universidad de Alcala.

De Bustamante Guitiérrez, I. (2019-2020). MÓDULO 3 – TEMA 3.1: CALIDAD DE LAS AGUAS. Alcalá de Hénare: Universidad de Alcalá.

García Calvo, E. (2019-2020). MODULO 3 - TEMA 5: CONTAMINANTES PRIORITARIOS Y EMERGENTES. Alcalá de Henarés: Universidad de Alcalá.

García Serrano, J., & Corzo Hernández, A. (2008). Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficia. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.

https://humedales-construidos-wetlands.fr/wp-content/uploads/2015/11/JGarcia_and_ACorzo.pdf

Gónzales Vázquez, J. (2019-2020). MÓDULO 3 – TEMA 3.2: CALIDAD DE LAS AGUAS. Alcalá de Hénare: Universidad de Alcalá.

Haro Carrillo, Y. (2015). Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la industria de productos lácteos "Píllaro" ubicada en el cantón Píllaro-Provincia de Tungurahua. Riobamba: ESPOCH.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4695/1/96T00305%20UDCTFC.pdf>

Letón García, P. (2019-2020). MODULO4.TEMA 3.1: OPERACIONES Y PROCESOS BÁSICOS EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá.

Noyola , A., Sagastume, J., & Guereca, L. (2013). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. México: Universidad Autónoma de México.

https://www.researchgate.net/publication/287975365_Seleccion_de_Tecnologias_para_el_Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Municipales_guia_de_apoyo_para_ciudades_pequenas_y_medianas

Perdigón Melón , J., & Boltes Espínola, A. (2019-2020). MÓDULO 3 – TEMA 2: QUÍMICA Y BIOQUÍMICA. Alcalá de Hénare: Universidad de Alcalá.

8. ANEXOS

- Análisis de laboratorio químico de la primera muestra tomada.

AKUALAB

DATOS IDENTIFICATIVOS DEL CLIENTE

Requirente: Lidia Gallardo

Dirección: Riobamba - Olmedo y Alvarado

Fecha solicitud: 2020/01/06

Fecha de entrega resultados: 2020/01/13

Tipo de muestra: Aguas Residuales Industria Láctea El Batán.

ANÁLISIS QUÍMICO

PARAMETROS ANALIZADOS	UNIDADES	*METODO	**LIMITES	RESULTADO
Sólidos Suspendidos	mg/l	2540-B	220	5420
Nitrógeno Total	mg/l	-	40	157
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	5202-C	500	14000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBQO5)	mg/l	5210-B	250	11150
Aceites y Grasas	mg/l	Extracción con solvente	100	1900
Sólidos Totales	mg/l	2540-D	1600	7136
Fosfatos	mg/l	-	15	102,56

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 21 ed.

**TULSMA TABLA 11. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

Observaciones

Las muestras han sido tomadas por el requirente, y transportadas al centro de análisis.

Atentamente:



Dra. Edith Donoso L.
LABORATORISTA

- Análisis de laboratorio químico a los 15 días, de haber empleado el sistema de humedales artificiales con totora (*Schoenoplectus*).

AKUALAB

DATOS IDENTIFICATIVOS DEL CLIENTE

Requiere: Lidia Gallardo

Dirección: Riobamba - Olmedo y Alvarado

Fecha solicitud: 2020/01/20

Fecha de entrega resultados: 2020/01/27

Tipo de muestra: Aguas Residuales Industria Láctea El Batán.

ANÁLISIS QUÍMICO

PARAMETROS ANALIZADOS	UNIDADES	*METODO	**LIMITES	RESULTADO
Sólidos Suspendidos	mg/l	2540-B	220	580
Nitrógeno Total	mg/l	-	40	136
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	5202-C	500	6852
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBQO5)	mg/l	5210-B	250	5000
Aceites y Grasas	mg/l	Extracción con solvente	100	555
Sólidos Totales	mg/l	2540-D	1600	6358
Fosfatos	mg/l	-	15	60

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 21 ed.

**TULSMA TABLA 11. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

Observaciones

Las muestras han sido tomadas por el requirente, y transportadas al centro de análisis.

Atentamente:


Dra. Edith Bonoso
LABORATORISTA

- Análisis de laboratorio químico a los 30 días, de haber empleado el sistema de humedales artificiales con totora (*Schoenoplectus*).

AKUALAB

DATOS IDENTIFICATIVOS DEL CLIENTE

Requirente: Lidia Gallardo

Dirección: Riobamba - Olmedo y Alvarado

Fecha solicitud: 2020/02/03

Fecha de entrega resultados: 2020/02/10

Tipo de muestra: Aguas Residuales Industria Láctea El Batán.

ANÁLISIS QUÍMICO

PARAMETROS ANALIZADOS	UNIDADES	*METODO	**LIMITES	RESULTADO
Sólidos Suspendidos	mg/l	2540-B	220	342
Nitrógeno Total	mg/l	-	40	35
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	5202-C	500	4865
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBQO5)	mg/l	5210-B	250	3657
Aceites y Grasas	mg/l	Extracción con solvente	100	200
Sólidos Totales	mg/l	2540-D	1600	4022
Fosfatos	mg/l	-	15	25

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 21 ed.

**TULSMA TABLA 11. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

Observaciones

Las muestras han sido tomadas por el requirente, y transportadas al centro de análisis.

Atentamente:


Dra. Edith Donoso L.
LABORATORISTA

- Análisis de laboratorio químico a los 45 días, de haber empleado el sistema de humedales artificiales con totora (*Schoenoplectus*).

AKUALAB

DATOS IDENTIFICATIVOS DEL CLIENTE

Requirente: Lidia Gallardo

Dirección: Riobamba - Olmedo y Alvarado

Fecha solicitud: 2020/02/17

Fecha de entrega resultados: 2020/02/24

Tipo de muestra: Aguas Residuales Industria Láctea El Batán.

ANÁLISIS QUÍMICO

PARAMETROS ANALIZADOS	UNIDADES	*METODO	**LIMITES	RESULTADO
Sólidos Suspendidos	mg/l	2540-B	220	65
Nitrógeno Total	mg/l	-	40	33,8
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	5202-C	500	450
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBQO5)	mg/l	5210-B	250	232
Aceites y Grasas	mg/l	Extracción con solvente	100	10
Sólidos Totales	mg/l	2540-D	1600	985
Fosfatos	mg/l	-	15	13

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 21 ed.

**TULSMA TABLA 11. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

Observaciones

Las muestras han sido tomadas por el requirente, y transportadas al centro de análisis.

Atentamente:


Dra. Edith Donoso L.
LABORATORISTA

- Análisis de laboratorio químico a los 45 días, de haber empleado el sistema de humedales artificiales con totora (*Schoenoplectus*).

AKUALAB

DATOS IDENTIFICATIVOS DEL CLIENTE

Requiere: Lidia Gallardo

Dirección: Riobamba - Olmedo y Alvarado

Fecha solicitud: 2020/03/02

Fecha de entrega resultados: 2020/03/09

Tipo de muestra: Aguas Residuales Industria Láctea El Batán.

ANÁLISIS QUÍMICO

PARAMETROS ANALIZADOS	UNIDADES	*METODO	**LIMITES	RESULTADO
Sólidos Suspendidos	mg/l	2540-B	220	18
Nitrógeno Total	mg/l	-	40	8,9
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	5202-C	500	225
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBQO5)	mg/l	5210-B	250	190
Aceites y Grasas	mg/l	Extracción con solvente	100	2
Sólidos Totales	mg/l	2540-D	1600	786
Fosfatos	mg/l	-	15	8

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 21 ed.

**TULSMA TABLA 11. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

Observaciones

Las muestras han sido tomadas por el requirente, y transportadas al centro de análisis.

Atentamente:


Dra. Edith Donoso
LABORATORISTA

- **TULSMA TABLA 11. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.**



PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

4.2.2.3 Toda descarga al sistema de alcantarillado deberá cumplir, al menos, con los valores establecidos a continuación (ver tabla 11):

TABLA 11. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	100
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Acidos o bases que puedan causar contaminación, sustancias explosivas o inflamables.		mg/l	Cero
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Carbonatos	CO ₃	mg/l	0,1

Continúa...

Continuación...

TABLA 11. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Caudal máximo		l/s	1.5 veces el



PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
			caudal promedio horario del sistema de alcantarillado.
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	1,0
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo (ECC)	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	500
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	40
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Sólidos Sedimentables		ml/l	20
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	220
Sólidos totales		mg/l	1 600
Selenio	Se	mg/l	0,5



PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	400
Sulfuros	S	mg/l	1,0

Continúa...

Continuación...

TABLA 11. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Temperatura	°C		< 40
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Sulfuro de carbono	Sulfuro de carbono	mg/l	1,0
Compuestos organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,05
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0,1
Vanadio	V	mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	10

4.2.2.4 Toda área de desarrollo urbanístico, turístico o industrial que no contribuya al sistema de alcantarillado público, deberá contar con instalaciones de recolección y