



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos (ERIS)

**ANÁLISIS, CARACTERIZACIÓN, EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO
DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE SANITARIOS PORTÁTILES**

Inga. Lesbia Magalí Herrera López

Asesorado por el MSc. Ing. Zenón Much Santos

Guatemala, agosto de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS, CARACTERIZACIÓN, EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO
DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE SANITARIOS PORTÁTILES**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

POR

INGA. LESBIA MAGALÍ HERRERA LÓPEZ

ASESORADO POR EL MSC. ING. ZENÓN MUCH SANTOS

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRO (*MAGISTER SCIENTIFICAE*) EN CIENCIAS DE INGENIERÍA
SANITARIA**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECUSOS HIDRÁULICOS
MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

EXAMINADOR	MSc. Ing. Zenón Much Santos
EXAMINADOR	MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
EXAMINADOR	Msc. Ing. Joram Matías Gil Laroj

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS, CARACTERIZACIÓN, EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE SANITARIOS PORTÁTILES

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, el 12 de agosto de 2009.


Inga. Lesbía Magali Herrera López
ingamagali.herrera@yahoo.com
Carné: 100016748

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hidricos

Edificio de ERIS,
Instalaciones de Prefabricados, CII
Ciudad universitaria Zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 24188000,
Ext.86212 y 86213
(502) 24189138
(502) 24189140

Telfax (502) 24189124

www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala, 9 de mayo del 2014

M. Sc. Ing. Adán Pocasangre
Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos "ERIS"
Facultad de Ingeniería, USAC

Habiendo revisado el documento titulado:

**"Análisis, Caracterización, Evaluación y Propuesta de
Tratamiento de las Aguas Residuales Provenientes de
Sanitarios Portátiles".**

Elaborado por la Ingeniera Lesbia Magalí Herrera López
como parte de su Estudio Especial, y como requisito para
optar al grado académico de Maestro en Ingeniería
Sanitaria, mediante la presente me permito informarle mi
satisfacción con su contenido y por lo tanto, le comunico
que dicho documento cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo la atención prestada a la presente, me
suscribo de usted,

Atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS".

M. Sc. Ing. Zenón Mula Santos
Asesor del estudio



Escuelas: Ingeniería civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuelas de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Postgrado Maestría en Sistemas Mecánica Construcción y Mención Ingeniería Vial. **Carreras:** Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Licenciatura en Matemáticas, Licenciatura en Física. **Centros:** de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica.

Guatemala 16 mayo del 2014

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hídricos

Edificio de ERIS,
Instalaciones de Prefabricados,
CII
Ciudad universitaria Zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 24188000,
Ext. 86212 y 86213
(502) 24189138
(502) 24189140

Telfax (502) 24189124

www.ingenieria.usac.edu.gt



Señores

Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos "ERIS"
Facultad de Ingeniería, USAC

Respetuosamente les comunico que he revisado la versión
corregida, en mi calidad de Coordinador de la Maestría de
Ingeniería Sanitaria, el trabajo de Estudio Especial titulado

Análisis, Caracterización, Evaluación y Propuesta de Tratamiento de las Aguas Residuales Provenientes de Sanitarios Portátiles

Presentado por la estudiante

Ingeniera Lesbia Magalí Herrera López

En tal virtud, manifiesto que la estudiante cumplió con los
requisitos exigidos por la Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) y la Universidad
de San Carlos de Guatemala, en la realización de su
estudio en forma satisfactoria

Agradeciendo la atención prestada a la presente, me
suscribo de usted,

Atentamente.

"ID Y ENSEÑAR A TODOS".

MSc. Ing. Adan Pocasangre
Coordinador Maestría de Ingeniería Sanitaria

Guatemala, 30 de julio de 2014

Ingeniero Pedro Saravia
Director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ing. Saravia:

Por este medio extiendo constancia a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, de la Facultad de Ingeniería, que se ha realizado satisfactoriamente la revisión y corrección de estilo del trabajo de graduación de Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria: **Análisis, caracterización, evaluación y propuesta de tratamiento de las aguas residuales provenientes de sanitarios portátiles**, de la estudiante: Inga. Lesbia Magalí Herrera López (carné: 100016748).

Para los requerimientos que su despacho necesite.

Atentamente,

(f) y sello



Licda. Rosa Amelia González Domínguez
Unidad de Lingüística
Facultad de Ingeniería



Rosa Amelia González Domínguez
LICENCIADA EN LETRAS
Colegiado No. 5284

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hídricos

Edificio de ERIS,
Instalaciones de Prefabricados,
CII

Ciudad universitaria Zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 24188000,
Ext.86212 y 86213
(502) 24189138
(502) 24189140

Telfax (502) 24189124

www.ingenieria.usac.edu.gt



El Director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos – ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los siguientes profesores: MSc. Ing. Adán Pocasangre, MSc. Ing. Zenón Much Santos, Ing. Joram Matías Gil Laroj, así como el visto bueno del coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria, Ing. Adán Pocasangre y la revisión de lingüística realizada por la Lic. Rosa Amelia González Domínguez, colegiada No. 5284 al trabajo de la estudiante: Ingeniera civil Lesbia Magalí Herrera López, titulado:

Análisis, Caracterización, Evaluación y Propuesta de Tratamiento de las Aguas Residuales Provenientes de Sanitarios Portátiles

En Representación de la comisión de Admisión y otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo

Guatemala 11 de agosto de 2014

IMPRIMASE

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
DIRECTOR
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hidráulicos



Escuelas: Ingeniería civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuelas de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Postgrado Maestría en Sistemas Meción Construcción y Mención Ingeniería Vial. **Carreras:** Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Licenciatura en Matemáticas, Licenciatura en Física. **Centros:** de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica.

ACTO QUE DEDICO A:

Mi esposo

Marconi López, por ser fuente de mi inspiración, fortaleza de mis triunfos, pilar de mis éxitos. A ti en especial por el apoyo constante, por el amor que compartes conmigo.

Mis hijas

Bianca e Isabel, por ser fuente de mi inspiración, gracias por su apoyo y paciencia constante, por acompañarme y dedicarme su tiempo para lograr y alcanzar este éxito.

Mis padres

Serapio Lorenzo Herrera y Concepción López de Herrera, por ser ejemplo de vida y motivación para superarme.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por iluminar mis conocimientos, por darme fortaleza en los momentos de debilidad, por las bendiciones recibidas en el momento de alcanzar este nuevo triunfo.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Universo de sabiduría, pasión del saber, carisma del entendimiento, por quien yo he de ser.
Facultad de Ingeniería	Por tan importante labor en la formación integral de sus estudiantes.
Mi asesor	Msc. Ing. Zenón Much Santos, por la asesoría brindada y en especial por su amistad.
Amigos	De las diferentes maestrías que se imparten en ERIS, mis catedráticos, Ing. Zenón Much, Ing. Adán Pocasangre, Ing. Joram Gil, Ing. Pedro Saravia Celis, por acompañarme y compartir conmigo sus conocimientos.
Grupo Mapreco	En especial al Ing. Álvaro Zepeda, por su apoyo en la realización del presente estudio.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XIII
OBJETIVOS	XV
HIPÓTESIS	XVII
JUSTIFICACIÓN	XIX
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	XXI
ANTECEDENTES	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV
1. ASPECTOS TEÓRICOS	1
1.1. Calidad del agua residual	2
1.1.1. Normas y reglamentos aplicados al tratamiento de agua residual	2
1.2. Tipología en sistema de tratamiento de agua residual proveniente de sanitarios portátiles	5
1.2.1. Tecnologías para el tratamiento de agua residual	5
1.2.2. Tecnologías para el tratamiento de lodos	5
1.2.3. Tecnologías para el tratamiento de malos olores	5
1.3. Descripción de las características de los sanitarios portátiles ..	7
1.3.1. Ventajas de los sistemas de sanitarios portátiles	7
1.3.2. Desventajas de los sanitarios portátiles	8

2.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	9
2.1.	Preparación de la investigación	9
2.1.1.	Trabajo de gabinete	9
2.1.2.	Trabajo de campo	10
2.1.3.	Trabajo del laboratorio.....	10
3.	RESULTADOS.....	13
3.1.	Análisis y características de los resultados de laboratorio	13
4.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	19
4.1.	Interpretación de resultados DBO ₅ y DQO	19
4.2.	Interpretación de resultados de potencial de hidrógeno	21
4.3.	Interpretación de resultados de prueba de sedimentación	21
4.4.	Interpretación de resultados de nitrógeno total	23
4.5.	Problemas que causan los compuestos de nitrógeno total	25
4.6.	Interpretación de resultado de fósforo total	25
5.	PROPUESTA DE PLANTA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE SANITARIOS PORTÁTILES.....	27
5.1.	Propuesta para el tratamiento de malos olores	29
5.2.	Barrera ecológica	29
5.3.	Tratamiento para la eliminación de sólidos gruesos	31
5.4.	Tratamiento para la sedimentación de sólidos suspendidos ..	33
5.4.1.	Variables que afectan la sedimentación.....	36
5.5.	Propuesta de tratamiento de secado de lodos	37
5.5.1.	Patio de secado de lodos	39
5.5.2.	Consideraciones técnicas para patio de secado de lodos.....	40
5.5.3.	Manejo de lodos	42

5.6.	Humedades	43
5.7.	Tipos de contaminantes vs. proceso de eliminación	46
5.7.1.	Eliminación de DBO ₅	47
5.7.2.	Eliminación de sólidos en suspensión	47
5.7.3.	Eliminación de nitrógeno.....	47
5.7.4.	Eliminación de fósforo	47
5.7.5.	Eliminación de patógenos.....	48
5.8.	Propuesta de funcionamiento del diseño	48
5.8.1.	Instalación del humedal	49
5.8.2.	Ventajas de los humedales.....	50
5.8.3.	Desventajas de los humedales	51
6.	REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS	53
CONCLUSIONES		55
RECOMENDACIONES		57
BIBLIOGRAFÍA.....		59
ANEXOS		61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de flujo del proceso AR.....	6
2.	Relación DBO_5/DQO	20
3.	Prueba de sedimentación con tiempo de 1 hora.....	22
4.	Prueba de sedimentación tiempo 24 horas.....	22
5.	Contenido de sólidos gruesos.....	23
6.	Resultado de nitrógeno y su comportamiento	24
7.	Resultado de fósforo y su comportamiento	26
8.	Esquema de tratamiento de agua residual.....	28
9.	Columna de biofiltración.....	30
10.	Pretratamiento	33
11.	Carga superficial vs. porcentaje de remoción	34
12.	Tratamiento primario sedimentador	37
13.	Preparación de terreno patio de secado	38
14.	Patio de secado de lodos.....	40
15.	Diseño patio de secado de lodos	42
16.	Tratamiento de lixiviados	45
17.	Esquema de diseño de humedal.....	49

TABLAS

I.	Parámetros del reúso de aguas residuales.....	4
II.	Resultados de nitrógeno y fósforo	14
III.	Resultados DBO_5 , DQO y sólidos sedimentables.....	15

IV.	Descargas mensuales y diarias del agua residual, de sanitarios portátiles	16
V.	Cantidad de sólido grueso y sedimentable	17
VI.	Dimensionamiento de pretratamiento de barras	32
VII.	Principales procesos físicos, químicos y biológicos que favorecen la depuración del agua residual en los humedales	46
VIII.	Criterios para la reutilización del agua residual	53

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
P	Fósforo
mg	Miligramos
mg/l	Miligramos por litro
ml	Mililitros
N	Nitrógeno
pH	Potencial de hidrógeno

GLOSARIO

CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria.
Desecho	Lo que se desecha, contamina y hace el desequilibrio ecológico.
Fresno	Árbol oleáceo, de madera blanca, de corteza y hojas medicinales.
Humus	Capa superficial del suelo, constituida por la descomposición de materiales animales y vegetales.
Lábiles	Resbaloso, deslizante y frágiles.
Nitrosamidas	Sustancias químicas que producen cáncer en los animales de laboratorio y pueden aumentar el riesgo de ciertos tipos de cáncer en los seres humanos.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
OPS	Organización Panamericana de la Salud.

RESUMEN

En Guatemala no se cuenta con estudios e información de las aguas residuales provenientes de sanitarios portátiles. Actualmente, el agua residual proveniente de sanitarios portátiles no tiene un control adecuado para su descarga, por lo tanto bajo el análisis, caracterización, evaluación de la presente se propone una alternativa de tratamiento que tiene como fin el mitigar los malos efectos sobre el medio ambiente.

De las muestras obtenidas de las aguas residuales de sanitarios portátiles se realizaron los diferentes análisis fisicoquímicos, según criterios técnicos, basados en los resultados de calidad de agua, carga contaminante, caudal, se determinó el tipo de tratamiento y se propuso un tratamiento biológico; el perfil hidráulico está determinado por varias unidades de tratamiento, entre las cuales cabe mencionar un pretratamiento combinado de reja y tamizado para descartar y desechar toda materia gruesa o basura que en el estudio se representa exclusivamente por restos de papel.

Seguido de un tratamiento primario que consta de un sedimentador para la obtención de sólidos sedimentables, los cuales están presentes en un 68 % de las aguas residuales provenientes de sanitarios portátiles. Entre las unidades de tratamientos están el patio de secado de lodos, como propuesta una pendiente mínima de un 5 % sobre su longitud total, para la eliminación de lixiviados. Dentro de los humedales el propósito es la captación de nitrógeno y fósforo con plantas que se adapten al medio ambiente donde estará ubicada la planta de tratamiento. Por último, el reúso de los lodos, ya que estos son ricos en nitrógeno y fósforo.

ABSTRACT

In Guatemala there is no information studies and sewage from portable toilets. Currently, wastewater from portable toilets which has no adequate control for download, hence under analysis, characterization, evaluation of this proposed an alternative treatment that aims to mitigate the ill effects on the environment.

Samples collected from wastewater portable restrooms different physicochemical analysis, according to technical criteria based on the results of water quality, contaminant load, flow rate, type of treatment was determined and a biological treatment proposed is performed; hydraulic profile is determined by several processing units, among which include a combined grid and pretreatment screening to rule and discard any thick material or trash in the study is represented exclusively by paper debris

Following a primary treatment consisting of a settler, to obtain settleable solids, which are present in 68% of sewage from portable toilets. Among the treatments units are the sludge drying yard, as given a minimum slope of 5 % on total length, for removal of leachate. Within the purpose is wetland uptake of nitrogen and phosphorus to plants that adapt to the environment where the treatment plant will be located. Finally, reuse of sludge, since these are rich in nitrogen and phosphorus.

OBJETIVOS

General

Desarrollar el análisis, caracterización y la evaluación de los parámetros seleccionados. Para proponer un sistema de unidades de tratamiento del agua residual proveniente de sanitarios portátiles.

Específicos

1. Analizar los parámetros seleccionados DBO₅, DQO, nitrógeno total, fósforo total, sólidos sedimentables, temperatura, pH.
2. Evaluar la relación DBO₅ y DQO proveniente de sanitarios portátiles para definir el tipo de tratamiento.
3. Proponer un tratamiento para agua residual que permita controlar y mitigar los efectos negativos, que producen las descargas de agua residual proveniente de sanitarios portátiles.

HIPÓTESIS

Es posible la evaluación y el análisis del agua residual proveniente de los sanitarios portátiles para que puedan ser tratables biológicamente y a la vez proponer un sistema de tratamiento.

JUSTIFICACIÓN

El propósito fundamental del estudio de tratamiento de aguas residuales provenientes de sanitarios portátiles está basado y justificado en la protección al medio ambiente, y el efecto negativo en la salud de los seres que se encuentran en el entorno de las descargas de esta agua residual.

Algunas empresas que se dedican al uso de los sanitarios portátiles no cuentan con plantas de tratamiento y realizan sus descargas en forma descontrolada a cuerpos receptores de agua superficial, forma directa al drenaje municipal, terreno a cielo abierto e incluso las descargas las hacen en rellenos sanitarios.

Estos factores pueden ser modificados y mejorados mediante el estudio, análisis, caracterización y propuesta de tratamiento de la descarga de aguas residuales provenientes de sanitarios portátiles. Lo que hace implementar la investigación y proponer un tipo de sistema de tratamiento para el agua residual proveniente de sanitarios portátiles.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Debido que en Guatemala no se cuenta con información de la acelerada utilización de los servicios de sanitarios portátiles para las diversas actividades públicas y sociales, hace que la descarga de agua residual proveniente de ellos sea motivo de investigación, ya que genera problemas al medio ambiente.

Actualmente, la descarga del agua residual de los sanitarios portátiles se hace sin tratamiento a cuerpos receptores superficiales, alcantarilla municipal, dejando de esta manera expuesta y sin control el agua residual para transmitir enfermedades.

Con base en lo anterior, se genera la siguiente investigación, la cual consiste en la evaluación y análisis del agua residual proveniente de sanitarios portátiles, teniendo como propósito recomendar el tratamiento para mitigar cualquier efecto al medio ambiente.

ANTECEDENTES

En la actualidad se describen problemas de índole sanitario en todo el mundo, surgen la preocupación de los sanitaristas por ayudar al medio ambiente, esto constituye una serie de investigaciones a nivel mundial para el mejoramiento de los sistemas. Se encuentran estudios realizados con el apoyo de las diferentes organizaciones, como la Organización Mundial de la Salud (OMS), Organización Panamericana de la Salud (OPS), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS), para el mejoramiento de los sistemas de tratamiento de agua residuales en proyectos donde se presentan estudios de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales.

Se expone las diferentes formas de comprender, optimizar el tratamiento, como también su recolección, transporte, disposición final, minimizar los efectos adversos de su vertido al suelo a aguas naturales, el manejo y control de las mismas al ambiente, entre estos proyectos se puede mencionar: *Proyecto de Mejoramiento de las Condiciones Ambientales (Agua y Saneamiento) en Comunidades Indígenas de Guatemala*, donde su objetivo principal es: “Contribuir a la disminución del riesgo de la transmisión de enfermedades provocadas por factores ambientales, particularmente los relacionados con el acceso y calidad del agua el saneamiento inadecuado y los malos hábitos higiénicos, en las comunidades indígenas de Guatemala”.¹

En el centro de información de la Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), no se ha desarrollado ningún proyecto de

¹ *Proyecto Mejoramiento de las Condiciones Ambientales (Agua y Saneamiento) en Comunidades Indígenas de Guatemala*. Octubre 2003. p. 7

investigación que esté relacionado con aguas residuales provenientes de sanitarios portátiles. Pero si se registran investigaciones sobre proyectos enfocados en el análisis fisicoquímico de las aguas residuales domésticas, industriales y propuestas de tratamiento; entre estos estudios se encuentran: *Caracterización y propuesta de tratamiento de las aguas residuales de la industria de galvanizado de lámina por inmersión en caliente*. Donde el objetivo principal es el caracterizar el agua residual de la industria galvanizadora de lámina en Aceros de Guatemala.²

² GARCÍA, Reynaldo Heriberto. *Tratamiento de las aguas residuales de la industria de galvanizado de lámina por inmersión en caliente*. 2005.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los países en desarrollo están incorporando la tecnología para el proceso del tratamiento del agua residual, sin embargo, se requiere de ciertos aspectos sociales y culturales, educación sanitaria, capacidad y voluntad de pago, para cubrir los resultados garantizados de los sistemas de descargas de aguas residuales.

El sistema de sanitarios portátiles tienen la función de la captación de excretas de los diferentes lugares donde la población desarrolla actividades: tipo laboral (empresas, fuerza aérea, fuerza marítima) parques de diversión, conciertos, ferias, etc.

Las excretas almacenadas en los sanitarios portátiles son concentradas a un sistema de transporte, en sitio, son trasladadas por depósitos de camiones tipo cisterna, sin ser tratadas en el momento de su descarga al sistema municipal, cuerpo receptores de agua, rellenos sanitarios, por lo que el estudio presentado surge con el fin de contribuir y mejorar al medio ambiente, proponiendo un diseño de tratamiento de agua residual basado en la mejora continua transformando la degradación en factores de generación autosostenibles de calidad.

1. ASPECTOS TEÓRICOS

En las grandes ciudades de América Latina, la mayoría de las casas que disponen de sistemas de saneamiento están conectadas generalmente a alcantarillados. Sin embargo, muchas ciudades disponen, por regla general, de sistemas de saneamiento en sitio.

“En Alcorta (Santa Fé), una ciudad de 4 000 habitantes, el 35 % de la población está conectado a un sistema de alcantarillados, mientras que el 65 % utiliza tanques sépticos y pozos negros que se vacían mediante camiones atmosféricos. Dos lagunas de estabilización en serie entraron en operación en 1987 para tratar tanto las aguas residuales como los lodos de tanques sépticos. Un programa de control del sistema (93-95) reveló que, debido al alto contenido de sólidos en los lodos de tanques sépticos, la capacidad de la primera laguna fue reducida en un 50 %. Basándose en estas investigaciones realizadas en la Universidad de Rosario, se construyó en julio de 1998 un sistema de pretratamiento de los lodos de tanques sépticos, comprendiendo dos lagunas de sedimentación. Las dos lagunas se operan de manera alterna: la primera recibe cargas de lodo, mientras que la segunda sirve de secado del lodo acumulado. Se pretende producir un lodo sedimentado de manejo fácil y parcialmente mineralizado/higienizado al final del ciclo de secado. Durante la primera fase de control, se eligió un ciclo de carga/secado de medio año (ciclo completo = un año) y una tasa de carga orgánica de 60-90 g DBO /m³.d.”³

³ INGALLINELLA, Ana María. *Cuando los tanques sépticos están llenos- El desafío del manejo y tratamiento de lodos fecales*. p. 10.

En zonas urbanas de América Latina, África, países asiáticos, la situación de disposición de heces fecales o excretas humanas es una situación dramática mundialmente, miles de toneladas de excretas son descargadas sin tratamiento y de manera incontrolada en sitios municipales, fuentes de agua naturales (ríos, lagos, el mar), etc.

1.1. Calidad del agua residual

La calidad del agua residual está dada por los elementos o parámetros que contenga bien sea en solución, en suspensión o en estado coloidal, los cuales difieren de sus características particulares, que hacen diferir un tipo de agua residual del otro, estos criterios de calidad dependen del uso que se le vaya a dar, sea este para consumo humano, actividades agropecuarias, recreativas, procesos industriales, disposición en fuentes naturales de agua. Según es su uso así es la exigencia de calidad que debe de cumplirse bajo normas y reglamentos.

1.1.1. Normas y reglamentos aplicados al tratamiento de agua residual

La exigencia de los países en desarrollo difiere en la medida que sus leyes otorguen la prohibición de descarga directa de heces fecales provenientes de sanitarios portátiles a las alcantarillas municipales previo un tratamiento. En algunos países como México (Quintana Roo) posee un reglamento de descarga de sanitarios portátiles, el cual describe la importancia que tiene para el uso de los sanitarios portátiles y la descarga bajo el reglamento.

El artículo 88 señala: “Para el caso de la realización de obras o actividades descritas en el artículo 28 de la ley, artículo 5 del Reglamento en Materia de Impacto Ambiental a que se refiere la ley, así como de las Fuentes Fijas de Competencia Estatal, durante los periodos de trabajos preliminares, de construcción y operación de proyectos, se deberán instalar baños portátiles que garanticen que no habrá emisión de contaminantes provenientes de aguas sanitaria al suelo y subsuelo”)⁴. En Guatemala se cuenta con el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, Guatemala, 5 de mayo de 2006, el cual establece los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reúso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos.

Costa Rica: “Artículo 18. Límites para el vertido de aguas residuales en alcantarillados sanitarios. Parámetros universales de análisis obligatorio. Los parámetros universales de análisis obligatorio de cualquier agua residual que sea vertida en un alcantarillado sanitario, deberán cumplir con los límites contenidos a continuación.”⁵

Límites máximos permisibles para los parámetros universales de análisis obligatorio de aguas residuales vertidas en alcantarillados sanitarios son:

⁴ *Reglamento de la ley de equilibrio ecológico y la protección al ambiente del estado de Quintana Roo en materia de prevención y control de la contaminación ambiental*, Febrero, 2011. p. 13.

⁵ *Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales*, Poder Ejecutivo Decretos nº 33601-MINAE-S la gaceta 55, alcance 8 lunes 19 de marzo de 2007, el presidente de la República Ministerio de Ambiente, Energía, Ministerio de Salud, Costa Rica.

Tabla I. **Parámetros del reúso de aguas residuales**

Parámetro	Límite Máximo
DBO _{5, 20}	300 mg/L
DQO	750 mg/L
Sólidos suspendidos	300 mg/L
Sólidos sedimentables	5 ml/l
Grasas/aceites	50 mg/L
Potencial hidrógeno	6 a 9 ₁
Temperatura	15°C ≤ T ≤ 40°C ₁
Sustancias activas al azul de metileno	5 mg/L

Fuente: Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, (Artículo 18 Costa Rica).

Lima, Perú: “Parámetros y Características de las Aguas Residuales, Proyecto de Desarrollo Tecnológico de las Instituciones del Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado (DTIAPA), División de Protección de la Salud Ambiental, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencia del Ambiente. En aguas residuales se encuentran microorganismos saprofitos que degradan la materia orgánica en compuestos simples utilizando o no oxígeno disuelto y microorganismos patógenos agregados a las aguas que mueren rápidamente al encontrarse un medio o hábitat extraño”⁶.

⁶ CUBILLOS, Armando. *Parámetros y Características del Agua Residual*, CEPIS Lima-Perú. p. 9.

1.2. Tipología en sistema de tratamiento de agua residual proveniente de sanitarios portátiles

En países desarrollados se aplican tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales proveniente de sanitarios (heces fecales), que tiene un alto costo, educación sanitaria, requiere de personal calificado, capacidad y voluntad para pagar su costo. Mientras, los países del tercer mundo, solo una pequeña minoría tendrá la capacidad para pagar esta tecnología.

1.2.1. Tecnologías para el tratamiento de agua residual

- Lagunas de estabilización
- Reactores anaerobios de flujo ascendente en manto de lodos.
- Fosa sépticas
- Tanque IMHOFF
- Wetland (humedal)
- Pantanos contruidos, etc.

1.2.2. Tecnologías para el tratamiento de lodos

- Tratamiento físico, patio de secado de lodos, compostaje, rayos UV.
- Digestor anaerobio
- Digestor aerobio
- Acondicionamiento químico

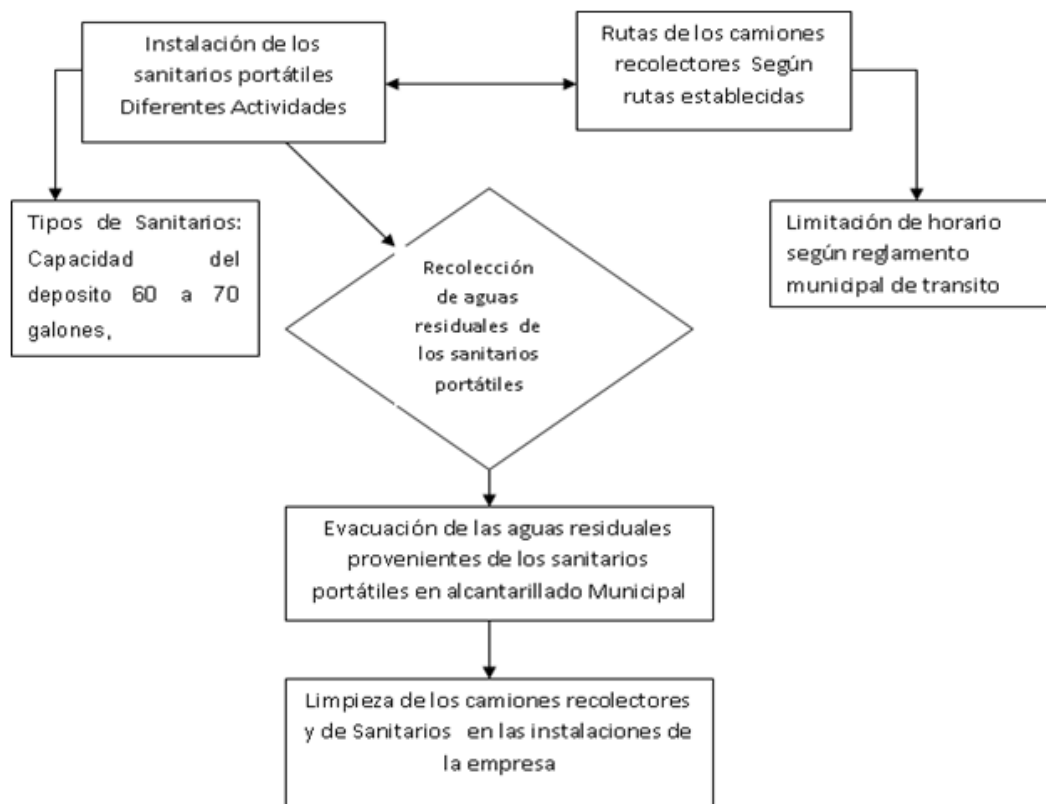
1.2.3. Tecnologías para el tratamiento de malos olores

- Tratamiento químico

- Barreras ecológicas
- Biodigestores, cámara de gases, generación de biogás

A continuación el diagrama de flujo general en el proceso de captación de agua residual (AR) proveniente de sanitarios portátiles. Cada una de las actividades descritas escapa a los fines del presente estudio. Pero es de utilidad para la gestión de la propuesta aquí presentada.

Figura 1. **Diagrama de flujo del proceso AR**



Fuente: elaboración propia.

1.3. Descripción de las características de los sanitarios portátiles

Los sanitarios portátiles son cabinas hechas de polipropileno de alta densidad, fabricadas bajo Norma ISO 9000 en Estados Unidos, son utilizados para prestar servicio en la recolección de aguas residuales con el fin de satisfacer las necesidades y privacidad de las personas en diferentes eventos como conciertos, ferias y congresos, exposiciones, parques, obras civiles, eventos al aire libre, en la industria, catástrofes, etc.

Los sanitarios portátiles ofrecen versatilidad, comodidad e higiene. Cada sanitario tiene una capacidad de 150 a 200 usos, su periodo de servicio y de limpieza varía dependiendo del uso. La capacidad del depósito de los sanitarios es de 60 a 70 galones. La tipología de las aguas residuales provenientes de sanitarios portátiles se puede definir de origen doméstico, estos desechos son generados por las necesidades biológicas de las personas en las diferentes actividades ya mencionadas. El servicio de sanitarios portátiles ha tenido un gran avance dentro de la industria por su versatilidad de diseños a disponer en su uso.

1.3.1. Ventajas de los sistemas de sanitarios portátiles

- No requiere conexión al alcantarillado.
- Es diseñado con larga vida útil
- Soporta la variabilidad del clima
- Fácil de transportar y maniobrar
- Presta un servicio de higiene bajo normas de salubridad y seguridad
- Optimiza el uso de recurso humano.
- Crea condiciones sanitarias seguras que conservan la salud y dignidad de los trabajadores.

- Los sanitarios requieren mantenimiento sencillo a bajo costo.

Entre las empresas que prestan el servicio de rentabilidad de sanitarios se encuentran Ambiotec, Grupo Mapreco, Cabisa, Rentable S. A., Grupo Brilla, Servimovil 2000. Estas empresas buscan prestar el servicio bajo un régimen de higiene, acorde a normas de salubridad y medio ambiente.

1.3.2. Desventajas de los sanitarios portátiles

- No existe control de descarga a lugares de cuerpos receptores de agua.
- No existe control en malos olores.
- El tiempo de limpieza es a cada 6 o 8 días

Las empresas que prestan el servicio de sanitarios portátiles detallan la función de recolección de agua residual y limpieza de los sanitarios, cuentan con camiones recolectores de agua residual la cual oscila entre 2 y 8 metros cúbicos, este servicio consiste en trasladar el agua residual captada en las diferentes áreas al lugar de vertido final de las aguas residuales.

2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Preparación de la investigación

En el proceso para establecer los parámetros de control de las muestras fue necesario observar el tipo de agua residual que proviene de los sanitarios portátiles, también se observa cómo los camiones recolectores hacen la descarga al alcantarillado municipal. Que el agua residual provenía de muestras compuestas, es decir, que era tomada de diferentes lugares y de diferentes sanitarios.

En la presente investigación se definen los siguientes aspectos:

2.1.1. Trabajo de gabinete

Se realizó la propuesta económica y factible del Estudio de Agua Residual Proveniente de Sanitarios Portátiles. La cual consistió en definir los siguientes elementos que constituyeron el proyecto.

- Equipo de seguridad bioindustria
- Equipo y herramientas para pruebas de laboratorio
- Pruebas de laboratorio (material y costos)
- Modelos de tratamiento
- Gastos administrativos

2.1.2. Trabajo de campo

Se realizaron visitas a la empresa que proporcionó la información sobre los servicios sanitarios portátiles, las muestras del agua residual proveniente de sanitarios portátiles fueron tomadas los días jueves y viernes, horario de los camiones recolectores del agua residual de los sanitarios portátiles cuya ruta de servicio finaliza con la descarga en el horario de 4:00 a 6:00 a.m., en la 7ª. Av. 2-42, zona 9. El tipo de muestra que se recolecta es compuesta ya que es de diferente sanitario y lugares, que son determinados por una ruta específica.

Se hacen las visitas a la empresa, se define el material de apoyo y de seguridad con el que se contaría en el momento de realizar la toma de muestras. En esta fase se contó con el apoyo del personal de la empresa. Las muestras fueron tomadas a partir del mes de octubre.

Para el trabajo de campo se pudo observar el tipo de equipo industrial con que cuenta el personal de las empresas que se dedican a la recolección de agua residual proveniente de sanitarios portátiles, este debería de trabajar bajo normas de seguridad industrial, por la cantidad de gases que puedan ser emanados por las descargas, la mayoría de empleados no toman las precauciones que deben de ajustarse al trabajo que se está realizando.

2.1.3. Trabajo del laboratorio

Luego de recolectadas las muestras en campo se procedió a realizar los análisis del agua residual proveniente de los sanitarios portátiles, en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, con el fin de determinar los parámetros fisicoquímicos más importantes de acuerdo al enfoque de la investigación, temperatura, potencial de hidrógeno, nutrientes

como el nitrógeno total, fósforo total y parámetros para medir la calidad del agua como lo son DQO, DBO₅, sólidos sedimentables.

Método utilizado en el laboratorio para obtención de valores de los parámetros mencionados son:

- DQO se utilizó el método de digestión de reactor, y método colorimétrico,
- Para de DBO₅ se utilizó el método de dilución
- Para el nitrógeno total se utiliza el método de khjeldal (NTK)
- Para sólidos sedimentables, con tiempo en 1 hora.

3. RESULTADOS

3.1. Análisis y características de los resultados de laboratorio

Parámetros analizados en el estudio de agua residual proveniente de sanitarios portátiles son:

- DQO (Demanda Química de Oxígeno)
- DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno)
- Temperatura (° C)
- pH (potencial de hidrogeno)
- Nitrógeno y fósforo total
- Sólidos sedimentables
- Olor

En la caracterización del agua residual proveniente de sanitarios portátiles se especifica básicamente que su origen es doméstico, consiste fundamentalmente de residuos humanos (heces fecales) originados en sanitarios portátiles, que se encuentran ubicados en establecimientos comerciales, públicos, privados, eventos y otros similares. En el momento de analizar las aguas residuales de sanitarios portátiles se observa la presencia de basura o materia flotante como papel higiénico, papel de bolsa de cemento, papel periódico, este material interfiere con el proceso biológico.

Una característica física importantes de las aguas residuales provenientes de sanitarios portátiles es el contenido total de sólidos sedimentables, que se encuentra presente en gran cantidad.

Comparado los valores obtenidos en el laboratorio (ver tabla de resultados), se establece que el valor observado de todos los parámetros se encuentra fuera de los límites permisibles, demostrando que el alto contenido de sólidos sedimentables está vinculado con la relación de DQO y la DBO₅. Por su alto grado o contenido de DBO₅, implica que el agua residual proveniente de sanitarios tiene poco contenido de oxígeno y para la DQO con altas concentraciones indica que existe gran cantidad de materia orgánica presente en el agua residual que está siendo oxidada.

En la caracterización del olor proveniente de las aguas residuales se detectan tres factores: detectabilidad, intensidad, sensación de desagrado, aunque en la actualidad el único factor considerado dentro de las normas reguladoras de los malos olores es la detectabilidad.

Tabla II. Resultados nitrógeno y fósforo

No. de Muestra	Origen de la Muestra	Temperatura ° C	Potencial de hidrógeno (pH)	Nitrógeno total (mg/l)	Fósforo total (mg/l)
1	Escuintla	20	7.7	271	580
2	Escuintla	21	7.7	272	633
3	Costa sur	21	7.5	280	532
4	Chimaltenango	21.4	7.3	105	320
5	Costa sur	21	7.5	240	655
6	Ciudad Capital	20	7.2	45	505
7	Ciudad Capital	20	7.4	55	495
8	Chimaltenango	21	7.1	155	260
9	Ciudad Capital	20	7.3	195	585
10	Ciudad Capital	21	7.3	95	670

Fuente: elaboración propia.

El proceso químico de las muestras se determinó en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria.

Tabla III. **Resultados DBO₅, DQO y sólidos sedimentables**

No. de Muestra	Origen de la Muestra	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	Sólidos Sedimentables SS (cm ³ /L/H)	Relación DBO ₅ /DQO
1	Escuintla	23700	36000	940	0.658
2	Escuintla	20300	34750	980	0.584
3	Costa sur	22100	36100	985	0.612
4	Chimaltenango	36000	51000	850	0.705
5	Costa sur	15200	47750	990	0.318
6	Ciudad Capital	23500	48200	955	0.487
7	Ciudad Capital	22100	46000	970	0.48
8	Chimaltenango	22000	39500	870	0.556
9	Ciudad Capital	38700	45750	965	0.845
10	Ciudad Capital	34500	46750	920	0.737

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. Descargas mensuales y diarias del agua residual, de sanitarios portátiles

Cantidad d descarga por mes						
Enero	Galones promedio x cabina			m ³ por mes	m ³ diario	Galones diarios
Retiros eventuales	136	25	3400	120.01	4	1058.33
Retiros mensuales	53	30	2590			
Servicios	892	30	26760			
Total de galones			31750			
Febrero	Galones promedio x cabina			m ³ por mes	m ³ diario	Galones diarios
Retiros eventuales	240	25	6000	123.94	4.3	1093
Retiros mensuales	37	30	1110			
Servicios	857	30	25680			
Total de galones			32790			
Marzo	Galones promedio x cabina			m ³ por mes	m ³ diario	Galones diarios
Retiros eventuales	203	25	5075	149.37	4.98	1317.17
Retiros mensuales	39	30	1170			
Servicios	1109	30	33270			
Total de galones			39515			

Fuente: elaboración propia.

Datos de campo recopilados en Mapreco, Sociedad Anónima, Dpto. de Logística y Transporte.

Esta es la comparación con los resultados obtenidos de la prueba de 24 horas en relación con el porcentaje que representa el residuo grueso, sólidos sedimentables, cantidad de lixiviados que se podrían llevar a producir según la cantidad de galones diarios o mensuales que se generan dentro del proceso de recolección, y evacuación de las aguas residuales procedentes de los sanitarios portátiles.

Tabla V. **Cantidad de sólido grueso y sedimentable**

ENERO	Cantidad de galones diarios	Cantidad de galones por mes
Cantidad de residuo grueso	222.25	6667.5
Cantidad de sólidos sedimentables	682.62	2047.88
Cantidad de lixiviados	153.46	4603.75
TOTAL galones producidos	1058.33	31750
FEBRERO	Cantidad de galones diarios	Cantidad de galones por mes
Cantidad de residuo grueso	229.53	6885.9
Cantidad de sólidos sedimentables	704.99	2114.96
Cantidad de lixiviados	158.49	4754.55
TOTAL galones producidos	1093	32790
MARZO	Cantidad de galones diarios	Cantidad de galones por mes
Cantidad de residuo grueso	276.61	8298.15
Cantidad de sólidos sedimentables	849.58	25487.18
Cantidad de lixiviados	190.99	5729.68
TOTAL galones producidos	1317.18	39515.2

Fuente: elaboración propia.

4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Las aguas residuales provenientes de sanitarios portátiles difieren en los resultados obtenidos, debido a las condiciones propias de cada lugar donde se encontraban ubicados los sanitarios portátiles, estos son distintos por el clima y la temperatura de cada lugar donde fueron descargadas las aguas residuales, un lugar cálido como la Costa Sur acelera el proceso biológico.

4.1. Interpretación de resultados DBO_5 y DQO

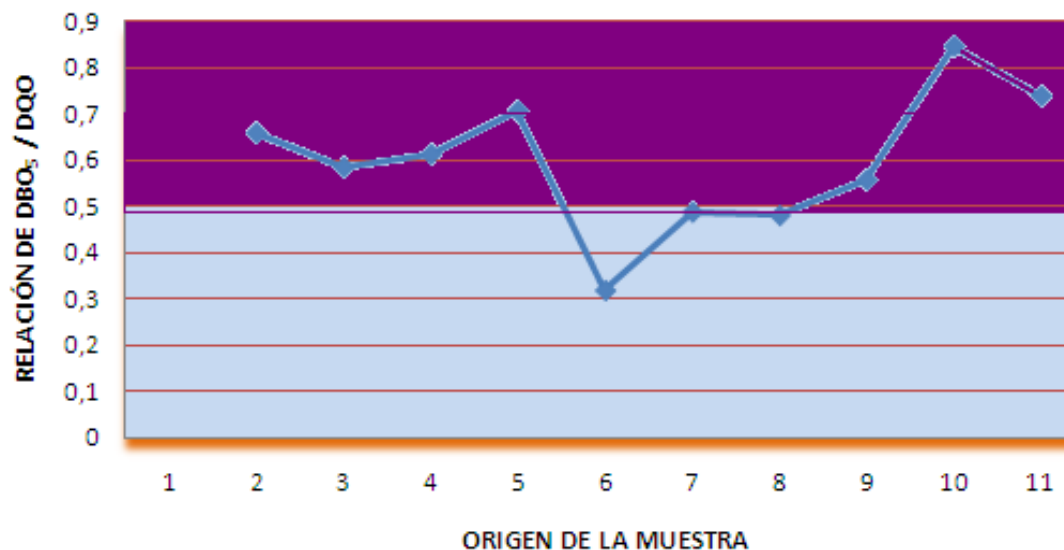
Tomando en cuenta que la DBO_5 y la DQO están íntimamente relacionadas con la propuesta del tratamiento que se indica en el estudio de aguas residuales provenientes de sanitarios portátiles. Por lo tanto, fue necesario conducir adecuadamente el procedimiento a seguir dentro del laboratorio. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla III. De donde se concluyen los siguientes resultados:

- Los resultados de la demanda química de oxígeno están fuera de valores máximos permisibles establecidos, esto demuestra el alto contenido de materia orgánica presente en el agua debido a la alta concentración y fase de oxidación de materia, desechos fecales contenidos en la misma.
- El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO_5 porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente. La DBO_5 suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales municipales e industriales biodegradables, sin tratar y tratadas. La DQO se usa para comprobar la

carga orgánica de aguas residuales que, o no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos. Para los resultados de la DBO se tiene que después de la incubación de 5 días a 20 °C se estableció la caracterización elevada de la misma, debido a la presencia de materia orgánica carbonosa usada como fuente de alimentación por los organismos aerobios, por el nitrógeno oxidable derivado de compuestos de nitrógeno orgánico que sirve de sustrato para bacterias específicas, que oxidan el nitrógeno amoniacal en nitritos y nitratos. Según el artículo 27 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 el valor inicial de la DBO₅ debe de encontrarse 3 500 mg/l, según los resultados obtenidos se encuentra fuera del valor permisible.

- Del resultado obtenido de la relación DBO/DQO en promedio es > 0,6 específica que el tratamiento a seguir es biológico.

Figura 2. **Relación DBO₅ / DQO**



Fuente: elaboración propia.

La gráfica representa la relación de la DBO_5/DQO ; los puntos más elevados de la carga están representados por las áreas de la Costa Sur de Guatemala, mientras que los puntos más bajos representan los lugares cuyo clima es más frío o templado, como la ciudad capital (provenientes de carretera a El Salvador) y Chimaltenango.

4.2. Interpretación de resultados de potencial de hidrógeno

Los resultados obtenidos de pH son en promedio 7,4 (datos representados en el cuadro de resultados) que se encuentran dentro del lo establecido por el Reglamento 236-2006 Guatemala, que establece de 6 a 9 unidades de potencial de hidrógeno, de la misma forma que en Costa Rica, sin embargo, en algunos otros países como Venezuela y Colombia el límite de descarga del pH para alcantarillado municipal es de 7,2 a 7,9 unidades.

4.3. Interpretación de resultados de prueba de sedimentación

Dentro del proceso de análisis de resultados se hicieron varias observaciones dentro de la prueba llegando a obtener un rango de valores de 850 a 990 $cm^3/L/H.$, lo que comprueba la presencia de materia orgánica, heces fecales presentes y obstrucción de la materia gruesa (ver tabla III). Existe materia gruesa o basura que interfiere dentro del proceso de sedimentación y por lo tanto dentro del proceso biológico. Se realizó un análisis de 24 horas observando que la materia gruesa es materia flotante que puede ser eliminada en un pretratamiento, ayudando a mejorar el tratamiento biológico.

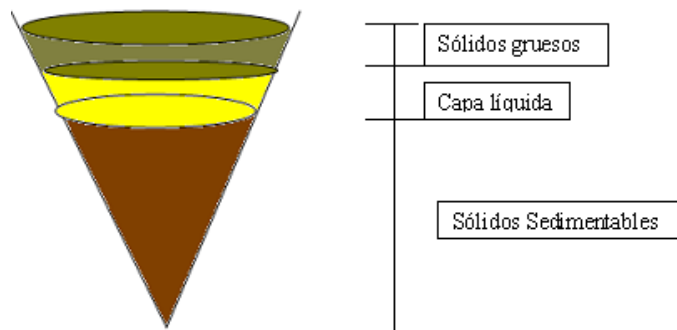
Figura 3. **Prueba de sedimentación con tiempo de 1 hora**



Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria.

Proceso de sedimentación en 24 horas se obtuvo un rango de valores entre 610 a 680 $\text{cm}^3/\text{L}/\text{Día}$ y sólidos flotantes o basura, con rango entre 170 a 250 $\text{cm}^3/\text{L}/\text{Día}$.

Figura 4. **Prueba de sedimentación tiempo 24 horas**



Fuente: elaboración propia.

Se observa la presencia de material sólido como papel higiénico, papel derivado de bolsas de cemento, papel periódico, estos materiales intervienen dentro del proceso de sedimentación.

Figura 5. **Contenido de sólidos gruesos**



Fuente: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria.

4.4. Interpretación de resultados de nitrógeno total

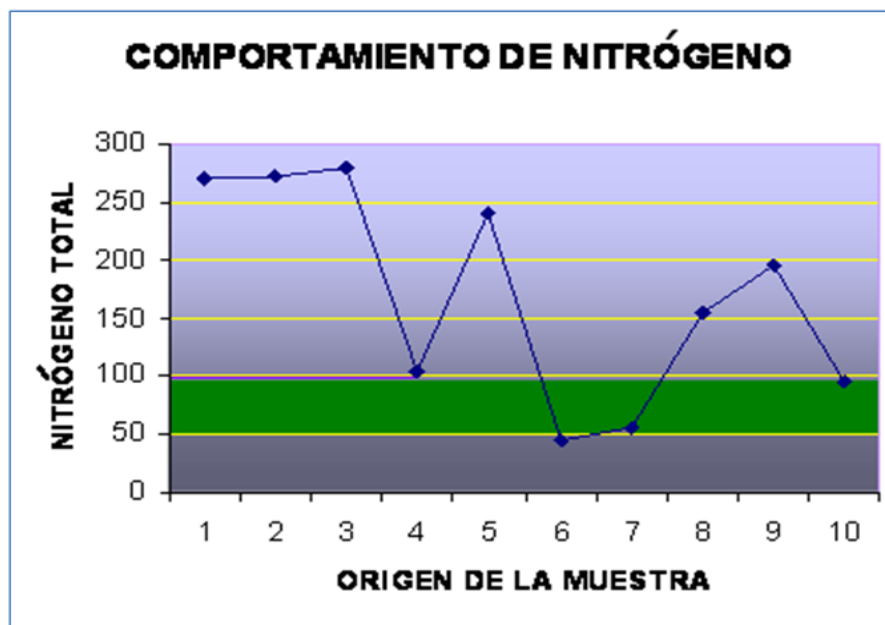
En la determinación de nitrógeno total intervienen diferentes métodos de análisis, como la determinación del N Kjeldahl (es el nitrógeno amoniacal más el nitrógeno orgánico), y el nitrógeno total que incluye el nitrógeno Kjeldahl, además de los nitritos y nitratos. En el afluente la concentración de nitrógeno total para la descarga al sistema presenta concentraciones entre 45 a 285 mg/l, estos valores dependen de las condiciones climáticas del lugar, conforme con lo establecido en el Art. 21 del Decreto 236-2006, en donde se menciona que

el valor máximo permisible de parámetro de calidad para descarga del nitrógeno total es de 20 mg/l. Las características de la cantidad de N deben de ser tal que:

- Favorece el crecimiento vegetativo
- Produce succulencia en la planta
- Da el color verde a las hojas
- Gobierna en las plantas el uso de potasio, fósforo y otros.

Un exceso de este elemento retarda la maduración, debilita la planta, puede bajar la calidad del cultivo y puede provocar menor resistencia a enfermedades.

Figura 6. **Resultado de nitrógeno y su comportamiento**



Fuente: elaboración propia.

4.5. Problemas que causan los compuestos de nitrógeno total

El problema ambiental más frecuentemente asociado con el exceso de N en las aguas es la eutrofización, proceso por el cual debido al enriquecimiento de las aguas en nutrientes (fósforo y nitrógeno), tiene lugar una veloz propagación de algas y formas superiores de vida y se producen efectos indeseables en el equilibrio de los organismos y en la calidad de las aguas.

El principal problema de la toxicidad por amonio deriva de su forma no ionizada NH_3 que afecta de manera negativa a la fauna piscícola, pocos mg/L de amoníaco libre resultan tóxicos. Una ligera variación en las condiciones fisicoquímicas del agua (pH, T°) puede modificar el equilibrio químico incrementando la fracción de amoníaco libre y así la toxicidad. Las formas oxidadas, especialmente el nitrito, pueden causar problemas procedentes de la formación de nitrosamidas y nitrosaminas y en casos de contaminación aguda, pueden provocar metahemoglobinemia.

4.6. Interpretación de resultado de fósforo total

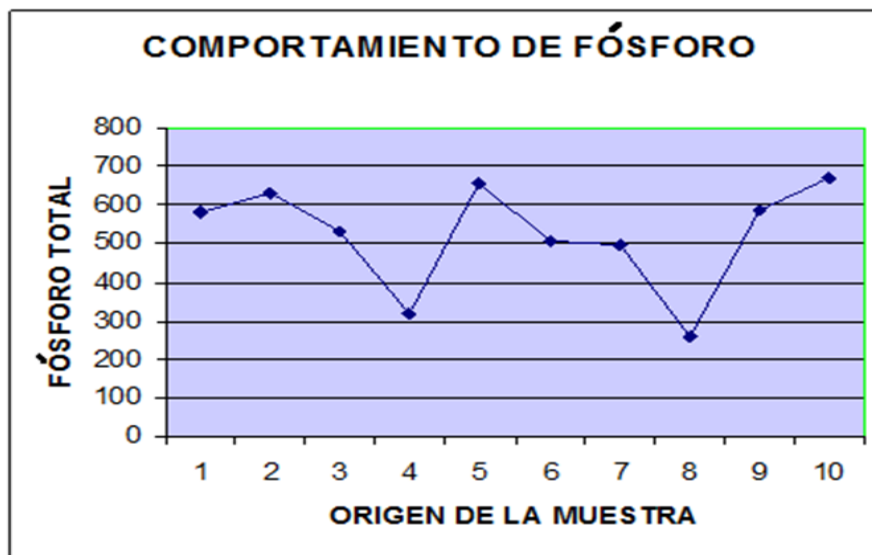
En el Art. 21 del Decreto 236-2006 se menciona que el valor máximo permisible de parámetro de calidad para descarga del fósforo es de 10 mg/l. Se necesitan conocer dos aspectos básicos para entender su funcionamiento en el sistema suelo-planta: su dinámica en el suelo, la fisiología del cultivo.

El fósforo: es un nutriente esencial para el crecimiento de organismos, por lo que la descarga de fosfatos en cuerpos de aguas puede estimular el crecimiento de macro y microorganismos fotosintéticos en cantidades nocivas, luego del nitrógeno es el macronutriente que en mayor medida limita el rendimiento de los cultivos, cuando se presenta en grandes concentraciones,

interviene en numerosos procesos bioquímicos a nivel celular, contribuye a las raíces y a las plántulas a desarrollarse rápidamente y mejora su resistencia a las bajas temperaturas incrementa la eficiencia del uso del agua, contribuye a la resistencia de algunas plantas a enfermedades, formas y ciclo global de P (fósforo) en el suelo, formas orgánicas: (60-50 %)

También se encuentran en el humus del suelo, en diferentes niveles de estabilización, distinguiendo entre ellas sustancias orgánicas más accesibles para las plantas (lábil) y otras de menor accesibilidad. El proceso queda regulado por la actividad microbiana. Interviene en la estructura del humus y la accesibilidad de nutrientes para las plantas, el P en solución es el medio para que las plantas lo absorban. El equilibrio dinámico lo alcanza el fósforo a través de la mineralización del humus.

Figura 7. **Resultado de fósforo y su comportamiento**

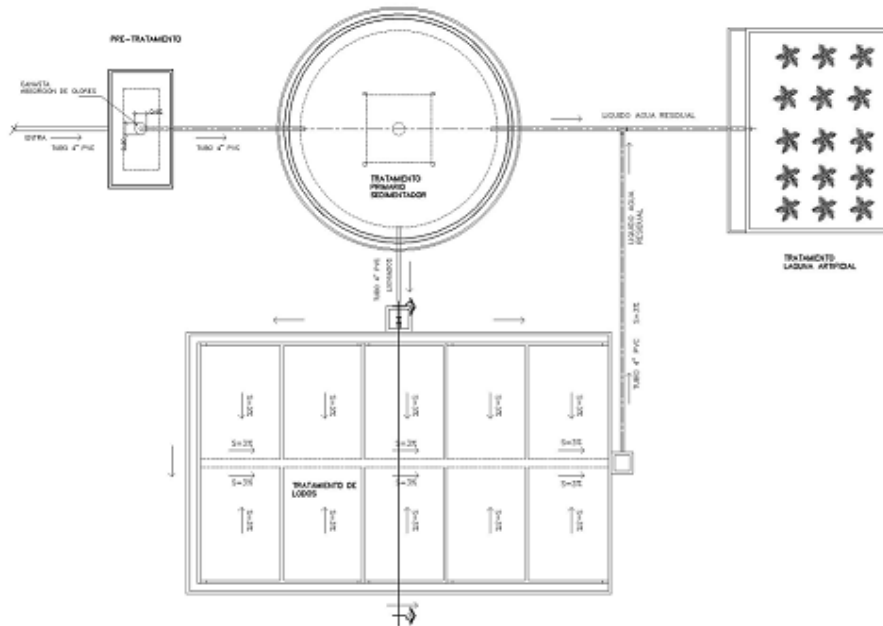


Fuente: elaboración propia.

5. PROPUESTA DE PLANTA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE SANITARIOS PORTÁTILES

Con la realización de los análisis de tratamiento de agua residual se confirma la necesidad de proponer un sistema de tratamiento, que sea capaz de disminuir la contaminación en el punto de descarga de las aguas residuales provenientes de sanitarios portátiles. Se describe un diagrama de flujo de las unidades de tratamiento. Propone un pretratamiento, tratamiento primario, eras de secado de lodos y un humedal. De los resultados de la caracterización y análisis de las pruebas de laboratorio se obtiene que la relación DBO_5 / DQO es en promedio de 0,6, lo que se especifica con este promedio es el tipo de tratamiento, por lo que se concluye que el tratamiento es biológico, las unidades son:

Figura 8. **Esquema de tratamiento de agua residual**



Fuente: elaboración propia.

Cada uno de los elementos que constituye el diagrama, deberá de cumplir como mínimo los siguientes parámetros:

- La diferencia de nivel entre cota de salida y cota de entrada debe de ser tal, que permita la conducción del caudal a pendientes y velocidades dentro de las normas establecidas.
- Debe estar a una distancia considerable de las viviendas más cercanas y cerca de un cuerpo receptor.
- La topografía debe ser adecuada para que el sistema de la planta funcione por gravedad.

5.1. Propuesta para el tratamiento de malos olores

Los olores característicos de las aguas residuales son causados por los gases formados en el proceso de descomposición anaerobia. Principales tipos de olores:

- Olor a moho: razonablemente soportable; típico de agua residual fresca
- Olor a huevo a podrido: insoportable; típico del agua residual vieja o séptica, ocurre debido a la formación de sulfuro de hidrógeno que proviene de la descomposición de la materia orgánica contenida en los residuos.
- Olores variados: de productos descompuestos, como repollo, legumbres, pescado, de materia fecal, de productos rancios, de acuerdo con el predominio de productos sulfurosos, nitrogenados, ácidos orgánicos, etc.

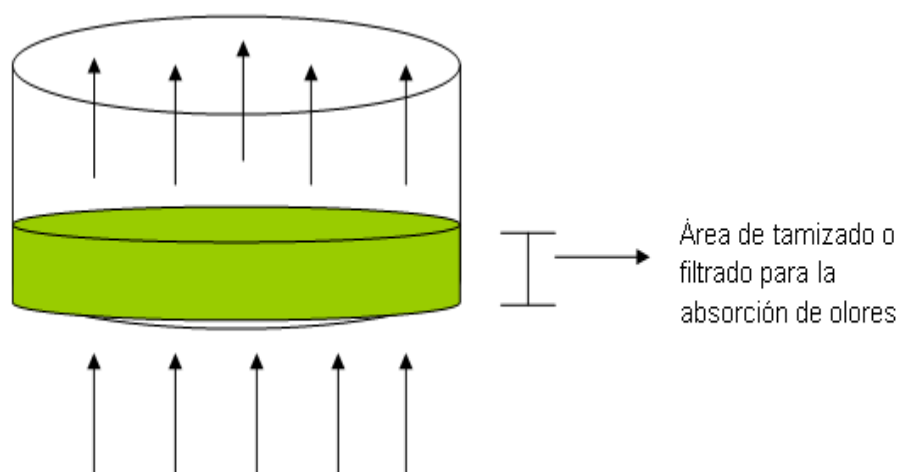
Para la propuesta de tratamiento debe de tomarse en cuenta algunos aspectos ambientales, basados en criterios sociales, evaluando los efectos adversos que podrían provocarse al no tener control sobre el entorno de cualquier área que se proponga, para minimizar cualquier efecto de malos olores se propone:

5.2. Barrera ecológica

La forestación se ha considerado como una barrera de viento o un cordón perimetral para evitar malos olores y mejorar la estética de las plantas de tratamiento y las áreas de reúso. En principio se recomienda trabajar con especies comerciales nativas, porque están mejor adaptadas a las condiciones ambientales del lugar y son más apreciadas en los mercados locales. Las más utilizadas son: eucaliptos, pinos, cipreses y casuarinas.

Se propone utilizar una columna de biofiltración. Esta posee una altura de 0,6 m, con 0,6 m de diámetro. La altura de empaque del medio filtrante es de 0,30 m. de altura, la composta utilizada como medio filtrante puede ser con base en estiércol de caballo, de ramas de eucalipto, pasto, fresno y liquidámbar.⁷

Figura 9. **Columna de biofiltración**



Fuente: elaboración propia.

Producto de la digestión anaerobia es el biogás, el que puede ser aprovechado en combustión de hornillas, calentamiento del efluente, electricidad, etc.

⁷MARQUEZ, J. F. *Control de malos olores en un sistema integral de tratamiento de aguas residuales para casas de habitación*, p. 187.

5.3. Tratamiento para la eliminación de sólidos gruesos

Se propone un pretratamiento, el cual se basa en el cribado del material contenido específicamente dentro de las aguas residuales provenientes de sanitarios portátiles, con el objetivo de eliminar toda materia gruesa o basura pretendiendo eliminar específicamente papel higiénico, papel de bolsa de cemento (el cual consta de recubrimiento parafinado o plástico), papel periódico.

Se plantea un sistema combinado con barras de limpieza manual, seguido de tamizado. El pretratamiento consta de barras para eliminar la basura cuyas dimensiones sean mayores de 25 mm, y con un tamizado con aberturas libres inferiores a 10 mm, debido a la materia putrescible, incluida la materia fecal patógena.

La planta debe de contar con dos sistemas de rejas:

- Rejas gruesas: tiene como finalidad retener cuerpos extraños o sólidos gruesos, que puedan alterar posteriormente el proceso de tratamiento, esta reja es de hierro inoxidable, con inclinación de 30°.
- Rejas finas: esta unidad se ubica aguas abajo del sistema de rejas gruesas, el material del cual está construido es de hierro inoxidable, su inclinación puede variar desde 30°, 45° a 60°.

Tabla VI. **Dimensionamiento de pretratamiento de barras**

Característica	Limpieza Manual	Limpieza Mecánica
Tamaño de la barra	media	media
Anchura, mm	5 -15,0	5- 15,0
Profundidad, mm	25-37,5	25-37,5
Separación entre barras, mm	25-50	15-75
Pendiente en relación a la vertical, grados	25-50	50-82,5

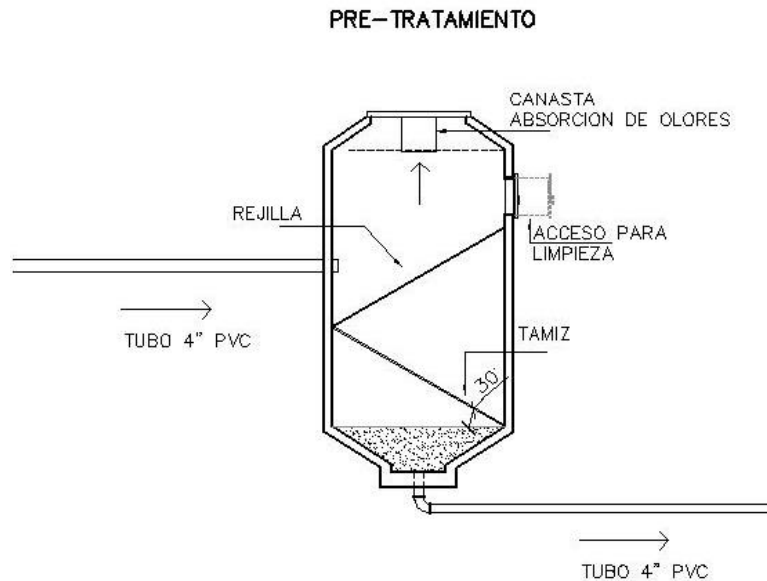
Fuente: Metcalf & Eddy. Inc. *Dimensionamiento de barras* Cap. 9.

Retenidos en tamices con aberturas libres inferiores a 15 mm. Los tamices con abertura entre 2 y 6 mm retienen del 5 al 10 por 100 de los sólidos suspendidos afluentes, mientras los tamices con aberturas entre 0.75 y 1.5mm pueden retener entre 10 y 15 por 100. En comparación con los residuos gruesos, su densidad es ligeramente inferior mientras que la humedad es algo mayor.⁸

Debe de tomarse en cuenta el ángulo con respecto a la horizontal de 30° de inclinación con la reja y del tamiz, ya que su disposición de descarga del agua residual se da en forma vertical y descendente. Ver figura.

8 Metcalf & Eddy, INC. *Dimensionamiento de Pretratamiento de barras*, cap. 9,1997.

Figura 10. **Pretratamiento**



Fuente: elaboración propia.

5.4. Tratamiento para la sedimentación de sólidos suspendidos

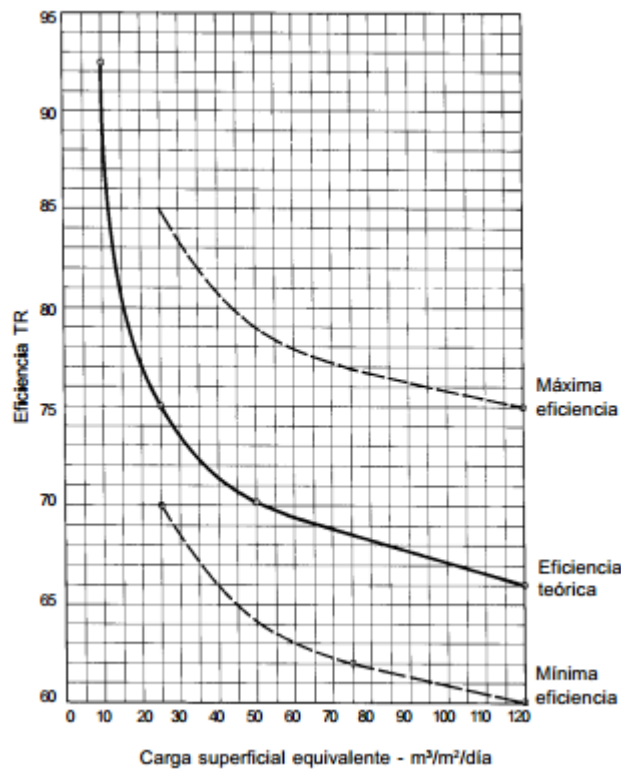
El tratamiento primario de las aguas residuales después de las precedentes fases preliminares es, generalmente, la sedimentación de los sólidos suspendidos en un tanque adecuado en el que se mantienen las aguas por un lapso de 1 a 3 horas o más, que es suficiente para permitir que el 40 a 65 % de los sólidos finamente divididos, se pose en el fondo del tanque, del cual se extraen por medio de colectores mecánicos en forma de lodos. El material orgánico es ligeramente más pesado que el agua y se sedimenta lentamente, normalmente en el intervalo de 1 a 2,5 m/h.

Considerando que la descarga no es continua, se propone después del pretratamiento combinado de reja y tamizado tener un tanque o depósito de almacenamiento para regular la velocidad del flujo, también tener como mínimo

un tiempo de retención de 2,5 horas. Tomar en cuenta ángulo de inclinación para la tubería que conduce la cargas sobre el vertedero, hacia el sedimentador primario de forma que no exista aumento de velocidad, ni retención de sólidos.

Para conseguir una eficiencia de remoción de sólidos suspendidos de aproximadamente el 60 % debe de tenerse una carga superficial de 35 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$.

Figura 11. **Carga superficial vs. porcentaje de remoción**



Fuente: MALDONADO YACTAYO, Victor. *Estudio de sedimentación*. p .48.

La remoción de demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos está en función de la carga superficial. La elección de una tasa adecuada de

agua superficial en metros cúbicos por metro cuadrado de área superficial por día $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$, dependen del tipo de material en suspensión a sedimentar.

Cuando el área del tanque se ha determinado, el tiempo de retención de este depende de la profundidad del agua. Las tasas de carga superficial recomendadas proporcionan tiempos de retención entre 2,0 y 2,5 horas, con base en el gasto medio de diseño.

El efecto que la tasa de carga superficial y el tiempo de retención ejercen sobre la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos varía ampliamente dependiendo de las características del agua residual, fracción de sólidos sedimentables, concentraciones de sólidos y de otros factores.

Los efectos ocasionados por acciones de la temperatura pueden tener consecuencias importantes en tanques de sedimentación. Se ha observado que 1 °C de diferencia entre la temperatura del influente de agua residual y la del agua contenida en el tanque, ocasiona la formación de corrientes de densidad. Los impactos por efectos de la temperatura dependerán del material que se desea remover y de sus características.

Los tipos de tanque de sedimentación más comúnmente empleados para la obtención y sedimentación de partículas coloidales son los tanques circulares en forma cónica, ya que los rectangulares presentan problemas de sedimentación en las cuatro esquinas. Este tipo de sedimentación es para la obtención de fangos.

Los tanques circulares en forma cónica se han construido con diámetros variables entre 3 y 60 metros. Se necesita retener un volumen de agua residual de 6 m^3 por día, y cuyo valor de sedimentación oscila entre el 65 y 70 % por día;

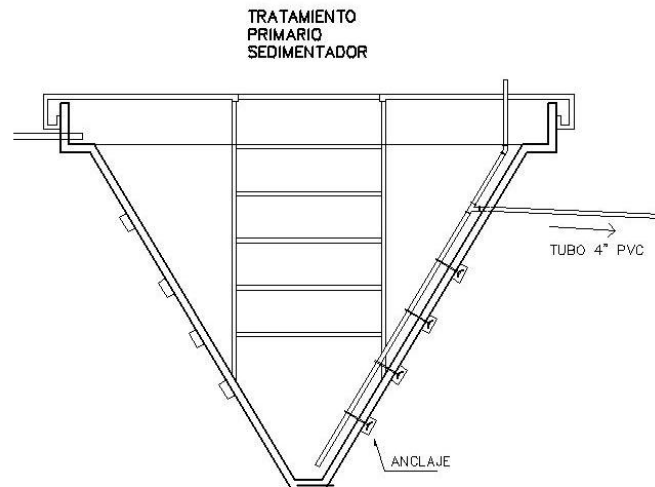
se recomienda retirar el lodo cada tres días, implica que el almacenamiento de este volumen en tres días es de $12,6 \text{ m}^3$ de los sólidos sedimentables en el cono. En los tanques de sedimentación primaria las velocidades deben de mantenerse a niveles bajos de modo que las partículas no sean arrastradas desde el fondo del tanque.

El caudal de descarga de agua residual proveniente de sanitarios portátiles no es constante en el transcurso del día, se hacen descargas eventuales, diarias, semanales, etc. La concentración de heces fecales aumenta físicamente, como su proceso de oxidación se ve afectado en el transcurso del tiempo. Ver tabla IV.

5.4.1. Variables que afectan la sedimentación

- Corrientes de densidad: Son aquellas que se producen dentro del tanque por efecto de las diferencias de densidad en la masa de agua y son ocasionadas por un cambio de temperatura (térmica) o por diferencias en la concentración de las partículas suspendidas en las distintas masas de agua (de concentración).
- Corrientes debidas al viento: el viento puede producir corrientes de suficiente intensidad como para inducir cambios en la dirección del flujo.
- Corrientes cinéticas: Pueden ser debido al diseño impropio de la zona de entrada o de salida (velocidad de flujo excesiva, zonas muertas, turbulencias) o por obstrucciones en la zona de sedimentación.

Figura 12. **Tratamiento primario sedimentador**



Fuente: elaboración propia.

5.5. **Propuesta de tratamiento de secado de lodos**

Para la propuesta de tratamiento de secado de lodos es necesario considerar la preparación del terreno, área, topografía y cantidad de celdas de secado.

Figura 13. **Preparación de terreno patio de secado**



Fuente: GONZÁLEZ DE LEÓN, José Gilberto. *Experiencias Nacionales en el Tratamiento de Aguas Residuales*. p 15.

El caudal generado por las descargas de los sanitarios portátiles es de 5 m³/día, considerando que el porcentaje de retención en el tratamiento primario según prueba de sedimentación, los sólidos sedimentables durante un día equivalen al 68 % del caudal generado, $0,68 * 5 \text{ m}^3 = 3,4 \text{ m}^3$ generados de fango, si el fango se retira cada tres días el volumen generado es de $3,4 * 3 = 10,2 \text{ m}^3$ por lo tanto el patio de secado de lodos que se necesita deberá tener 5,75 m de cada lado y con profundidad de 0,30 m en el punto más alto y 0,50 m en el punto más bajo de la pendiente.

Los lodos tratados deben de ser deshidratados para su disposición final.

- Deshidratación de los lodos
 - Secado mecánico (filtros de correa, filtros de presión, filtros al vacío, centrífugas)

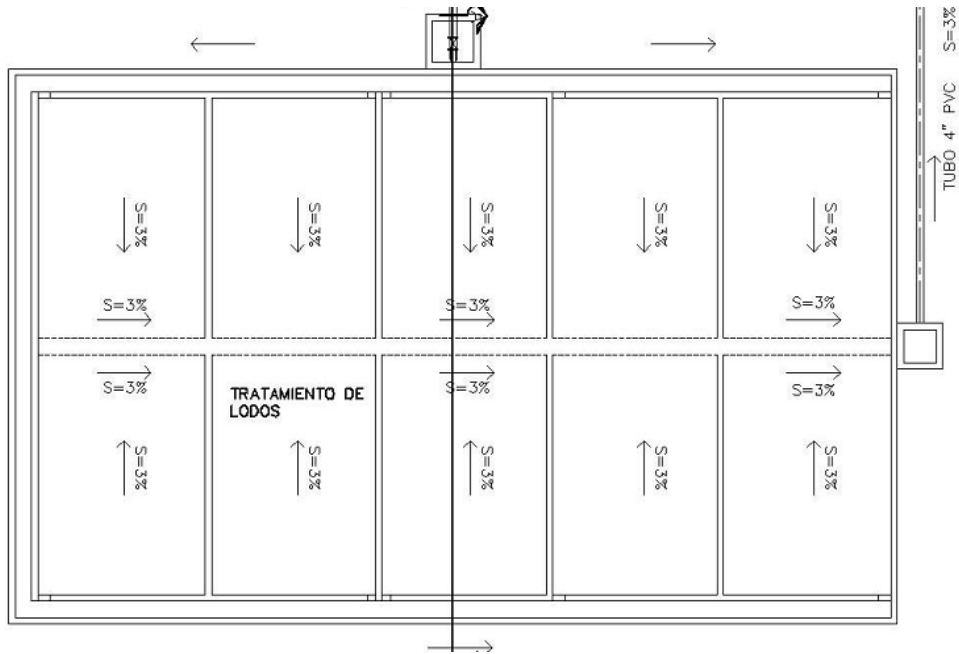
- Lecho de secado por medio filtrante. Secado por aire (lechos de arena, lechos adoquinados)
- Compostaje (madera, lombricultura)
- Congelamiento de lodos

5.5.1. Patio de secado de lodos

Como alternativa el patio de secado de lodos convencional de arena es uno de los más utilizados, sin embargo, se han empleado otros tipos de patio, de los cuales se puede mencionar el secado pavimentado, a su vez este se divide en: drenaje y decantación. Los patios de tipo de drenaje funcionan de forma similar a los convencionales desde el punto de vista de que también se recoge el líquido drenado en su zona inferior, pero la extracción del fango se lleva a cabo utilizando palas cargadoras de ataque frontal. El secado del fango también se puede mejorar mediante su agitación frecuente con equipos móviles.

Con este tipo de diseño el patio de secado de lodos suelen ser rectangulares con paredes laterales y dimensiones entre 5 y 15 metros de anchura y 10, 20 a 45 metros de longitud. Se utilizan pavimentos de hormigón u hormigón bituminoso de 150, 200 a 300 mm de espesor dispuestos sobre una base de arena o de grava para filtración. El pavimento debe tener una pendiente mínima de 2 % o 3 % hacia una zona de drenaje central. Este tipo de patio se utiliza como lechos contruidos con un pavimento impermeable de bajo costo que depende de la decantación del sobrenadante y del mezclado del fango a secar para conseguir promover y mejorar la evaporación

Figura 14. **Patío de secado de lodos**



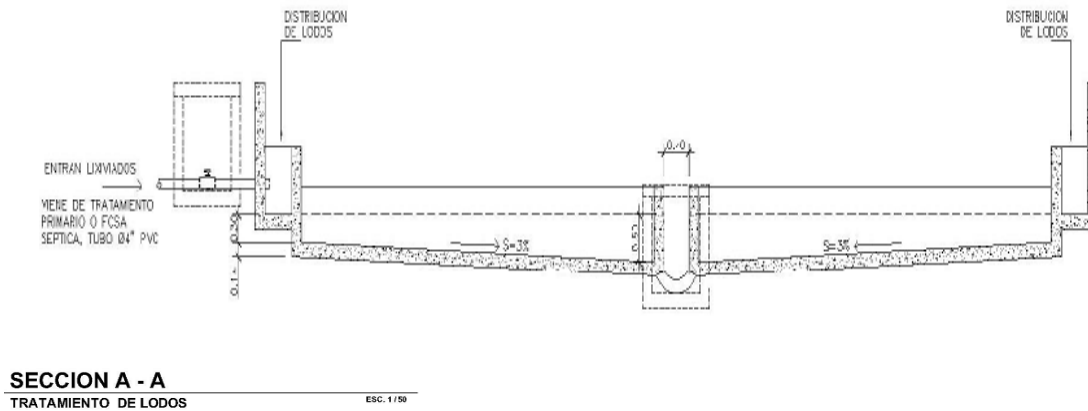
Fuente: elaboración propia.

5.5.2. Consideraciones técnicas para patio de secado de lodos

- Considerar pendiente de diseño para reducir el contenido de humedad del fango. El fango deshidratado tiene mejor manipulación.
- Considerar para el alcance de la propuesta es necesario realizar estudio de suelos para confirmar la compactación, la impermeabilidad del suelo, con proctor modificado. La impermeabilización del suelo debe de hacerse con geomembrana de polietileno de alta densidad.

- La era de secado tendrá una pendiente del 3 %, como valor mínimo, presentando la orientación de los lodos en forma frontal en vista al sol durante el día ya que esto permitirá la eliminación de patógenos.
- Recircular el agua de los lodos por medio de tubería de filtración o por medio de drenaje tipo francés, que consiste en colocación de piedra triturada en la parte más baja de la inclinación de la cancha de lodos.
- La tubería que recibe el caudal en la parte baja de la era será de PVC de 4".
- El acabado superficial recubierto con impermeabilizante. Para evitar filtraciones.
- Las tuberías de conducción del fango deben estar diseñadas para una velocidad de, por lo menos 0,75 m/s.
- La era descubierta deben de tener una superficie adecuada y suficientemente aislada para evitar quejas provocadas por la generación ocasional de malos olores.
- La era descubierta debe de ubicarse en emplazamiento que disten un mínimo de 100 metros de edificios y urbanización.
- Deben de tomarse en cuenta para el diseño las condiciones climáticas independientes de cada lugar.

Figura 15 **Diseño patio de secado de lodos**



Fuente: elaboración propia.

5.5.3. Manejo de lodos

- Los lodos recolectados en el sedimentador deben de ser conducidos adecuadamente dentro del terreno de la planta, con las debidas normas de seguridad.
- En caso de que los lodos sean entregados para su manejo a una empresa particular, esta deberá estar autorizada por el Ministerio de Salud.
- El manejo de los lodos deberá incorporarse en el Manual de Operación y Mantenimiento y los planos constructivos. Los lixiviados no pueden ser descargados a un cuerpo receptor, ni ser utilizados para riego.

- Las obras civiles donde se traten los lodos deberán tener un cercado periférico, de igual manera que las plantas de tratamiento, que permita la manipulación de los mismos.
- Debe indicarse en el Manual de Operación y Mantenimiento la obligatoriedad de caracterizar: lodos, lixiviado y abono en caso de su utilización.

5.6. Humedales

Entre los tratamientos que interactúan con la atmósfera se encuentran los humedales. Operan casi a velocidades de flujo y caudal constante y están sujetos a drásticos cambios en la remoción de DBO, debido a los cambios en la temperatura del agua, por esta razón en zonas templadas estos sistemas de tratamiento tienden a variar su eficiencia durante el año.

Lo característico de un humedal de flujo subsuperficial (FS) es la presencia de agua durante períodos lo bastante prolongados como para alterar los suelos, sus microorganismos y las comunidades de flora y fauna hasta el punto de que el suelo no actúa como en los hábitat acuáticos o terrestres. Las profundidades típicas de estas extensiones de tierras son menores a 0,60 m donde crecen plantas emergentes como juncos, *Typha* «tatora», *Duck weed* «lenteja de agua», jacinto acuático, lirio y caña; que contribuye a la reducción de contaminantes a través de procesos aerobios de degradación

Son capaces de proporcionar una alta eficiencia física en la remoción de contaminantes asociado con material particulado, el agua superficial se mueve muy lentamente, debido al flujo laminar característico y la resistencia proporcionada por las raíces y las plantas flotantes. La sedimentación de los

sólidos suspendidos se promueve por la baja velocidad de flujo y las esteras de plantas pueden servir como trampas de sedimentos, pero su rol primario es la remoción de sólidos suspendidos para limitar la suspensión de material granular fino.

La eficiencia de remoción de SS es proporcional a la velocidad del tipo de material granular fino fijo y la longitud, para propósitos prácticos, la sedimentación es usualmente considerada como un proceso irreversible, resultando en acumulación de sólidos y contaminantes asociados sobre la superficie del suelo.

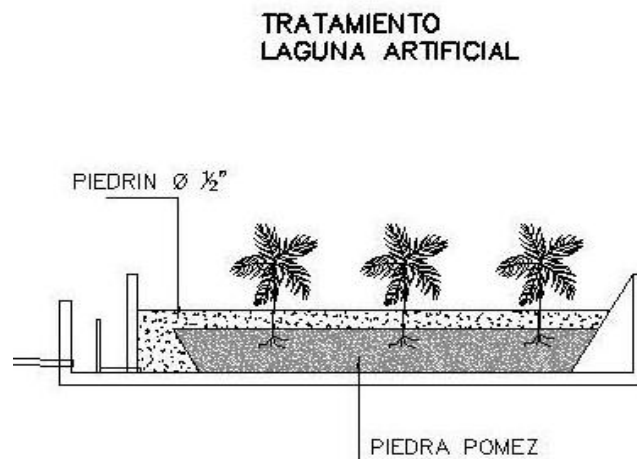
La resuspensión podría ocurrir durante periodos de velocidad de flujo alto, más comúnmente es el resultado de la turbulencia de la dirección del viento, bioturbación (perturbación por animales y humanos) y desprendimiento de gas, como el metano y dióxido de carbono, producido por los microorganismos en el sedimento durante la descomposición de la materia orgánica.

El humedal es un proceso de remoción biológica, quizá el camino más importante para la remoción de contaminantes (nitrato, amonio y fosfato). Muchas especies de plantas son capaces de captar significativamente metales tóxicos (cadmio y plomo). Las plantas leñosas (árboles y arbustos) proporcionan un almacenamiento a largo plazo de contaminantes, comparado con las plantas herbáceas. Las plantas que se seleccionan para su humedal dependen de: duración de tiempo de crecimiento para que permanezcan dentro del sistema, para tener su carga saturada, profundidad del agua, cantidad de la luz en el área, clima del área, pH del suelo, tamaño del humedal.

Las algas pueden proporcionar una cantidad significativa de nutrientes, pero son más susceptibles a los efectos tóxicos de metales pesados. Por lo que su presencia no es recomendable dentro de los humedales.

En los humedales el material de la planta muerta, conocido como detritus o basura, se acumula en la superficie del suelo, algunos de los nutrientes, metales u otros elementos eliminados previamente del agua por captación de la planta son pérdidas por la lixiviación, descomposición y reciclados nuevamente dentro del agua y del suelo. La lixiviación de contaminantes solubles en agua puede ocurrir rápidamente en la muerte de la planta o del tejido de la misma, mientras que una pérdida más gradual ocurre durante la descomposición por las bacterias y otros organismos.

Figura 16. Tratamiento de lixiviados



Fuente: elaboración propia.

5.7. Tipos de contaminantes vs. proceso de eliminación

Existen diferentes tipos de contaminantes que pueden ser removidos según el proceso de eliminación o remoción, entre los cuales se pueden mencionar:

Tabla VII. **Principales procesos físicos, químicos y biológicos que favorecen la depuración del agua residual en los humedales**

CONTAMINANTE	PROCESO DE ELIMINACIÓN
Materia orgánica	Sedimentación, asimilación , mineralización
Sólidos en suspensión	Floculación, sedimentación Filtración, degradación
Nitrógeno	Amonificación, volatilización de amonio Nitrificación, desnitrificación
Fósforo	Adsorción, sedimentación, precipitación química, asimilación vegetal
Patógenos	Sedimentación y muerte gradual Radiación UV Antibióticos naturales Predación
Compuestos inorgánicos	Asimilación Inmovilización
Metales pesados	Fijación al sedimento Adsorción por las plantas

Fuente: elaboración propia.

5.7.1. Eliminación de DBO₅

Ocurre rápidamente por sedimentación y filtración de partículas en los espacios en la grava y las raíces. La DBO₅ es eliminada rápidamente a la entrada del humedal, siendo suficiente un tiempo de retención de aproximadamente 2 días.

5.7.2. Eliminación de sólidos en suspensión

Ocurre en los 5 primeros metros de distancia desde la entrada. Los SS están formados por materia orgánica, algas o microorganismos, que son degradados hasta productos gaseosos, por lo que los procesos de colmatación de los humedales suelen ser largos.

5.7.3. Eliminación de nitrógeno

El proceso en el interior del humedal son anaerobios, ya que no existe suficiente oxígeno para la nitrificación y posterior desnitrificación, por lo que no existen reducciones importantes de nitrógeno en los humedales de flujo subsuperficial.

5.7.4. Eliminación de fósforo

No son un método muy efectivo para la eliminación de fósforo, excepto si se usan grandes aéreas con grava rica en hierro y aluminio o tratamientos alternativos de eliminación de fósforo.

5.7.5. Eliminación de patógenos

Los humedales pueden reducir los coliformes fecales en uno o dos órdenes logarítmicos, capaces de reducir otros patógenos, como protozoos y helmintos.

5.8. Propuesta de funcionamiento del diseño

La temperatura promedio del agua residual proveniente de sanitarios portátiles es de 21 °C en la mayoría del año. El agua proveniente del sedimentador primario, más el agua proveniente de los lixiviados de los lodos son los caudales que se incorporan al tratamiento biológico por medio de un humedal. La cantidad de agua residual proveniente de sanitarios portátiles serán recolectada en una laguna de almacenamiento o humedal artificial, sirve como un recipiente de sedimentación primario. El efluente de esta laguna está a desnivel, se llevará a través de un caudal a celdas experimentales, a través de tuberías de PVC.

La depuración del agua residual pasa por diferentes etapas de tratamiento, mostradas de manera esquemática y son:

- Humedal de lodos: plantación de carrizo para tratamiento de los lodos resultantes de la sedimentación.
- Humedal de tratamiento: plantación de chuspata y tule en un medio filtrante para eliminación de microorganismos patógenos, retención de nutrientes y remoción de minerales como el fósforo y nitrógeno.

- Humedal de pulimento: plantación de tule en grava para filtrar las algas generadas en la desinfección.
- Estanque de peces: el agua depurada se utiliza para la cría de peces con fines de autoconsumo.
- Parcela de riego agrícola: el agua excedente se utiliza para el cultivo de hortalizas y/o su descarga al lago en condiciones de cumplimiento de la norma legislativa del país que aplique.

5.8.1. Instalación del humedal

La construcción de los estanques y sistemas de tratamiento cuenta con redes de tubería de distribución y recolección que permiten un control para el paso de un proceso a otro. En las ilustraciones siguientes se muestran algunas etapas del proceso constructivo, materiales y componentes de relevancia. Impermeabilidad del terreno en el momento de la construcción del humedal.

Figura 17. Esquema de diseño de humedal



Fuente: San Cristóbal, Cobán.

5.8.2. Ventajas de los humedales

- Técnica sencilla.
- Bajo costo de inversión en comparación con tecnologías de tratamiento convencionales para operar y mantener los procesos mecánicos de tratamiento diseñados para un nivel equivalente de calidad de efluente.
- Costos de mantenimiento y operación prácticamente despreciables.
- No requiere de la adición de productos químicos.
- Gasto energético nulo o muy bajo en dependencia de la topografía.
- Vida útil superior a los 40 años.
- Sistema versátil y altamente flexible que permite tratar muchos tipos de aguas residuales, así como amplias variaciones en las características del agua residual.
- Sistema compacto que en forma integral agrupa procesos de biofiltración, degradación aerobia, degradación anaerobia y tratamiento de lodos en un mismo elemento de tratamiento.
- No produce malos olores, dado que el flujo de agua residual fluye subsuperficialmente.
- El sistema puede integrarse al paisaje natural de la zona donde se ubique

- Los humedales proporcionan tratamiento efectivo en forma pasiva y minimizan la necesidad de equipos mecánicos, electricidad y monitoreo por parte de operadores calificados.
- La operación a nivel de tratamiento secundario es posible durante todo el año con excepción de los climas más fríos.
- La configuración de los humedales proporciona una mayor protección térmica.
- Los sistemas de humedales no producen biosólidos ni lodos residuales que requerirían tratamiento subsiguiente y disposición.
- Los humedales son muy efectivos en la remoción de la DBO_5 , la DQO, los SST, los metales y algunos compuestos orgánicos refractarios de las aguas residuales domésticas. La remoción de nitrógeno y fósforo a bajos niveles es también posible pero se requiere un tiempo de retención mucho mayor.

5.8.3. Desventajas de los humedales

- El fósforo, los metales y algunos compuestos orgánicos persistentes que son removidos permanecen en el sistema ligados al sedimento y por ello se acumulan con el tiempo.
- En climas fríos las bajas temperaturas durante el invierno reducen la tasa de remoción de DBO_5 , NH_3 y NO_3 . Un aumento en el tiempo de retención puede compensar por la disminución de las tasas pero el

incremento en el tamaño de los humedales en climas extremadamente fríos puede no ser factible desde el punto de vista económico o técnico.

- El aumento del tamaño del humedal y el tiempo de retención puede hacerse como compensación, pero puede no ser eficiente en términos económicos.
- Los humedales FS no pueden ser diseñados para lograr una remoción completa de compuestos orgánicos, SST, nitrógeno o bacterias coliformes. Los ciclos ecológicos en estos humedales producen concentraciones naturales de esos compuestos en el efluente.
- Los sistemas de humedales FS típicamente reducen al menos un orden de magnitud el contenido de coliformes fecales. Esto no es siempre suficiente para cumplir con los límites de descarga en todas las localidades, por lo cual podría requerirse desinfección subsiguiente. La desinfección con luz ultravioleta ha sido utilizada con éxito en varias aplicaciones.

6. REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS

Los lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de sanitarios portátiles se restringen a la etapa de operación del proyecto.

Tabla VIII. **Criterios para la reutilización del agua residual**

Tipo de cultivo	Tratamiento	Criterios sanitarios
Cultivo no destinado al consumo humano	Tratamiento primario	Ausencia de partículas sólidas grandes. Eliminación de huevos de parásitos. Ninguna sustancia química que provoque la aparición de residuos nocivos en plantas y peces.
Cultivos que se consumen cocinados, piscicultura	Tratamiento primario + secundario	Ausencia de partículas sólidas grandes. Eliminación de huevos de parásitos. Ninguna sustancia química que provoque la aparición de residuos nocivos en plantas y peces con fuerte presencia de reducción de bacterias.
Cultivo para consumir en crudo	Tratamiento primario + secundario + desinfección	Con el criterio anterior, pero debe de contar con desinfección eficaz de tal manera que no sobrepasen los 100 coliformes en 100 ml en más del 90 % de la muestra.

Fuente: Organización Mundial de la Salud OMS (1973).

Al ocurrir la deshidratación de los lodos o al llegar a un 13 % de humedad con textura gruesa y agrietada con color negruzco, después de la deshidratación se propone el reúso. Para la reutilización del agua residual es importante definir que dentro de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio de las aguas residuales de los sanitarios portátiles se encuentra una gran cantidad contenidos de nutrientes. El contenido de nutrientes dentro de la calidad de agua es bueno ya que contiene nitrógeno y fósforo.

CONCLUSIONES

El modelo de propuesta de tratamiento de agua residual proveniente de sanitarios portátiles es presentado para ayudar a la evaluación y mitigación de la contaminación ambiental a cuerpos receptores de agua, establecido por las altas concentraciones en los componentes presentados dentro de la investigación de este estudio.

1. Por medio de las pruebas realizadas a las aguas residuales provenientes de sanitarios portátiles si es posible la evaluación, el análisis, conforme los resultados obtenidos se propone el tratamiento tipo biológico, cuyas unidades del perfil hidráulico establecen la remoción de patógenos, remoción de DBO₅, DQO, nitrógeno, fósforo.
2. Nitrógeno orgánico en fase sólida puede incorporarse directamente al humus del suelo.
3. Se proponer el uso del agua proveniente del humedal para el reúso del mismo (por ejemplo riego de áreas verdes, riego de áreas de limpieza, etc.).
4. Los lixiviados de la planta de tratamiento deberán tratarse mediante la recirculación a la misma planta o drenar en el terreno, siempre y cuando las condiciones de permeabilidad lo permitan. Los lixiviados estarán sujetos al Reglamento de Vertido y Rehúso. Acuerdo 236-2006 Art. 34, 37.

5. El proceso de nitrificación biológica por vía aeróbica resulta ser muy eficaz para la eliminación de nitrógeno orgánico y amoniacal, obteniéndose una conversión muy eficiente.
6. Los humedales son una tecnología viable para la depuración de aguas residuales, especialmente si esta es de origen doméstico, y pueden llegar a tener un gran futuro en países en vías de desarrollo que tengan climas tropicales o subtropicales, pues los costos de construcción y operación son bajos.
7. En la caracterización del olor proveniente de las aguas residuales se detectan tres factores: la detectabilidad, la intensidad, la sensación de desagrado, aunque en la actualidad el único factor considerado dentro de las normas reguladoras de los malos olores es la detectabilidad.

RECOMENDACIONES

1. No verte o descargar el agua residual ya tratada hacia cuencas de lagos, lagunas o embalses naturales, sin previo análisis de agua pues deberá cumplir con cinco miligramos por litro de fósforo total según el Acuerdo 236-2006 A. 62.
2. La caracterización de las aguas residuales debe llevarse a cabo antes de cualquier diseño, los procesos biológicos dependen directamente de estos valores: (DBO5, DQO, pH, temperatura, nitrógeno total, fósforo total).
3. Los parámetros mencionados deben de ser evaluados constantemente para asegurar que los procesos biológicos sean eficientes.
4. El material para la construcción de los elementos que constituyen el pretratamiento (barra y tamiz) sea construidos de acero inoxidable, para asegurar que el equipo tenga una vida útil mayor, y evitar corrosión y deterioro del material. Se recomienda que su limpieza sea después de hacer la descarga, la basura que se recoge del pretratamiento debe de ser almacenada en toneles plásticos y cuando exista una cantidad considerable se recomienda incinerar, enterrar o analizar para poder reciclar.

5. Al operador de la planta debe entregársele un manual técnico de fácil entendimiento para operar la planta, el cual contenga reglas básicas de higiene industrial y primeros auxilios. Además, debe suministrársele herramientas adecuadas al tipo de tratamiento, guantes, mascarillas, etc.
6. El funcionamiento de la planta debe de ser evaluar tanto su operación y mantenimiento para definir su eficiencia.
7. Seguir guías para la operación, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo de las unidades actuales y futuras.
8. Los materiales de construcción de cada elemento tratamiento biológico deben ser con material de pruebas de laboratorio, bajo norma para verificar su comportamiento estructural.
9. En caso de que se use el lodo para elaboración de abono o para aplicación con fines forestales se deberá presentar un plan de manejo de lodos que incluya entre otros los siguientes aspectos ambientales: caracterización fisicoquímica, microbiológica y la protección de los cuerpos de agua.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARANGO CHAMALE, Luis Felipe. *Construcción de un wetland*. Tesis, Magíster MSc. Ingeniería Sanitaria. Guatemala. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS) Universidad de San Carlos de Guatemala. 2005. 79 p.
2. CUBILLOS, Armando. *Parámetros y características de las aguas residuales, proyecto de desarrollo tecnológico de las instituciones del abastecimiento de agua potable y alcantarillado, DTIAPA*. División de Protección de la Salud Ambiental, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencia del Ambiente. Lima, Perú. CEPIS, 176 p.
3. FRESENIUS, W.; SCHNEIDER. *Manual de disposición de aguas residuales*. Lima Perú: CEPIS/OMS, 1991. 450 p. tomo II.
4. GARCIA, Guillermo Reynaldo Heriberto. *Tratamiento de las aguas residuales de la industria de galvanizado de lámina por inmersión en caliente*. 2005, 77 p.
5. MARQUEZ, J.F.; Morgan, J. M.; Noyola, A. *Control de malos olores en un sistema integral de tratamiento de aguas residuales para casas habitación*. Coyoacán, México: Ciudad Universitaria. 185 -192 p.

6. Metcalf & Eddy, INC. *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. 3ª ed. México: McGraw-Hill / Interamericana Editores, 1996. 390 p.
7. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos: Acuerdo Gubernativo Número 236-2006*. Guatemala: Diario de Centro América, 2006.
8. MUCH, Zenón. *Manuales de práctica de Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria; Escuela de Ingeniería Sanitaria ERIS-USAC*. 2009. Guatemala.
9. UGARTE OSORIO, Haydée. *Tratamiento de aguas residuales domésticas, por el proceso de lodos activados ¿Una alternativa para Centroamérica?* Ed. Panaidis, 14 p.

ANEXOS