



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE COSTA RICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

“Evaluación y monitoreo del sistema biológico tipo Keisya en la urbanización Santa Cecilia ubicada en Puriscal en la planta de tratamiento de aguas residuales del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.”

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL  
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA  
CIVIL**

**AUTOR:**

**Marvin Salazar Chinchilla**

**TUTOR:**

**Miguel Araya Vargas**

San José, Costa Rica.

I cuatrimestre 2021

## Contenido

Tablas .....	4
<b>Figuras</b> .....	5
Dedicatoria .....	7
Resumen .....	8
<b>1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	10
<b>1.1 Planteamiento del problema</b> .....	10
<b>1.2 Pregunta de la Investigación</b> .....	12
<b>1.3 Antecedentes</b> .....	12
<b>1.4 Objetivo general</b> .....	31
<b>1.5 Objetivos específicos</b> .....	31
<b>1.6 Justificación</b> .....	32
<b>1.7 Alcances y limitaciones</b> .....	34
Alcances .....	34
Limitaciones .....	35
<b>2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b> .....	36
<b>CAPITULO 3. MARCO METODOLÓGICO</b> .....	113
<b>4. CAPÍTULO CUATRO. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	129

## **ABREVIATURAS**

**DQO:** demanda química de oxígeno

**AyA:** Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

**PTAR:** planta de tratamiento de aguas residuales

**SST:** sólidos suspendidos totales

**SVT:** sólidos volátiles totales

**SSED:** Sólidos sedimentables

**UASB:** Upflow Anaerobic Sludge Blanket también conocido como Reactor de (RAFA)

**P:** Fósforo

**NO<sub>3</sub>:** Nitratos

**NO<sub>2</sub>:** Nitritos

**N:** Nitrógeno

**pH:** Potencial de hidrogeno

**OD:** Oxígeno Disuelto

**T:** Temperatura

## Tablas

Cuadro 1: resultados laboratorio 02 de diciembre 2020

Cuadro 2: resultados laboratorio 09 de diciembre 2020

Cuadro 3: resultados laboratorio 16 de diciembre 2020

Cuadro 4: resultados laboratorio 08 de enero 2021

Cuadro 5: resultados laboratorio 13 de enero 2021

Cuadro 6: resultados laboratorio 20 de enero 2021

Cuadro 7: resultados pH Cuadro 8: resultados Temperatura

Cuadro 8: resultados Temperatura

Cuadro 9: resultados Caudal

Cuadro 10: resultados Solidos suspendidos

Cuadro 11: eficiencia Solidos suspendidos

Cuadro 12: Resultados Solidos sedimentables

Cuadro 13: Eficiencia Solidos sedimentables

Cuadro 14: Resultado DQO

Cuadro 15: Eficiencia DQO

Cuadro 16: Resultados DBO

Cuadro 17: Eficiencia DBO

Cuadro 18: Rendimiento Grasas y Aceites

Cuadro 19: Rendimiento Grasas y Aceites

Cuadro 20: Resultados SAAM

Cuadro 21: eficiencia SAAM

Cuadro 22: Resultados Nitrógeno Total

Cuadro 23: Rendimiento Nitrógeno Total

Cuadro 24: Resultados Fosfato

Cuadro 25: Rendimiento Fosfato

Cuadro 26: resultados Coliformes Fecales

Cuadro 27: rendimiento Coliformes Fecales

Cuadro 28: resultados Escherichia Coli

Cuadro 29: eficiencia Escherichia Coli

## **Figuras**

Figura 1: Filtro Keisya

Figura 2: Base Filtro Keisy

Figura 3: Keisya experimento en cocina de Japón

Figura 4: Diagrama PTAR Santa Cecilia con Keisya

Figura 5: Cronometro

Figura 6: Biker plástico

Figura 7: Punto de muestreo entrada

Figura 8: Punto de muestreo salida

Figura 9: Botella para muestreo

Figura 10: Toma del aforo

Figura 11: Hielera igloo

Figura 12: Biker con muestra

Figura 13: Botella con muestra

Figura 14: hielera con el hielo

Figura 15: Hielera preparada para el viaje

Figura 16: medidor de Ph y temperatura HANNA

Figura 17: medidor de Ph y temperatura HANNA

Figura 17: Horno Marca Equatherm

Figura 18: Cono Imhoff

Figura 19: digestor HACH

Figura 20: colorímetro HACH DR900

Figura 21: BOD TRAK

Figura 22: grafica pH

Figura 23: grafica Temperatura

Figura 24: grafica Caudal

Figura 25: grafica Solidos Suspendidos

Figura 26: grafica Solidos Sedimentables

Figura 27: grafica DQO

Figura 28: grafica DBO

Figura 29: grafica Grasas y Aceites

Figura 30: grafica SAAM

Figura 31: grafica Nitrógeno Total

Figura 32: grafica Fosfato

Figura 33: grafica Coliformes Fecales

Figura 34: grafica Escherichia Coli

## Dedicatoria

A Dios, quien creó las aguas naturales en este mundo para abastecer de un recurso tan importante a los seres vivos en el planeta y, además, nos permite estudiarlas para darles tratamiento y devolverles sus propiedades naturales, de manera que estas continúen su ciclo natural y le sigan dando vida al planeta.

A mi Madre y Padre por enseñarme a no rendirme y luchar por mis sueños, sacrificarse para llevarme por el camino correcto en la vida durante tantos años y estar en esta etapa de mi vida, incondicionalmente y acompañándome. Mi hermana, a quien mis padres designaron en mi vida, ha sido también un apoyo incondicional, una verdadera compañera y un ejemplo para seguir adelante.

A mis primeros jefes en el AyA, Marcela Chávez Araya y Humberto López Castro, quienes me dieron su apoyo incondicional y me permitieron decidirme por una carrera y comenzar a esforzarme por alcanzar una profesión. Nunca me cerraron una puerta y fueron los primeros en creer y ver el potencial de profesionalizarme en lo laboral y lo académico. Ellos lograron abrirme un camino en mi vida.

A todos los profesores que he tenido a través de mi educación en grandes instituciones como el INA y la UNA, y especialmente a los profesionales de la Universidad Central, quienes sacrificaron su tiempo para formarme como futuro profesional en ingeniería civil durante cada uno de sus cursos.

A mis compañeros de carrera que hicieron el camino más divertido y estuvieron en las buenas y en las malas, para así lograr la meta de ser profesionales en ingeniería civil al servicio del país.

## Resumen

El tratamiento de aguas residuales es todo un reto para Costa Rica, por lo que es de suma importancia colaborar con países más experimentados, los cuales han garantizado una excelente gestión del tratamiento de aguas residuales en su región.

Para demostrar la eficiencia del filtro con la naturaleza de las aguas residuales, se realizó un estudio de la PTAR Santa Cecilia, donde se instaló el sistema de tratamiento Keisya, que fue evaluado para obtener datos de su eficiencia con respecto a la legislación nacional y a las características del agua residual en Costa Rica.

Después de aplicar un pretratamiento primario, se analizó el agua residual en su ingreso al sistema Keisya con el objetivo de conocer la calidad del agua en parámetros de vertido normados en Costa Rica. Asimismo, se examinó la salida del sistema Keisya para obtener las eficiencias y las deficiencias del sistema mediante el fallo en cada característica de tratamiento del agua residual.

Se estudió aspectos tales como DBO, DQO, pH, temperatura, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, SAAM, grasa y aceites, coliformes fecales y Escherichia Coli. Los parámetros químicos son cuantitativos debido a que la muestra es homogénea, mientras que, para los microbiológicos, estos son semicuantitativos, ya que se trabajó con comunidades y sectores de microorganismos en el agua residual.

Se utilizaron los métodos establecidos en la normativa nacional e internacional establecidos en la última edición del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters*, pues el objetivo era alcanzar resultados profesionales y normados en cuanto

a si se debe someter el filtro Keysia al tratamiento de agua residuales en un sistema de tratamiento en el país y dejar registro de su operación y eficiencia; aspectos que deberán ser analizados y ordenados para su evaluación en cada parámetro y característica del agua residual.

## 1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Planteamiento del problema

A través del tiempo, la humanidad ha evolucionado en muchas áreas, entre ellas, construcción de carretas, urbanismo, abastecimiento de agua, electricidad, mecánica y electrónica. Durante el comienzo de la civilización y el uso del modelo de urbanismo, el ser humano sufrió daños a la salud pública en las grandes ciudades debido a las aguas residuales, incluso estas dieron inicio a terribles enfermedades y pandemias. Actualmente, no se descarta el contagio de la COVID-19 por medio de las aguas residuales.

Costa Rica se da a conocer ante el extranjero como un país muy verde, con grandes playas y bosques llenos de flora y fauna que se encuentran entre los mejores del mundo; además, cuenta con muchas reservas biológicas y zonas protegidas. Sin embargo, en temas de agua, la inversión del país se ha centrado en la generación de energía por medios hidráulicos, donde se ubica al Instituto Costarricense de Electricidad con una cobertura del 99,4 % en el país, lo cual es un ejemplo a seguir a nivel mundial, gracias a muchos años de investigación e inversión presupuestaria en este modelo de energía.

Las aguas residuales son el lado opuesto, pues hay poca inversión e investigación, dando números muy negativos a nivel país. Por ejemplo, existe un 72 % de tratamiento con tanques sépticos como medida al tratamiento individual de las aguas residuales, además de un total desconocimiento de la población y el mantenimiento en estos sistemas individuales de operación. A nivel de tratamiento con sistemas de plantas, muchas de estas se abandonan

por los altos costos de operación de las estaciones de tratamiento de aguas residuales, la falta de conocimiento en el proceso de tratamiento y el escaso presupuesto para la inversión en modificaciones.

El sistema Keisya es una tecnología japonesa para el tratamiento biológico en aguas residuales, el cual se va a instalar en la PTAR Santa Cecilia, donde se trabajará en conjunto con un reactor biológico de flujo ascendente, monitoreando y comparando los parámetros de entrada y salida para verificar la calidad de vertido. Dicho sistema será integrado a la línea de operación de la PTAR Santa Cecilia para su respectiva investigación y descripción, pues se pretende fundar un precedente para la naturaleza de aguas residuales en Costa Rica, así como un sistema nuevo de tratamiento.

Costa Rica tiene el potencial para ser puntero en la región Centroamérica en materia de tratamiento de aguas residuales y ejemplo como país pequeño en el mundo. Sin embargo, para llegar a esta meta se necesita contar con una muy buena gestión en este tipo de proyectos, manejar adecuadamente el tema social y mejorar la formación en centros técnicos y universidades, ya que la investigación en estos temas es de suma importancia. Se requiere probar y aplicar tecnologías con años de investigación que pueden solventar limitaciones de espacios, costos y falta de experiencia en operación.

## **1.2 Pregunta de la Investigación**

¿Cuál es la capacidad de remoción en parámetros físicos ,químicos y microbiología del filtro Keisya con el agua residual costarricense?

## **1.3 Antecedentes**

Cuando existían pocos habitantes en la tierra, los primeros seres humanos eran nómadas que se dedicaban a la caza de animales y a la recolección de frutos. En esos tiempos, los recursos naturales eran muy extensos y se consideraba renovables. El agua siempre fue un factor importante para empezar a localizar pequeños asentamientos de seres humanos: la premisa era tener un acceso fácil y cercano al agua, pues el ser humano de la época buscaba el aprovechamiento al máximo de los recursos naturales.

También resultaba sencillo integrar residuos sólidos como huesos de animales y cáscaras de frutos, junto con otros materiales, entre ellos, la orina y las heces, ya que la naturaleza se encargaba del proceso, mientras que los humanos, como habitantes del planeta, no se diferenciaban mucho del resto de las especies que la poblaban. Esto tuvo un cambio radical cuando las personas empezaron a producir y comercializar durante el neolítico, en el 8 500 a. C.

Las poblaciones crecieron y se adaptaron a la vida sedentaria. Debido a las necesidades primordiales de alimento y agua, el ser humano se desarrolló en este modo de vida y esto dio origen a las primeras ciudades y las grandes agrupaciones de alta densidad

demográfica. A su vez, lo anterior trajo beneficios como la centralización del comercio, el poder político y la producción artesanal. No obstante, surgieron desventajas, por ejemplo, la generación de muchos desechos sólidos y el primer problema del tratamiento de las heces y la orina.

En esos momentos, las personas no tenían capacidad para enterarse del daño ambiental y de salud que experimentó la sociedad de la época a causa de las aguas residuales, ya que era muy difícil documentar enfermedades y aún más investigar y analizar que los responsables de estas eran los residuos fecales.

La primera instalación de saneamiento fue el pozo ciego o el pozo negro, inventado en Babilonia en el 4000 a.C. Se trataba de una medida mínima de saneamiento, pues, lejos de iniciar con el tratamiento de aguas residuales, dicho sistema consistía en hacer una simple excavación donde se depositaban las heces. Posteriormente, se aplicó la tecnología baldeo de heces y, más adelante, la conducción por medio de tuberías de arcilla.

Durante el 3.000 a.C., en la ciudad de Mohenjo-Daro, Valle del Indio (actual Pakistán), se dio inicio a las primeras letrinas conectadas a una red de alcantarillado sanitario con el fin de recolectar y transportar las aguas residuales, evitando la manipulación de las personas o el almacenamiento en las viviendas. Sin embargo, el problema de esta red era que, pese al transporte y la recolección, no contaba con tratamiento de los residuos, que se depositaban en caudales muy grandes en pozos ciegos o eran vertidos en el Río Indio.

Así, el manejo del agua residual comenzaba a crecer en complejidad y magnitud, lo que provocó la contaminación del curso del agua. Por ejemplo, en la antigua Grecia, dado que carecía de ríos, se utilizó el modelo de recolección y transporte para llevar las aguas residuales afuera de la ciudad y hacia un vertedero, donde eran empleadas en campos de cultivo. Por falta de conocimiento en microbiología, se ignoraba el resultado de aplicar lodo sanitario a los cultivos de consumo humano. Esto no generó una solución, sino que presentó un problema más para el saneamiento.

En la época del poderoso Imperio Romano, el concepto de higiene fue evolucionando a partir del establecimiento de normas para separar las aguas negras mediante alcantarillas en las calles. La letrina fue desarrollada y surgió la de asiento, pero la población continuó tirando los excrementos a la calle hasta el 100 d.C., cuando -por medio de un decreto- se obligó a conectar los hogares a las alcantarillas, lo que permitió un gran progreso en materia de saneamiento.

También se logró dar un paso importante al separar las aguas grises de las aguas negras. En esa época, el concepto de higiene estaba todavía alejado del de desinfección. Así fue como las aguas negras se empezaron a canalizar en redes de distribución y se vertían al río Tíber. La cultura de manejo de las aguas negras se centraba en evitar el mal olor, de manera que no existía una consciencia ambiental o una noción del impacto en la salud pública.

Durante la Edad Media se olvidaron los avances de los romanos, pues, en temas de tratamiento, esta fue conocida como la “Era sucia”, donde muy pocas ciudades -por ejemplo, París- conservaron algunas estructuras del alcantarillado romano, debido al desordenado crecimiento urbano. Las ciudades amuralladas instalaron pozos ciegos que pronto se saturaron y la población inició con la costumbre de tirar los excrementos a la calle y fuera de las murallas.

Lo anterior inició una plaga de ratas. Además, debido a los excrementos, comenzó la peste del cólera que causó la muerte del 25 % de la población medieval europea. Incluso con estos altos precios a la salud pública, el mayor avance de la época fueron las zonas rurales, donde las heces eran enterraban en un agujero.

Con respecto a las ciudades árabes de la península ibérica, estas instauraron normas de saneamiento con el fin de mantener separados los tres tipos de aguas: las pluviales con la creencia de que la lluvia era indispensable para la vida, las aguas grises que provenían de las actividades domésticas y las fecales.

Durante el Renacimiento, el arte avanzó ampliamente, pero el progreso en el tema de saneamiento no fue comparable. Esta área de la ciencia quedó estancada, mientras las ciudades iban creciendo más y más.

En el siglo XVII, Europa contaba con una suciedad y un olor espantosos en todos los rincones de las grandes ciudades, debido a que la defecación al aire libre fue muy común

en algunos barrios. Además, los pozos ciegos se saturaban, por lo que las personas tiraban a la calle sus heces, y el sistema de alcantarillado consistía en zanjas abiertas que iban a evacuar en los ríos.

Los avances que se produjeron estaban centrados en lo hidráulico, especialmente el agua potable y el abastecimiento. Un ejemplo muy recalable eran los Jardines del Palacio de Versalles, que contaba con hermosas fuentes de aguas.

La única evolución en temas sanitarios fueron los precursores de los inodoros modernos, pero su sola función era eliminar el olor desagradable de los orinales en los aposentos; el tema aún no se relacionaba con la suciedad y la enfermedad.

Para 1830, la situación en Londres se hizo intolerable por el famoso hedor que expelía la ciudad (el famoso *Great Stink*), a esto se le sumaron varias epidemias de cólera de gran mortalidad.

John Snow, médico francés que dedicó su vida a las epidemias, tuvo el convencimiento de que el cólera era causado por el agua potable contaminada con residuos fecales. Por lo limitado de la microbiología de la época, él solo pudo demostrar su teoría al cerrar los pozos de bombeo.

Louis Pasteur corroboró científicamente la intuición de Snow, pues descubrió que los microorganismos en el agua fecal desencadenaban enfermedades infecciosas como el cólera o la fiebre tifoidea. A partir de dicho descubrimiento sucedió el primer gran cambio

importante, ya que se comenzó a ver el agua residual como un tema de peligro a la salud y no solamente como un mal olor. Lo anterior trajo cambios en la legislación, la cual se volvió más estricta: los países iniciaron con la construcción de alcantarillado y el monitoreo de pozos negros para asegurar la potabilidad del agua y la salud pública.

Con el inicio de la microbiología, la humanidad utilizaría el conocimiento de esta ciencia para investigar el agua, mejorando la calidad del agua potable y permitiendo su monitoreo. También, se sentaron las bases para conocer la composición del agua residual y conocer los efectos para su posterior tratamiento, así se lograron técnicas más sofisticadas con el pasar del tiempo.

La composición del agua residual es básicamente un 99 % de agua en su estado conocido como agua potable y un 0,1 % por peso de sólidos, estos pueden ser disueltos o suspendidos. El 0,1 % de sólidos referido es el que requiere ser removido para que el agua residual puede ser reutilizada o vertida. El agua se convierte en una transportadora de sólidos que pueden estar disueltos o en suspensión, también transporta componentes biológicos como bacterias, micro y macros organismos y virus.

La importancia del agua residual es tal que, incluso en la actualidad y a nivel mundial, se está bajo la mira por el foco de contaminación de la COVID 19, debido a que se requiere de sistemas de canalización y tratamiento, así como devolverla al ciclo natural del agua.

En 1914, el tratamiento de aguas residuales dio un gran paso con la invención del proceso de lodos activados, descubierto en Inglaterra por los ingenieros Edward Arden y William T. Lockett. Básicamente, dicho descubrimiento sirvió de base para las plantas de tratamiento de la actualidad, pues, aunque existen variables como los lodos granulados, se trata de tecnologías que no se usan a nivel mundial. Sin embargo, estas siguen bajo investigación en universidades de Holanda.

Este sistema de lodos activados fue originado cuando se aplicó aireación al lodo primario de aguas residuales, donde se determinaron varios problemas con la naturaleza de agua residual; por ejemplo, el exceso de arenas basuras, que complicaba el proceso de creación de biomasa para la descomposición de la contaminación del lodo. Dado lo anterior, se empezó a homogenizar el agua para no tener efectos negativos en el proceso de lodos activados, esto a través de sistemas de tratamiento primario, desarenadores y equipos para extraer grasas.

Así se establecieron las bases de tratamiento de los sistemas para la actualidad, donde el de lodos activados es ahora uno de los más usados. También, este sistema sirvió para probar e investigar nuevas tecnologías en beneficio del ambiente y la salud pública de las futuras generaciones.

Los retos actuales son muy grandes, ya que una de cada cuatro muertes prematuras y de enfermedades en el mundo están relacionadas a la contaminación y a otros daños al

medioambiente causados por el ser humano, según lo indicado en un informe de la ONU sobre las condiciones del planeta (ONU, 2015).

Solo en el 2015, la contaminación fue responsable de cerca de nueve millones de muertes prematuras, lo que equivale a un 16 % por ciento de todos los fallecimientos en el mundo. Para respaldar la magnitud del dato se puede decir que la contaminación ambiental causa tres veces más muertes que el sida, la tuberculosis y la malaria combinadas y quince veces más que todas las guerras y otras formas de violencia en el planeta (El tiempo, 2017).

En Costa Rica, el tratamiento de aguas residuales fue reformado gracias al proyecto de mejoramiento ambiental del Gobierno, el cual incluyó una planta de tratamiento para once cantones de la Gran Área Metropolitana y un proyecto paralelo de recolección y transporte de tuberías. Este es un buen comienzo, pero queda mucho por avanzar en temas de saneamiento en el país, principalmente en la parte de sistemas individuales y plantas de tratamiento abandonadas.

Dentro de la estructuración del tema saneamiento en el país se desarrollará un centro de investigación ubicado en Palmares. Este se dedicará a la investigación del tratamiento de aguas residuales y resaltaré de forma importante la parte académica, con trabajos de investigación respaldados por futuros profesionales y profesionales que actualmente ejercen en el área. Además, dicho centro buscará probar tecnologías aplicables al tratamiento de aguas residuales del país y lograr un desarrollo eficiente y económico, que

colabore no solo al país, sino a la región y al mundo, tal y como lo hacen otros institutos de investigación en el país.

### *Determinación de la eficiencia del sistema de filtros de esponja colgantes continuas (DHS)*

En cuanto los antecedentes de investigación, en primer lugar se encuentra el trabajo de Judith Isabel Flores Albornoz (2017): *Determinación de la eficiencia del sistema de filtros de esponja colgantes continuas (DHS) en el tratamiento de aguas residuales del centro poblado de Marian Huaraz.*

Básicamente, el problema expuesto en dicho trabajo es el mismo que generan las aguas residuales a nivel mundial, es decir, un bajo presupuesto en inversión anual en el desarrollo del país en tema de aguas y saneamiento, sumado a la poca estructura de tratamiento colectivo de las aguas residuales. Asimismo, se menciona cómo todas las aguas de pueblos y urbanizaciones están canalizadas en una planta de tratamiento residual y la falta de creación de desarrollo e investigación en sistemas de tratamiento biológico y terciario, ya que las opciones del mercado son costosas y de tecnologías elevadas, a lo que se le deben sumar repuestos y asesoría internacional por la casa fabricante.

En dicha investigación se estudia la eficiencia de remoción de contaminantes fisicoquímicos y bacteriológicos del sistema Filtro de Esponjas Colgantes Continuas (DHS) en el tratamiento de aguas residuales del centro poblado de Marian.

El sistema Filtro de Esponjas Colgantes Continuas (DHS) es una técnica japonesa con una filosofía de colaborar a nivel mundial en el desarrollo y la investigación. Esta se basa en los filtros clásicos de aguas residuales, donde se busca darle tratamiento biológico al agua residual con biomasa y, con ello, evitar los altos costos en la construcción de tanques y el uso elevado de energía.

De esta forma, el sistema DHS utiliza la esponja como lecho de crecimiento de la biomasa, gracias a su porosidad especial para acelerar la biomasa por mayores superficies de contacto y la oxigenación al proceso de tratamiento. Lo anterior garantiza mayores periodos de retención y así se evade el uso de fuentes externas para la aireación.

En Japón, la investigación logró crear una segunda generación del DHS, que fue estructurado con tiras triangulares de 75 cm de largo y 3 cm de lado adheridos a una lámina plástica con 0,9 cm de separación entre las tiras. Este sistema presentó dificultades para ser llevado a escala por el alto costo de las láminas plásticas y los colgadores.

Dadas estas dificultades, los investigadores japoneses crearon una tercera generación de sistema DHS utilizando los filtros percoladores tradicionales, pero sustituyendo el material generalmente usado para estos sistemas -que consiste en discos de plásticos especiales para biomasa- por esponjas en el material de soporte.

Para la cuarta generación, el reactor fue construido a partir de tiras largas de esponja de 205 x 205 x 50 cm, que eran colocadas de unos cilindros de malla plásticas para así darles rigidez.

La quinta generación se desarrolló a partir de la segunda generación con la modificación de la construcción de módulos con superficies cubiertas enteramente de láminas de esponjas por ambos lados de una superficie ondulada. Estos módulos eran luego opacados uno encima de otro para construir reactores a escala piloto. Con este diseño se pudo incrementar el volumen de esponjas en un 55 % - 77 % y así reducir el tamaño del reactor.

La sexta generación fue basada en la tercera generación. En ella se cambió el tipo de esponja, pues se trabajó con unas más duras. Al endurecer la esponja con resina epóxica, se redujo el volumen vacío a un 70 % en lugar de un 95 % como era el de la esponja original. Esta innovación permitió eliminar el soporte de la estructura al ser la esponja más rígida por sí misma.

Para el 2005, los resultados del DHS lograron la remoción de DBO en un 92 % y se observó la presencia de una gran cantidad de bacterias nitrificadoras. Hubo excelentes resultados en Japón con los parámetros oxígeno disuelto, pH, temperatura, turbiedad, DBO, coliformes fecales, solidos totales, fijos y volátiles. Lo anterior sido un tema de investigación en América Latina donde se explora este tipo de tecnología para ayudar al

tratamiento, mientras que otros mercados, como Europa y Estados Unidos, buscan tecnología de alta punta con costos elevados de compra y operación.

Dentro de la situación actual de la investigación, los resultados obtenidos fueron 333 mg/l de DBO5 y 669 mg/l de DBO. Asimismo, el resultado de SST fue de 140 mg/l y el de AyG fue 325 mg/l. En el caso de los nutrientes, este fue de 10,6 mg/l de N Amoniacal y 0,05 de nitratos y, finalmente, el resultado de los coliformes fecales fue de  $2,10 \times 10^7$  NMP /100 ml.

En los resultados de la investigación con la DBO5, se observa que fue de 72 mg/l en el día 10 y 122 mg/l en el día 173. En el día 10, la DQO fue de 164 mg/l y, en el día 173, fue de 148 mg/l; mientras que la variación de los SST fue de 16 mg/l en el día 10 y 47 mg/l en el día 173. Seguidamente, la variación de los nutrientes con respecto al N Amoniacal fue de 19,8 mg/l al día 10 y 3,16 mg/l al día 173, mientras que el de nitratos fue de  $0,02 \times 10^7$  NMP/100 ml al día 10 y  $1,10 \times 10^7$  NMP/100 ml al día 173.

La temperatura varía todo el año, ya que no se utilizan sistemas de calefacción o enfriamiento, por eso está a temperatura ambiente.

## *Removal of sewage in Costa Rica by Up-flow anaerobic Sludge Blanket USBA and Keisya system*

Un segundo antecedente de investigación corresponde a Motoi Miyake (2019), quien realizó el estudio: *Removal of sewage in Costa Rica by Up-flow Anaerobic Sludge Blanket USBA and Keisya system*.

En la República de Costa Rica, ubicada en Centroamérica, el tratamiento de aguas residuales es muy limitado, pues aproximadamente el 13,4 % de todas las aguas residuales son tratadas. El 70 % se trata en un sistema de tratamiento individual tanque séptico con muy malas condiciones de diseño, así como mala operación y gestión en el mantenimiento.

Con la PTAR Los Tajos y la inversión en mucha red de recolección de aguas residuales, Costa Rica va avanzando en el tema de inversión, pero queda mucha parte del país sin cubrir y beneficiarse de estos proyectos, por eso es importante traer tecnologías de Japón, como el sistema Keisya, para ayudar a los sistemas de tratamiento más pequeños e ir creciendo en ese porcentaje.

## *Motoi Miyake (2019), Removal of sewage in Costa Rica by Up-flow Anaerobic Sludge Blanket USBA and Keisya system, (1)2-2*

Esta investigación es de una universidad japonesa y trae por primera vez al país el sistema Keisya, por lo tanto, en Costa Rica se presentó la instalación del primer sistema y la donación para seguir su estudio.

Se toca el sistema de DHS del profesor Harada de la Tohoku University, donde el inicio del sistema es una esponja de alta creación de biomasa. Este favorece oxigenar el sistema evitando en equipos de consumo eléctrico.

Se explica cómo se creó el sistema Keisya en el mundo natural, la gran diversidad bacteriana y la cantidad de microorganismos que hacen del suelo el mejor medio para la purificación biológica. En consecuencia, se desarrolló un “Método de cámara de suelo inclinada (SSCM, KEISYA)”, que se compone de una serie de cámaras inclinadas de flujo laminar que contienen suelo. Las aguas residuales se alimentan desde la parte superior y la purificación se logra a medida que el afluente pasa a través del suelo. Finalmente, el efluente tratado fluye por el fondo del reactor alimentado por gravedad.

Las ventajas estructurales del reactor KEISYA son las siguientes:

1. Compacidad con estructura laminar.
2. Purificación prolongada debido a paredes impermeables entre cámaras inclinadas consecutivas.
3. Ningún requerimiento de energía (o bajo) debido a la estructura inclinada.

Los métodos de purificación que emplean suelo suelen tener dos problemas asociados: primero, la necesidad de un área grande para la construcción del sistema de purificación y, segundo, la baja capacidad de purificación debido a las obstrucciones.

En un KEISA, el diseño de la cámara modular significa que el área del sistema del reactor se puede aumentar con relativa facilidad y se simplifica el mantenimiento del sistema. Además, las paredes impermeables y la base inclinada de los módulos del reactor KEISYA tienen el efecto de incrementar los tiempos de tratamiento del afluente y, además, de promover el movimiento del agua a través del sistema, respectivamente.

Considerando que el único componente del sistema KEISYA que tiene partes móviles es la bomba, la instalación inicial y los costos de funcionamiento son bajos en comparación con los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales.

*Miyake, M. (2019). Removal of sewage in Costa Rica by Up-flow Anaerobic Sludge Blanket USBA and Keisya system, (1)3-4*

En investigaciones anteriores con el KEISYA, se señala que es posible la purificación aeróbica sin equipos motorizados. Como proporción del total de aguas residuales domésticas, la cantidad de efluente de cocina producida suele ser relativamente pequeña. No obstante, el efluente de la cocina es una fuente importante de efluente y el principal contaminante de los ríos, porque la demanda biológica de oxígeno (DBO) del efluente de la cocina es alta.

En consecuencia, si el KEISYA pudiera aplicarse al tratamiento de aguas residuales de cocinas, entonces sería posible que este se emplee ampliamente como método de tratamiento de aguas residuales. Además, un objetivo subsidiario de este experimento fue desarrollar métodos de tratamiento que no utilicen energía.

Este estudio se realizó con el propósito de demostrar la depuración de aguas residuales de cocina (7 de marzo de 2001 al 11 de mayo de 2005, cuatro años y cuatro meses). En este experimento, se usó una disposición de reactor que consta de un juego de tres módulos. Las aguas residuales de la cocina, que es el tema del desagüe, consisten en una vivienda (cuatro personas que viven), la vida que emana de la cocina de un agua residual.

Se muestra el resumen del experimento de depuración de las aguas residuales de la cocina como alimentación. La eliminación de orgánicos y nutrientes se archiva DBO 83 %, DQO 80 %, T-N 73 %, T-P 81 % y SS 74 %. A partir del resultado del verano y el invierno, KEISYA puede mostrar la capacidad de purificación durante todo el año. Por lo tanto, KEISYA muestra la excelente capacidad de alta purificación de las aguas residuales de la cocina.

Un experimento continuo de 74 días mostró una tasa de remoción de DQO del 53 %, que fue más baja que la tasa de eliminación de DQO del 78 %, esto dentro de un experimento de la edad del desagüe de la cocina en Japón, el cual fue el resultado de una investigación anterior, dada la tasa de eliminación, donde se incluyen los resultados de lo anterior. Sin embargo, al mirar solo el momento en que estaba a punto de completarse el aumento dentro del KEISYA durante la última mitad del experimento, la tasa de eliminación excedió el 70 % con el mismo rendimiento que hay.

En este experimento hubo algunos efectos adversos debido a factores externos como los daños al tanque de tierra inclinado, pero se confirmó que el KEISYA se puso en marcha

en aproximadamente dos meses. Aunque se trataba de agua tratada con UASB (agua tratada anaeróbica), el oxígeno se absorbía cuando fluía por el KEISYA hacia la cámara inferior y se elevaba el OD, lo que contribuyó a la purificación de DQO y DBO.

Se encontró que era necesario realizar más experimentos en temas como la concentración de nutrientes en el agua, los factores de diseño al iniciar el método de tanque de suelo inclinado, el diseño dentro del talud y los medios de purificación.

### *Comparación de la eficiencia de cuatro medios de soporte para filtros percoladores como tratamiento posterior a un reactor anaerobio de manto de lodo (UASB)*

Un primer trabajo corresponde a Ariel Aguilar Garita (2019), quien realizó el estudio llamado: *Comparación de la eficiencia de cuatro medios de soporte para filtros percoladores como tratamiento posterior a un reactor anaerobio de manto de lodo (UASB) en la planta de tratamiento de aguas Residuales Bosques de Santana.*

El uso de esponja se ha desarrollado en Japón con seis generaciones de DHS y variables como el keisya. Al ser una estructura piloto a escala, se puede variar con cuatro tipos de esponja. Este modelo a escala de monitoreo y evaluación es el que permite ubicar una solución eficiente y de bajo costo para el desarrollo del tratamiento en Costa Rica dentro del contexto nacional.

Ariel Aguilar Garita (2019) realizó el estudio: *Comparación de la eficiencia de cuatro medios de soporte para filtros percoladores como tratamiento posterior a un reactor*

*anaerobio de manto de lodo (UASB) en la planta de tratamiento de aguas Residuales Bosques de Santana, (1)5-6*

La investigación se realizó en fases:

La fase uno fue el diseño y el montaje del modelo experimento. Para esto, el AyA dio los materiales y se trabajó en conjunto con los funcionarios de la institución.

La fase dos fue la experimentación, donde se realizó un muestreo en la entrada y la salida de cada filtro. Se trató de una toma simple de dos litros embotellados y etiquetados para facilitar el transporte y la identificación en el laboratorio de la UCR.

En dicha fase se analizaron los siguientes parámetros:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Sólidos suspendidos totales (SST), implica sólidos totales y sólidos filtrables
- Sólidos sedimentables
- Potencial de hidrogeno (pH)

La fase tres consistió en un análisis de laboratorio de la información obtenida tanto en la propia planta de tratamiento como en el laboratorio. Se compararon las características de los medios filtrantes y, con base en los estudios, se dieron recomendaciones técnicas.

*Evaluación y monitoreo del reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) y tratamiento de filtro percolador existente en una planta de tratamiento de aguas residuales de Acueductos y alcantarillados*

Un segundo trabajo corresponde al de Yancy Carolina Chacón Jiménez (2019), quien realizó la investigación: *Evaluación y monitoreo del reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) y tratamiento de filtro percolador existente en una planta de tratamiento de aguas residuales de Acueductos y alcantarillados*.

Para este trabajo de investigación se planteó como objetivo el revisar el diseño de la PTAR y las condiciones operativas en la planta de tratamiento de aguas residuales con base en la observación en sitio y la documentación existente.

Además, se analizó la eficiencia del sistema UASB y el filtro percolador a partir de parámetros básicos de funcionamiento aplicados en la planta de tratamiento. Se planteó proponer recomendaciones para el mejoramiento del sistema como parte de la planta de aguas residuales.

Seguidamente, se enuncian todos los tratamientos que lleva una planta de tratamiento:

- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Desinfección y biológico

También, se describen los parámetros a evaluar en el reglamento de vertido y reúso de las aguas residuales.

Se explican las condiciones y los puntos de muestreo. Además, se detallan los equipos a utilizar para dicho muestreo.

Se describen las características de la planta de tratamiento Santa Cecilia como la topografía, el clima y el lugar de sitio. Asimismo, se detallan sus estructuras de tratamiento caja de rejillas, desarenador, reactor anaerobio de flujo ascendente y filtro percolador.

La autora explica las características de operación de la planta y la historia que registran los operadores y compara los caudales con los parámetros.

#### **1.4 Objetivo general**

Analizar el resultado del agua residual costarricense para medir la efectividad del sistema de filtro biológico Keisya a escala y la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados de la urbanización de Santa Cecilia en Puriscal.

#### **1.5 Objetivos específicos**

- Analizar la composición del agua residual y su adecuación con la legislación costarricense para su debido tratamiento y vertido.

- Plantear las técnicas de muestreo y laboratorio para los correctos resultados de eficiencia del Keisya.
- Evaluar los resultados para diagnosticar eficiencia y parámetros operativos de un filtro biológico tipo Keisya en la planta de tratamiento de aguas residuales de Santa Cecilia.

## **1.6 Justificación**

En el mundo solo se trata el 20 % de las aguas residuales y el elevar esa cifra es un plan establecido por la ONU para la calidad de vida, ya que esto es clave para proteger la salud y el medio ambiente y así hacerle frente a la gran escasez de agua, pues más de 800 000 personas mueren al año por consumo de agua contaminada. Debido a lo anterior, este tema de investigación es de suma importancia para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, dado que involucra una unidad de tratamiento con potenciales beneficios o ventajas tales como la sencillez y los bajos costos de operación. Además, dicha unidad podría colaborar al crecimiento del tratamiento del país.

En Costa Rica existe la posibilidad de pasarle la operación y la administración de plantas de tratamiento privadas al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, lo que sucede es que, cuando los vecinos buscan a la institución para no abandonar el tratamiento de su urbanización, lo que reciben son plantas de tratamiento con serios problemas.

La investigación puede generar la posibilidad de utilizar el filtro Keisya en urbanizaciones pequeñas como Santa Cecilia, de manera que el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado logre aumentar las cifras de saneamiento a muchas más urbanizaciones del país, lo que le garantizaría salud pública a una mayor cantidad de costarricense y mitigaría el daño ambiental en más partes del país. Igualmente, para las plantas de tratamiento privadas y los sistemas de tratamiento individual, los tanques sépticos pueden servir de guía para aplicar en sus instalaciones privadas, lo que mejoraría sus sistemas y colaboraría con la salud pública y el medio ambiente nacional.

El Keisya es un sistema de fácil operación y de costos muy bajos para plantas de tratamiento con un sistema de reactor anaerobio de flujo ascendente UASB, las cuales se caracterizan por su bajo costo operativo al no ocupar aireación.

Muchas de estas plantas se han abandonado y carecen de financiamiento o puesta en marcha y, por ello, se va a dejar un precedente en el país con esta tecnología de filtro, que puede ayudar a reducir costos, dificultad de operación y espacios de construcción. El poner a prueba este sistema con la naturaleza del agua residual costarricense también servirá para los demás países centroamericanos.

## 1.7 Alcances y limitaciones

### Alcances

- Se analizó el funcionamiento, los sistemas, la topografía y el clima que caracterizan a la Planta de tratamiento de aguas residuales Santa Cecilia para tener información de su entorno.
- Se explicaron los parámetros y la métrica en aguas residuales tratadas en la Planta Santa Cecilia según la legislación nacional.
- Se describió el procedimiento correcto para el muestreo en tratamiento de aguas residuales.
- Se realizaron muestreos de agua residual en la entrada y la salida del filtro Keisya, aplicando las técnicas para mejorar el transporte.
- Se recolectaron muestras de dos litros de aguas residuales tratadas en la Planta Santa Cecilia bajo operación con el filtro Keisya en distintos periodos.
- Las muestras de agua residual se analizaron en el laboratorio especializado del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
- Se compararon los resultados del laboratorio de las distintas muestras de operación para analizar el comportamiento del filtro.
- Se aplicaron mejoras de operación en el filtro Keisya para observar la variedad de condiciones de operación del filtro.

- Se determinó la eficiencia del filtro Keisya en aguas residuales costarricense y su adecuación a la legislación nacional.

### **Limitaciones**

- El filtro Keisya que se evaluó tiene un tamaño a escala, ya que el sistema instalado en la Planta Santa Cecilia fue donado y no fue posible utilizar uno de dimensiones reales, pues esto hubiera generado una gran inversión.
- Fue necesario realizar una optimización por operatividad del filtro Keisya para conocer sus verdaderas características de filtrado, las cuales pueden variar dependiendo de las condiciones del agua residual de Costa Rica.
- No se operó a diario el sistema, sino que se estableció un calendario para los periodos de muestreo y operación, así como para los estudios de laboratorio.
- El filtro percolador existente se comparó con resultados de los operadores y las otras investigaciones.
- Esta investigación no incluye el estudio de las líneas de lodos y gas, su operación y la legislación relacionada al tema.
- La investigación no abarca el estudio de los olores que emana el proceso de tratamiento realizado en la Planta Santa Cecilia.
- No se investigaron los picos hidráulicos ni el aumento de parámetros de ingreso a la planta de tratamiento.

## 2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Aguas residuales

Las aguas residuales son definidas como el agua que ha recibido un uso, cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes (Reglamento de Vertidos y Reúso de Agua residuales, N 3601-MINAE-S, 2007).

Según el origen del agua residual, esta se clasifica de la siguiente manera:

- Agua residual ordinaria: son todas las aguas generadas por la actividad humana.

Un ejemplo de esta es el agua que se utiliza para darse un baño, transportar heces y orina en los sanitarios, lavarse las manos, lavar platos de la comida, lavar la ropa, entre otras.

- Aguas residuales especiales: Generalmente son aguas de residuos industriales, agrícolas o pecuarios. Estas dependen de la industria, pues sus composiciones contaminantes son muy variables, donde cada sector tiene su control y parámetros de vertido especiales.

Por ejemplo: aguas mieles de beneficios de café, ingenios de azúcar, de granjas de pollos, cerdos, mataderos, producción de leche y queso, textilerías, restaurantes, panaderías, clínicas, ente otros.

### **2.1.2 Contaminantes presentes en el agua residual**

Las aguas residuales tipo ordinario son aquellas aguas domiciliarias que presentan los siguientes contaminantes:

**Sólidos gruesos:** son todos los sólidos transportados por el agua residual dentro del alcantarillado sanitario como madera, piedra, plástico, trapos, condones o restos de comidas.

**Arenas:** son todas las arenas, las gravas o las piedras, la tierra y las partículas de menor tamaño, de origen mineral u orgánico, que se transportan en el alcantarillado sanitario.

**Grasa y aceites:** estos residuos llegan al agua residual a causa del uso de productos como manteca, margarina, mantequilla o aceites vegetales empleados en la preparación de alimentos, principalmente. La grasa y los aceites son una fuente importante de problemas operativos en tanques sépticos, sistemas de recolección como tuberías y sistemas de tratamiento de aguas residuales (Crites y Tchobanoglous, 2000).

**Sustancias o productos biodegradables:** están compuestos por materia orgánica y compuestos inorgánicos que son de fácil descomposición para el agua, sin embargo, su proceso de descomposición demanda mucho oxígeno, por ejemplo, el papel, el cartón, las heces y las cascaras de alimentos.

Nutrientes: nitrógeno (N<sub>2</sub>) y fósforo (P); se encuentran presentes en las aguas por los detergentes, los fertilizantes y las excretas humanas. Estas últimas aportan nitrógeno orgánico, mientras que los detergentes brindan fósforo y su principal problema es la generación de espumas en sistemas de aireación como el vertido del agua residual.

Agentes patógenos: existen en menor cantidad en las aguas residuales. Estos son los que se encargan de producir o transferir enfermedades como virus, bacterias, protozoos, hongos, entre otros. Un ejemplo actual es el SARS-CoV-2, enfermedad que tiene a la población en pandemia y es transportada por el agua residual.

Contaminantes emergentes o prioritarios: Los hábitos de consumo de la sociedad actual generan una serie de contaminantes que no existían anteriormente. Estas sustancias aparecen principalmente añadidas a productos de cuidado personal, limpieza doméstica y farmacéuticos como son los residuos de antibióticos y hormonas, entre otros (Guía sobre tratamiento de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población, 2006).

Todos estos contaminantes presentes en el agua residual son posibles de separar de acuerdo con sus propiedades físicas, química o biológicas, según el estado de la materia, o por el tamaño de los sólidos los flotables y sedimentables y la materia coloidal o disuelta.

El agua residual varía dependiendo de su clima y zona de ubicación, también cambia mucho en ciudades y países, ya que las costumbres de los habitantes son el resultado de la contaminación. Por ello, con el objetivo de evaluar su mejor tratamiento y los sistemas a utilizar para mayor eficiencia en cuanto a economía y facilidad de operación, se toman en cuenta los factores propios del lugar y la naturaleza del agua residual.

Clasificación de contaminantes del agua residual según el tamaño de sólidos:

Materia flotante:

-Grasas y aceites

-Plásticos

-Colillas de cigarro

-Papel

Materia coloidal y disuelta:

-Orines y heces disueltas

-Detergentes

-Macroorganismos patógenos

-Carbohidratos

-Sales

-Compuestos que contienen nitrógeno y fósforo

Materia sedimentable:

-Restos de alimentos

-Cabellos

-Arena

### **2.1.3 Características del agua residual**

El entendimiento de la naturaleza de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales es esencial para el proyecto y el funcionamiento de las instalaciones para su recogida, tratamiento y evacuación y para la técnica de gestión de la calidad ambiental (Metcalf, 1983, p. 237).

El agua residual se ha sido caracterizada mediante un conjunto de parámetros que permiten cuantificar los contaminantes y determinar su calidad. De esta forma, sus características se han agrupado para clasificar los procesos especializados y las técnicas para el tratamiento e, incluso, se utiliza un subproceso para técnicas de aceleración en la remoción de contaminantes.

Las características se agrupan en las siguientes categorías:

-Características físicas

-Características químicas

-Característica biológicas

### **2.1.3.1 Características físicas**

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos -término que abarca la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta-, el color, el olor, la temperatura, la densidad y la turbidez (Metcalf y Eddy, 1996).

De las características anteriores son de interés los sólidos suspendidos totales, los sólidos sedimentables y la temperatura, ya que estos parámetros físicos se encuentran regulados por la legislación nacional vigente a través del Reglamento de Vertido y Reúso de agua residuales (N 33601-MINAE-S).

### **2.1.3.2 Sólidos suspendidos totales (SST)**

Los sólidos suspendidos totales son visibles en el agua residual. Si el tiempo de transporte en el alcantarillado sanitario no es muy extenso en kilómetros o la tubería de recolección cambia mucho de diámetro, se dificulta la visibilidad y se homogeniza mucho el agua residual.

En plantas de tratamiento grandes se diseña un pozo de grueso para la retención de sólidos muy grandes, mientras que en plantas convencionales existen varios métodos para extraer los sólidos suspendidos totales, ya sea mediante un proceso físico o mecánico. Dentro del sistema de tratamiento, estos sólidos son un problema para las bombas y tanques, pues se presentan problemas para la correcta operación de los equipos y el verterlos al final de la planta generaría lodos y turbiedad en los efluentes.

### **2.1.3.3 Sólidos suspendidos sedimentables (S. Sed.)**

Estos sólidos tienen la capacidad de sedimentar o depositarse en el fondo de estructuras de tratamiento. Los sólidos sedimentables son una media aproximada de la cantidad de lodo que se va a eliminar mediante la sedimentación.

### **2.1.3.4 Temperatura (T)**

Generalmente, la temperatura del agua residual es más alta que la del suministro, debido a la adición de agua caliente procedente de las casas y las actividades industriales. Como el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, durante la mayor parte del año, las temperaturas de las aguas residuales observadas son más altas que las temperaturas locales del aire y solo son más bajas durante los meses más cálidos del verano. Según la localización geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía de 10 °C a 21 °C, donde 15 °C es un valor representativo.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, las reacciones químicas y velocidades de reacción y la aplicabilidad del agua a usos útiles. Una temperatura más elevada puede, por ejemplo, producir un cambio en las especies piscícolas que existen en el agua (Metcalf, 198, pp. 246-247).

### **2.1.3.5 Color**

Históricamente, la palabra “condición” se utilizó junto con “composición” y “concentración” para describir el agua residual. La condición se refiere a la edad del agua residual, la cual se determina cualitativamente por su color y olor. El agua residual reciente

suele ser gris. Sin embargo, cuando los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce o cero y el color cambia a negro. En esta condición se dice que el agua residual es séptica. Algunas aguas residuales de tipo industrial añaden color al agua residual doméstica (Metcalf, 1983, pp. 247).

#### **2.1.3.6 Olores**

Los olores son debido a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar algo desagradable, pero es más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el del sulfuro de hidrogeno producido por los microorganismos anaerobios que reducen los sulfatos a sulfitos.

#### **2.1.4 Características químicas**

Las características químicas en las aguas residuales están definidas por sus componentes orgánicos, inorgánicos y gaseosos.

##### **2.1.4.1 Grasas y Aceites (GyA)**

En las aguas residuales de tipo ordinario, sin componentes industriales, la presencia de grasa y aceites suele ser baja, lo que no evita que puedan provocar problemas tanto en la red de alcantarillado sanitario como en las plantas de tratamiento. No se elimina el contenido en grasa antes del vertido del agua residual, ya que esto puede interferir con los organismos existentes en las aguas superficiales y crear películas y acumulación de materia

flotante desagradable, impidiendo, en determinadas ocasiones, la realización de actividades como la fotosíntesis, la respiración y la transpiración (Briceño Sánchez, 2016, p. 23).

#### **2.1.4.2 Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)**

Son moléculas orgánicas sintéticas empleadas para la elaboración de detergentes. Su presencia es cada vez mayor en las aguas residuales y el problema más grave que causan es la formación de espumas y el aporte de nutrientes, por ejemplo, el fósforo (P), tanto en las plantas de tratamiento como en la superficie de los cuerpos receptores de la descarga de agua residual (Metcalf y Eddy, 1996). Se debe agregar antiespumante a diferentes procesos para evitar que se ensucien las diferentes instalaciones y los equipos de la planta de tratamiento, además de prevenir la generación de fuertes olores y problemas de respiración en los sistemas que trabajan con aire.

#### **2.1.4.3 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5,20</sub>)**

La demanda bioquímica de oxígeno se refiere a la cantidad de oxígeno disuelto (mg O<sub>2</sub>/l) que es necesaria para oxidar biológicamente la materia orgánica de las aguas residuales, es decir, es la cantidad de oxígeno que van a necesitar los microorganismos para transformar biológicamente los contaminantes presentes en el agua residual en sustancias menos dañinas y de fácil simulación por el cuerpo receptor. Cuanto mayor es el grado de contaminación orgánica, mayor será el valor de la DBO. Paralelamente, a medida que se estabiliza la materia orgánica, decrece la DBO (Hirschfeld, 2012).

#### **2.1.4.4 Demanda química de oxígeno (DQO)**

Consiste en la cantidad de oxígeno (mgO<sub>2</sub>/l) necesaria para oxidar los componentes del agua residual mediante reacciones químicas denominadas “demanda bioquímica de oxígeno” (DQO), lo cual hace referencia al oxígeno que es consumido en las reacciones que transforman los contaminantes del agua residual en nutrientes, gases o sustancias inertes. En general, la DQO es más alta que la DBO<sub>5,20</sub>, debido a que un mayor número de compuestos pueden ser oxidados químicamente que de manera biológica (Metcalf y Eddy, 1996).

#### **2.1.4.5 Potencial de Hidrógeno, pH**

Se refiere a la concentración de iones hidrógenos (H<sup>+</sup>). Se trata de una indicación sobre la condición de acidez, neutralidad o alcalinidad del agua residual: “El intervalo adecuado de pH para la existencia de la mayor parte de la vida biológica es relativamente estrecho entre 5-9” (Crites, 2002, p. 49).

El pH es un parámetro de mucha importancia debido a lo siguiente:

Los valores alejados de la neutralidad un valor negativo de 7, por ejemplo, pueden afectar la vida acuática y los microorganismos responsables del tratamiento biológico o biodegradación de las aguas residuales.

Valores bajos de pH (acidez), favorecen la corrosión de tuberías y valores altos de pH (alcalinos), propician la incrustación en tuberías y precipitación de metales (Briceño Sánchez, 2016, p. 25).

#### **2.1.4.6 Características biológicas**

Los macroorganismos asociados a los efluentes son de varios tipos, según el origen del curso de agua. En general, con el efluente doméstico se hace referencia a bacterias y virus, aunque también puede haber protozoarios e, incluso, gusanos (o helmintos) (AENOR, 1997, 2012).

La mayoría de estos microorganismos vienen de las heces humanas, de la materia fecal, por lo tanto, los más comunes son las bacterias entéricas o los coliformes fecales, que alertan de la posible presencia de otros contaminantes biológicos.

Estos contaminantes representan fundamentalmente un problema sanitario, dado que producen enfermedades gastrointestinales (diarreas, gusanos, entre otros), sobre todo, si el agua se usa para riego de verduras de consumo crudo (EPA, 2000).

#### **2.1.5 Recolección y transporte de las aguas residuales**

La evacuación de las aguas residuales consiste en la disposición segura y el transporte de las aguas residuales dentro de una vivienda o inmueble hacia el alcantarillado sanitario o un sistema de tratamiento individual, esto a través de un conjunto de tuberías, accesorios y uniones.

Las instalaciones internas utilizadas para la evacuación están formadas por tuberías que sirven para recolectar las aguas residuales desde los distintos dispositivos sanitarios: servicio sanitario, duchas, lavatorios y pilas o fregaderos.

- Desagües

- Sifones
- Cajas de registro
- En el caso de edificaciones de dos plantas o más, se incorporan bajantes en ductos húmedos (Briceño Sánchez, 2016, p. 9).

Respecto a los sistemas colectivos, la recolección y el transporte de aguas residuales, desde las viviendas hacia la planta de tratamiento, se lleva a cabo por medio de una red de tuberías, conocida como alcantarillado sanitario. Algunos componentes del alcantarillado sanitario son la red de tuberías, los subcolectores, los colectores, los pozos de registro y las estaciones de bombeo de aguas residuales.

El agua residual, dependiendo de la topografía del terreno, será conducida por gravedad a la planta de tratamiento o, en determinados casos, habrá que recurrir a su bombeo por demudo de estaciones de bombeo y tuberías de impulsión.

Es importante recordar que, además del alcantarillado sanitario, existe el alcantarillado pluvial, que es una red de tuberías utilizadas para recolectar y transportar las aguas de lluvias por separado hasta su punto de descarga. El alcantarillado pluvial cuenta con tragantes que recolectan el agua pluvial de las cunetas o los caños y la transportan mediante pozos de registro y tuberías hacia un punto de descarga en un cuerpo de agua.

En Costa Rica, la administración, la operación y el mantenimiento del alcantarillado pluvial es responsabilidad de los gobiernos locales, es decir, de las municipalidades. Además, las tuberías de alcantarillado sanitario se instalan en el centro de las calles, mientras que el alcantarillado pluvial está bajo el cordón del caño o junto a la acera.

En el caso del alcantarillado sanitario, el ente que provee el servicio de agua potable -ya sea Acueductos y Alcantarillados (AyA), las municipalidades, la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) o las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Comunes (ASADAS), según sea el caso- es el responsable de la administración, la operación y el mantenimiento del alcantarillado sanitario, sus sistemas de tratamiento de aguas residuales y la disposición final del agua tratada, así como de los residuos sólidos que se generan en el proceso de tratamiento del agua residual como son los sólidos de gruesos, los lodos, las natas, entre otros.

De acuerdo con la Procuraduría General de la República, el abastecimiento de los servicios de agua potable y saneamiento deben ser brindados por un solo ente operador (Procuraduría General de la República, Dictamen C-257-2003 del 27 de agosto del 2003), y de esta forma se cierra el ciclo social del agua (Briceño Sánchez, 2016, pp. 10-11).

## **2.2 Normativa aplicable**

Costa Rica cuenta con un ordenamiento jurídico constituido por una serie de normas que determinan el comportamiento de los ciudadanos en el campo social, económico, político y jurídico. No cumplir las normas implica sanciones por parte de cada autoridad competente.

En el país, el control de los efluentes se comienza a considerar a partir de la Constitución Política, la Ley general de Administración Política y, en especial, la Ley no. 5396 del 30 de octubre de 1973, Ley General de Salud, y la Ley No. 7317, Conservación

de Vida Silvestre, del 30 de junio de 1992, que consideran la potestad del Estado en la regulación de las aguas.

A partir de esto se aprueba el decreto 26042-S-MINAE del 14 de abril de 1997, con el primer Reglamento de Vertido y Aguas Residuales. Este se complementa en sus conceptos y consideraciones para enmarcar los procesos de tratamiento de efluentes con el decreto 31545-S-MINAE, Reglamento de Aprobación y Operación de Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del 22 de diciembre del 2003.

Actualmente, el vertido de efluentes está regulado por el Ministerio de Ambiente y energía (MINAE) y el Ministerio de Salud (S), con base en el decreto 33601-MINAE-S, Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales del 19 de marzo del 2007 (Rodríguez 2015, pp.33).

### **2.2.1 Constitución Política**

En la figura 60, según su interpretación, la Constitución Política constituye la máxima ley del país, es decir, toda ley, decreto, reglamento o norma vigente debe respetar lo estipulado en este documento.

El artículo 50 de la Constitución Política dice lo siguiente:

El estado procurara el mayor bienestar a todos los habitantes del país, organizando y estimulando la producción y el más adecuado reparto de la riqueza.

Toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, Por ello, está legitimado para denunciar los actos que infrinjan ese derecho y para reclamar la reparación del daño causado.

El Estado garantiza, defenderá y preservará ese derecho. La ley determinara las responsabilidades y las sanciones correspondientes (Ref. Constitución. 7412 de 3 de junio de 1994).

### **2.2.2 Tratados o convenios internacionales**

Un tratado internacional es un acuerdo entre dos o más países, o entre un país y una organización internacional, en virtud del cual los signatarios se comprometen a cumplir con determinadas obligaciones (Ministerio de Asuntos Exteriores y Cooperación, s.f.).

El Protocolo de Kioto sobre el cambio climático, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y la Cumbre de la Tierra de Rio de Janeiro son ejemplos de tratados internacionales vigentes en el país (Acuerdo y Convenios Internacionales Relacionados con la Información Censal, s.f.).

### **2.2.3 Leyes**

En el sistema de leyes de Costa Rica, para el ámbito de interés de la presente investigación se puede destacar la Ley General de Salud (No. 5395), la Ley Forestal (No. 7575) y la Ley de Aguas (No. 276).

De acuerdo con el artículo 285 de la Ley General de Aguas:

Las excretas, las aguas negras, las servidas y las pluviales, deberán ser eliminadas adecuadamente y sanitariamente a fin de evitar la contaminación del suelo y de las fuentes naturales de agua para el uso y consumo humano la formación de criaderos de vectores y enfermedades y la contaminación del aire mediante condiciones que atenten contra su pureza o calidad.

Además, en su artículo 287, esta ley indica lo siguiente:

Toda persona, natural o jurídica, propietaria de viviendas o de establecimientos o edificaciones en que la personas desarrollen sus actividades, responderá de que tales bienes despongan de un sistema de disposición de excretas y de aguas negras y servidas aprobadas por el ministerio y los usuarios de viviendas establecimientos o edificios estarán obligados a mantener dicho sistema en buenas condiciones de funcionamiento.

#### **2.2.4 Reglamento**

Para la gestión y la aplicación de las leyes se desarrollan los reglamentos. A continuación se mencionan aquellos de interés para la presente investigación.

##### **2.2.4.1 Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (N 39887-S-MINAE)**

El Reglamento de Aprobación y Operación de Sistema de Aguas Residuales brinda los lineamientos generales para otorgar los permisos de ubicación y construcción de plantas

de tratamiento de aguas residuales. Estos son algunos de los aspectos regulados por dicho reglamento:

- Información que se debe aportar para solicitar el permiso de ubicación.
- Tecnologías de tratamiento permitidas para realizar la disposición final de efluentes tratados.
- Retiros mínimos en relación con cuerpos de agua colindantes y linderos de la propiedad.
- Otros requerimientos en relación con la ubicación del sistema de tratamiento como el fácil acceso del personal, el equipo y los vehículos requeridos para realizar la operación y el mantenimiento necesarios, la autorización de Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias y la aprobación del Ministerio de Salud en casos donde los sistemas se ubiquen en áreas inundables o sitios de alto riesgo.
- Tiempos de respuesta ante presentación de solicitudes para permisos de ubicación, duración de dichos permisos, entre otros.
- Información requerida para solicitar la aprobación de proyectos de tratamiento de aguas residuales.
- Elementos mínimos que deben incluirse en los planos constructivos del sistema de tratamiento.

-Formato que debe tener la memoria de cálculo y el manual de operación y mantenimiento.

-Lineamiento a seguir cuando se planea construir un sistema de tratamiento por etapas.

-Muestra para la medición de caudal efluente (punto de toma de muestra y equipo de medición).

#### **2.2.4.2 Reglamento de Canon Ambiental por Vertidos (34431-MINAE-S)**

El objetivo de este reglamento es regular el canon ambiental por uso del recurso hídrico como medio para verter sustancias contaminantes, el cual es conocido como “canon ambiental por vertidos”, que -para efectos prácticos- se trata de un pago o una contraprestación en dinero que debe realizar todo ente generador que utilice un cuerpo de agua para introducir, transportar o eliminar vertidos que puedan afectar características físicas, químicas o biológicas del agua y provoquen efectos nocivos sobre el recurso hídrico, los ecosistemas relacionados, la salud humana y las actividades productivas.

De acuerdo con este reglamento, el pago del canon ambiental por vertidos debe ser realizado por aquellos entes que cometan las siguientes acciones (artículo 6):

-Vertimiento puntual

-Vertimiento a cuerpo receptor

-Que la carga contaminante neta vertida, en relación con los parámetros que se incluyen dentro del canon, tenga valores positivos.

-Los parámetros por tomar en cuenta para el cobro del canon son los sólidos suspendidos totales (SST) y la demanda química de oxígeno soluble (DQO soluble).

-Los fondos recaudados, según el artículo 9, serán destinados a las siguientes áreas:

-Apoyar el financiamiento a inversión de proyectos de alcantarillado sanitario y tratamiento de agua residual doméstica (60 %).

-Promoción de la producción más limpia en fuentes (15 %).

-Monitoreo de las fuentes emisoras (10 %).

-Gasto de administración del canon (10 %).

-Educación ambiental de la población y demás usuarios del agua (5%).

Está prohibido destinar estos rubros a fines distintos a los establecidos en el Reglamento del Canon Ambiental por Vertidos (34431-MINAE-S).

El Ministerio de Ambiente y Energía será el ente competente para la administración, la aplicación, el cálculo y el cobro del canon ambiental por vertidos (artículo 11).

Otra función de este es el otorgamiento de los permisos de vertido, la realización del cálculo del monto a pagar por los entes generadores, la facturación y el cobro, y el velar por la correcta recaudación y destino de los fondos.

El permiso de vertido es un documento emitido por el MINAE. Se trata de un requisito indispensable para tramitar el permiso de ubicación del sistema de tratamiento de aguas residuales y contar con el permiso sanitario de funcionamiento.

Para realizar la solicitud del permiso de vertido se debe llenar y presentar el “Formulario de solicitud de permisos de vertidos”, que tiene carácter de declaración jurada. Además, se debe adjuntar lo siguientes documentos:

Los entes generadores que aún nos encuentran en operación deben adjuntar una carta de compromiso de cumplimiento de lo dispuesto en el Reglamento de Vertidos y Reúso de Aguas Residuales. En el caso de entes generadores en funcionamiento que no cuentan con permisos sanitario de funcionamiento, se debe cumplir con lo siguiente:

1. Adjuntar la copia del análisis de la calidad de las aguas residuales vertidas emitido por un laboratorio habilitado.
2. Incluir los parámetros solicitados en el reglamento que regula el vertido y reúso de aguas residuales y la DQO soluble. Además, se debe contar con menos de tres meses de realizada la toma de muestras para el análisis.

Respecto a los entes generadores en funcionamiento y con permiso sanitario de funcionamiento, a continuación se citan los requisitos solicitados:

1. Adjuntar la certificación de la calidad del agua emitida por el Ministerio de Salud.

Para efectos de evaluación de las metas de reducción, facturación y cobro, los entes generadores quedan obligados a actualizar la información sobre sus vertidos. Para tales fines, estos deberán hacer dicha actualización al menos una vez al año.

Todas las personas que viertan sin el permiso de vertido estarán sujetas a los procedimientos y las sanciones administrativas, civiles y penales establecidas en la

legislación vigente, sin que eso las exima del pago del canon correspondiente (artículo 15), esto a excepción de los siguientes casos que se encuentran exonerados de la solicitud de permisos de vertido:

1. Descargadas en un alcantarillado sanitario.
2. Reusadas según lo establecido en el Reglamento de Vertidos y Reúso de Aguas Residuales.
3. Descargadas a un tanque séptico.
4. Entregadas a un tercero para su tratamiento y vertido final.

El permiso de vertido tiene una vigencia de tres años y puede ser revocado si se presentan las siguientes condiciones:

- a. Se compruebe falsedad de los datos brindados por el ente generador.
- b. La falta de pago del canon ambiental pro vertido en dos trimestres consecutivos.
- c. La no actualización de la declaración de vertidos en dos periodos consecutivos.
- d. Cuando el ente generador deje de operar, ya sea por decisión del este mismo u orden de autoridad competente.

Los tramites de solicitud de permiso de vertidos, actualización de declaración de vertidos y exoneración de la solicitud de permiso de vertidos se realizarán en el MINAE y serán resueltos en un plazo de máximo de dos meses.

### **2.2.4.3 Reglamento de Vertidos y Reúso de Aguas Residuales (33601-MINAE-S)**

El Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales tiene como objetivo la protección de la salud pública y el ambiente a través de una gestión ambiental adecuada de las aguas residuales.

De acuerdo con el artículo 14, son parámetros de análisis obligatorios en aguas residuales de tipo ordinario los citados a continuación:

- Caudal
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5,20</sub>)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Potencial de hidrogeno(pH)
- Grasas y Aceites (GyA)
- Sólidos sedimentables (SSed)
- Sólidos suspendidos totales (SST)
- Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)
- Temperatura (T)

Parámetro	Límite Máximo
DBO	50 mg/L
DQO 5,20	150 mg/L
Sólidos suspendidos	50 mg/L
Grasas/aceites	30 mg/L
Potencial hidrógeno	5 a 9
Temperatura	$15^{\circ}\text{C} \leq T \leq 40^{\circ}\text{C}$
Sólidos sedimentables	1 mL/L
Sustancias activas al azul de metileno	5 mg/L

*Fuente.* Tabla 4, Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales.

El muestreo de los parámetros de análisis se dividirá en dos grupos:

-Los muestreos, las mediciones y los análisis rutinarios pueden ser practicados por personal capacitado del ente generador o de un laboratorio habilitado.

-Los muestreos, las mediciones y los análisis periódicos deben ser practicados por un laboratorio habilitado (debe contar con permisos de funcionamiento y estar acreditado).

-Las mediciones rutinarias y la toma de muestras periódicas se realizarán en el efluente.

El caudal es el que dictará la frecuencia de mediciones periódicas en los sistemas de tratamiento:

PARÁMETRO	CAUDAL (m <sup>3</sup> /día)	
	≤ 100	> 100
Mediciones rutinarias	Mensual	Semanal

*Fuente.* Tabla 9, Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales.

En toda planta de tratamiento de aguas residuales debe existir un expediente foliado que se utilizará como una bitácora de manejo de aguas residuales, donde diariamente o cuando corresponda se registrará (artículo 41):

- Todos los detalles de operación y mantenimiento.
- Los resultados de las mediciones rutinarias.
- La toma de muestra y resultados de los análisis periódicos.
- La toma de acciones correctivas de accidentes y situaciones anómalas que ocurran.
- Las observaciones de las visitas de inspección de los entes legalmente facultados.
- Las modificaciones realizadas a los equipos y procesos del sistema de tratamiento.
- La documentación del manejo y el destino de los lodos.

Toda anotación hecha en esta bitácora deberá ser firmada por quien la origine, anotando claramente su nombre. La bitácora tendrá que estar a la disposición de los entes legalmente facultados que la soliciten.

Además de la implementación de la bitácora, se deben generar reportes operacionales que serán entregados al Ministerio de Salud. Para el caso de plantas de tratamiento que traten caudales mayores a 100 metros cúbicos diarios, la frecuencia de

presentación del reporte es trimestral. Si el caudal tratado es menor 100 metros cúbicos por día, los reportes se deben presentar semestralmente.

La información mínima del ente generador que se debe incluir en el reporte es la siguiente:

1. Datos generales
2. Disposición de las aguas residuales
3. Medición de caudales
4. Resultados de las mediciones de parámetros por parte del ente generador
5. Resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos
6. Evaluación de las unidades de tratamiento
7. Plan de acciones correctivas
8. Registro de producción
9. Nombre y firma del responsable técnico y de los propietarios o el representante legal

Respecto a los casos donde el reporte operacional evidencie un 100 % de cumplimiento, la Dirección de Protección Ambiental Humano (DPAH) del Ministerio de Salud procederá a emitir de oficio la certificación de la calidad del agua una vez por año (certificado de calidad del agua). Además, la DPAH podrá realizar- cuando lo considere conveniente- al menos uno de los muestreos y los análisis obligatorios anuales correspondientes a un ente generador como parte de un proceso de control cruzado (artículo 58).

En los artículos 61, 62, 63, 64, 65 y 66 se establece la prohibición de las siguientes acciones:

-Se prohíbe la disolución de efluentes con aguas de otro tipo con el fin de alternar la concentración de los contaminantes.

-Se prohíbe el vertido de aguas pluviales al alcantarillado sanitario, así como aguas residuales, tratadas o no, al alcantarillado pluvial.

-Se prohíbe el vertido de lodos provenientes de sistemas y tratamiento de aguas residuales, sistemas de potabilización de aguas y tanques sépticos a los cuerpos de agua y el alcantarillado sanitario.

-Se prohíbe el vertido de material peligroso de aguas residuales de industrias de plaguicida y aguas residuales contaminadas con sustancias radioactivas.

## **2.3 Planta de tratamiento de aguas residuales de la urbanización Santa Cecilia**

### **2.3.1 Características de Puriscal**

#### **2.3.1.1 Localización**

Al norte con los cantones de Mora y Turrubares, al sur con Parrita, al este con Turrubares y al oeste con Mora y Acosta.

La urbanización Santa Cecilia se localiza en la provincia de San José, en el cantón no. 4 de Puriscal, y el distrito no. 1 de Santiago. La PTAR de la urbanización Santa Cecilia

pertenece a la cuenca 88-26 y su cuerpo receptor de aguas tratadas es el río Chuba en el punto de descarga localizado a 203,319 de latitud y 502,702 de longitud.

La planta de tratamiento se encuentra rodeada de viviendas de la urbanización Santa Cecilia y sus respectivos retiros con base en su tipo de diseño de tratamiento. La planta de tratamiento cuenta con dos salidas: una por calle de lastre que, según el plano, pertenece al área de la planta de tratamiento y otra que es parte de la carretera pública.

### **2.3.1.2 Historia de Puriscal**

En la época precolombina, el territorio que actualmente ocupa el cantón de Puriscal pertenecía al cacique Pacacua. Durante la época colonial (1601), este fungió como zona de paso, descanso e intercambio comercial con Panamá.

En 1815, la zona comenzó a ser colonizada principalmente por familias provenientes de Desamparados, Alajuelita y Tibás, así como otras familias de origen francés. Seguidamente, en 1858, se construyó la primera ermita en el episcopado de Monseñor Anselmo Llorente y Lafuente y, en 1871, se fundó la Parroquia de Santiago Apóstol.

En agosto de 1868, Puriscal se instituyó como cantón de la provincia de San José; en 1900, se construyó la actual escuela Darío Flores Hernández; en 1953, se estableció, dentro de las instalaciones, la Escuela Complementaria; y, en 1958, se le cambió el nombre a Liceo de Puriscal.

En 1926, durante la administración de don Ricardo Jiménez Oreamuno, se le otorgó la categoría de ciudad a Puriscal, luego de haber sido categorizada como villa desde 1815.

La primera cañería se construyó entre 1920 y 1923, mientras que el alumbrado público se inauguró en julio de 1926.

A inicios del siglo XIX, Puriscal se constituyó como el granero del país, debido a que producía la mayor parte de los productos que se consumían en el Valle Central.

### **2.3.1.3 Situación socioeconómica**

Puriscal cuenta con una superficie aproximada de 556,05 km<sup>2</sup> y registra alturas desde los 2 hasta los 2338 msnm. Además, según datos del INEC (2011), este cantón alberga a cerca de 33 004 habitantes. El distrito de Santiago, en el que se localiza la planta de tratamiento, posee una extensión de 34,6 km<sup>2</sup>

El cantón de Puriscal cuenta con bastante riqueza natural y cultural, desde obras de patrimonio histórico nacional hasta un parque nacional (La Cangreja) y un corredor biológico (Paso de Las Lapas). La zona también es de importancia agrícola, pues su clima permite la producción de diversos cultivos, además de actividades ganaderas, de comercio y servicios en general.

### **2.3.1.4 Clima en Puriscal**

El cantón de Puriscal se localiza en la región climática del Pacífico Central. Esta diferencia de altitudes crea una multiplicidad de climas en el territorio, los cuales que van desde el denominado bosque húmedo premontano hasta el bosque pluvial premontano.

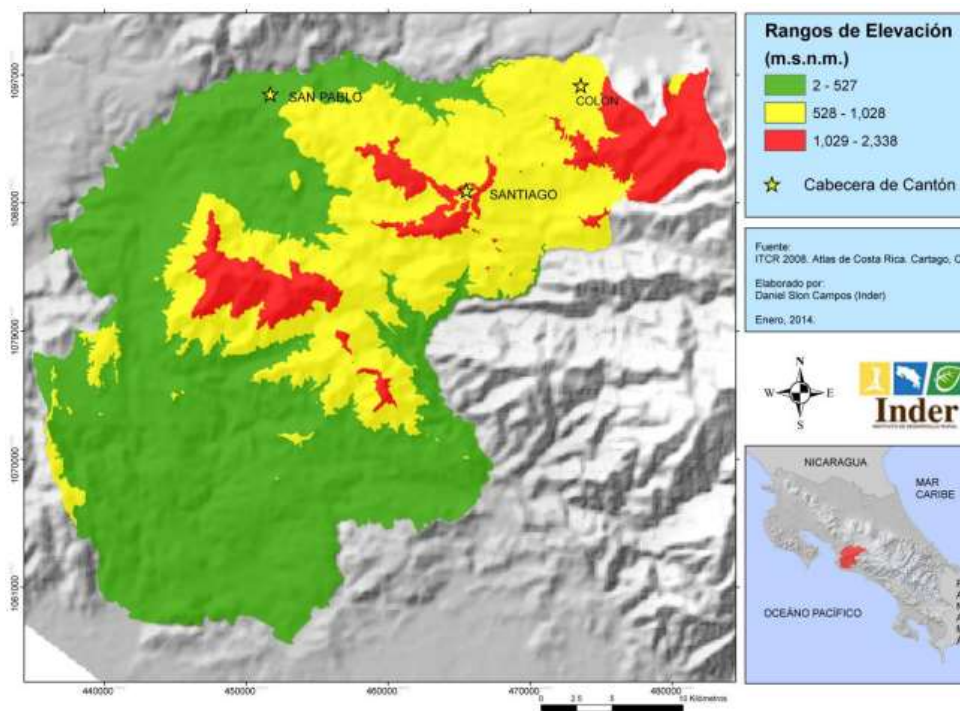
En cuanto a los regímenes de lluvias, los niveles de precipitación abarcan desde 2000 mm/año (en sus zonas moderadamente secas) hasta los 3479 mm/año. Se registran temperaturas promedio de 15 °C a 26 °C.

### 2.3.1.5 Topografía de Puriscal

La zona se considera montañosa, pues, según se puede observar en la **Figura 1** del mapa de rangos de elevación del ITCR 2008 (Atlas de Costa Rica), Santiago se localiza entre alturas de 528 a 2338 msnm.

**Figura 1**

*Mapa de rangos de elevación en m.s.n.m de la zona de estudio*

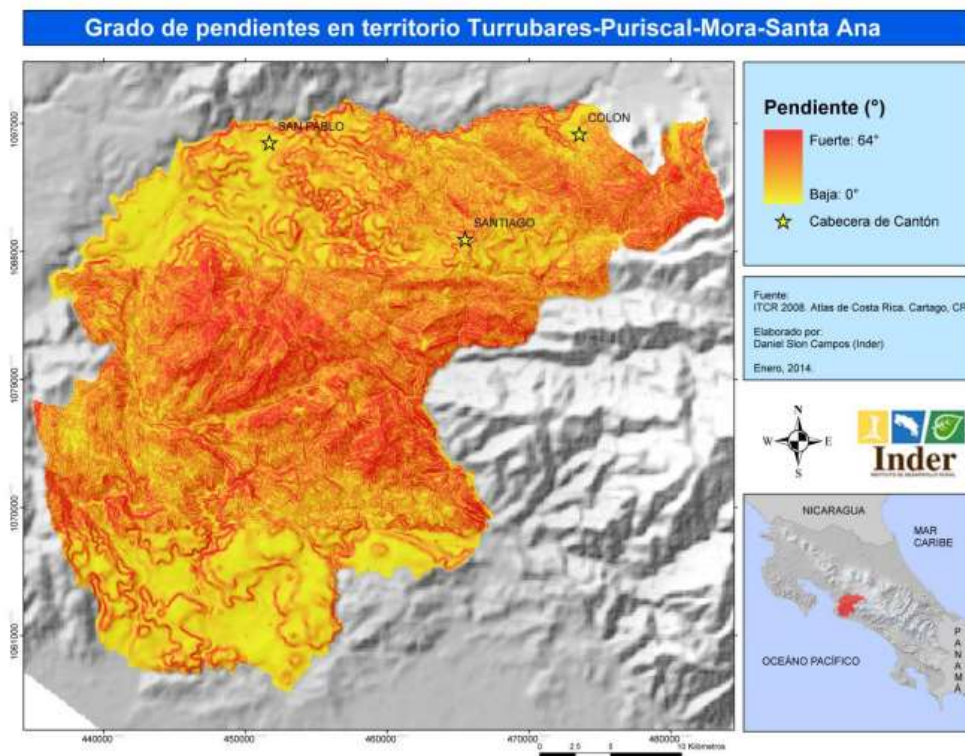


*Fuente.* Instituto de Desarrollo Rural (2014).

Los niveles de pendientes registrados para el territorio van desde 0° hasta 64°, lo que implica que las variaciones en la topografía de la zona son considerables. En la **Figura 2** se puede observar que en la zona de Santiago se presentan zonas con pendientes altas, así aquellas con bajas pendientes.

**Figura 2**

*Mapa de rangos de pendiente en grados de la zona de estudio*



### 2.3.1.6 Características de la urbanización Santa Cecilia

La urbanización Santa Cecilia está ubicada en Puriscal y cuenta con cuarenta servicios abastecidos por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. El

alcantarillado sanitario posee tres pozos de registro, la tubería es de PVC de 150mm y todas las casas tienen su caja de registro para darle el mantenimiento a la red.

### **2.3.2 Planta de tratamiento de la urbanización Santa Cecilia**

En el proceso empleado para el tratamiento de las aguas provenientes del desarrollo urbanístico del proyecto se tiene que observar, previo al inicio del tratamiento, la detención de todos los sólidos orgánicos e inorgánicos que puedan interferir por sí mismos en el proceso de arrastre hidráulico propiamente dicho o el tratamiento, ya sea por la carga orgánica o los trastornos que estos sólidos puedan ocasionar (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 1992).

Por ningún concepto podrá lanzarse la basura proveniente de otras operaciones a la planta. Por ello, este proceso deberá procurar enviar únicamente líquidos cloacales.

Las rejillas que a propósito se han dispuesto a la entrada serán la estructura indicada para retener los sólidos que puedan provenir de un proceso normal de funcionamiento. Debido a que el Ministerio de Salud no acepta el manejo de estos retenidos como basura que se embolsan sean tratados como tales, se deberán enterrar sanitariamente en pequeñas zanjas trabajadas adecuadamente (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 1992).

### **2.3.2.1 Medidor de vertedero**

Dentro de esta estructura se puede determinar, en el momento que se desee, el caudal instantáneo que estaría ingresado a la planta. Por tratarse de estructuras de medición sencilla, se ha optado por la colocación de un vertedero triangular como el que se muestra en los planos (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 1992).

### **2.3.2.2 Trampa de flotantes**

La sección está diseñada para captar y retener el máximo de flotantes. Dadas las condiciones del influente, por lo general, esta presentará un aglutinamiento de grasas, que deberán removerse de manera periódica, en donde es recomendable una remoción tres veces al día, efectuándola seguida de la limpieza de las rejillas, preferiblemente a las 6:00 am, las 12:00pm y las 6:00 pm.

La materia procedente de este proceso no se tratará como residuos sólidos (basura), embolsándola para que sea recolectada por los servicios públicos correspondiente, ya que el Ministerio de Salud no acepta esta sugerencia, sino que se deberá enterrar en zanjas en el terreno, trabajadas como mini rellenos sanitarios (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 1992).

### **2.3.2.3 Caja distribuidora**

En esta sección no debería haber problemas de ninguna índole, ya que se trata precisamente de una caja de distribución, en donde los tubos de salida poseen características de diámetro adecuado (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 1992).

### **2.3.2.4 Reactor de tratamiento tipo UASB**

En el reactor se presenta flujo ascendente y el líquido tratado es recolectado por canales localizados en la parte superior. Para establecer el nivel, controlar y tomar la muestra del manto de lodos, se instalaron tuberías de muestreo con sus respectivas válvulas de control. El reactor posee dos comportamientos físicos: el de digestión en la parte inferior, donde se localiza el manto de lodos, y el de sedimentación en la parte superior, conformado por paredes inclinadas que producen las sedimentaciones de partículas sólidas.

Para que el proceso se encuentre operando en forma adecuada, debe esperarse la maduración del reactor, mediante la cual se consigue que la población y el tipo de bacterias se encuentren en número y calidad suficiente, de manera que permitan la producción de la fase ácida y metanogénica, según se explica en la memoria de diseño. Este proceso de maduración puede llevar entre ocho a doce semanas.

La capacidad con la que se ha diseñado este reactor hace señalar que, una vez se encuentre en óptimas condiciones, el trasiego de lodos hacia la cámara siguiente se

efectuará posiblemente en intervalos de unos veintidós días, que, de todas formas, se constatarían con la operación en sí de la planta.

Los líquidos ya tratados que llegan a las canaletas de recolección ubicadas en la parte superior del reactor son enviados al cuerpo de aguas receptor.

La emisión de gases, los cuales son captados en las campanolas y en el ducto que los comunica, son conducidos -previo paso por las trampas de líquidos y de llamas- hacia la atmósfera, ya que el sistema no tiene almacenamiento de ellos mismos para fines comerciales, fundamentalmente, por lo pequeño de las instalaciones y por resultar antieconómico en esta escala de explotación.

Las tuberías de drenaje de lodos están dotadas de válvulas de compuerta, o bien, de mariposa, de fácil accionamiento y operación. Igualmente, las tuberías de muestreo son fácilmente accesibles.

Con el fin de poder registrar adecuadamente las estructuras internamente, así como facilitar su construcción, el reactor se ha dotado de una compuerta de entrada en la parte inferior, al lado opuesto de las tuberías de muestreo de las cámaras, como la que se indica en planos (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 1992).

### **2.3.2.5 Digestor secundario**

Se trata de un digestor de pulimento de los lodos del reactor anaeróbico, en el cual se llevará a cabo una digestión mayor de lodos, reduciendo por tanto su volumen y degradándolos en lo que a materia orgánica se refiere. En algunos casos se entrará en una mineralización más completa.

Su operación es muy sencilla y no requiere de mayores cuidados, excepto la evacuación de los lodos periódicamente (en este caso, dicha evaluación puede hacerse antes de que proceda una nueva evacuación de los lodos del reactor, con el fin de tener bien dispuesto el lecho en el que se secarían los lodos respectivos).

### **2.3.2.6 Biofiltro de acabado**

El mantenimiento de esta estructura es muy sencillo, ya que, al provenir el influente de un proceso de tratamiento como el utilizado, la cantidad de sólidos no tratados es nula. Por ello, también el pH viene estandarizado y no habrá problemas especiales en este sentido. Dado lo anterior, estas estructuras colocadas o insertadas en esta parte del proceso resultan muy eficientes, pues su tamaño se reduce considerablemente.

Conforme la superficie del relleno de piedras se va cubriendo de la masa biológica y esta convierte los nutrientes influentes en capas de lodos mineralizados, conforme su tamaño va creciendo, también esta capa -a partir de un grosor determinado- se desprende escrituralmente dejando de nuevo libre la superficie. Este proceso se dará

consecutivamente, de tal manera que los sólidos mineralizados que se desprenden deberán removerse en la estructura posterior, o sea, en el sedimentador simple.

Cuando se dejan tuberías de ventilación adecuadas en el biofiltro de acabado, estas pueden servir no solo para sitio de inyección de aire, como es su propósito, sino además con las reducciones adecuadas para la inyección de aguas, que se bombean a presión, lo cual permite un lavado que podría brindarse semestral o anualmente, dependiendo del mantenimiento que se le quiera dar.

#### **2.3.2.8 Sedimentador simple**

Con el fin de evitar que el efluente se lance al río con los sólidos que intermitentemente generaría el biofiltro de acabado, el efluente se hace pasar por un sedimentador, diseñado de tal manera que se retengan en este los sólidos provenientes de la fase anterior. Su mantenimiento es muy sencillo, ya que periódicamente -cada quince o veintidós días- se puede enviar su sedimentado hacia los lechos de secado, al mismo tiempo que se hacen los trasiegos de lodos del reactor anaeróbico.

#### **2.3.2.9 Lecho de secado**

De operación bastante sencilla, estos reciben periódicamente la evacuación de los lodos provenientes del digestor secundario y, en menor grado, del biofiltro de acabado, el cual se practica cada quince, veintidós o treinta días, ya que dependerá precisamente de los periodos óptimos encontrados para el reactor. Lo anterior debido a que las dos estructuras

que -como se ha visto- continúan el proceso son en realidad pequeñas, por lo que no se considerarán.

Los lechos tienen una división en la caja repartidora, de tal forma que, con sencillas compuertas, se puede poner a trabajar el lecho que se requiera y también pasar directo, sin entrar en alguno. El secado de los lodos durara -como término medio- unos quince días, al final de los cuales se picarán o se recogerán para disponerlos como basura o utilizarlos en abono orgánico (suelo mejorado). Sin embargo, en estas instalaciones, la cantidad es relativamente poca como para explotar los lechos a un nivel que no sea el doméstico.

## **2.4 Muestreo de aguas residuales**

### **2.4.1 Plan del muestreo**

Antes de los muestreos se requiere tener claro qué se va a muestrear, cómo y por qué. La primera consideración es qué se quiere evaluar en el efluente, lo cual condicionará el posible análisis, y, por lo tanto, dónde se debe muestrear, cómo debe realizarse la toma de muestra y qué tipo de datos se obtendrá en el proceso. En otras palabras, es necesario definir cuál es el problema y cómo abordarlo adecuadamente (CNA-IMTA,2000lb).

Lo primero que se debe considerar es cuál parámetro se quiere muestrear o qué análisis se piensa hacer para ver su impacto o importancia, pues esto condicionará la técnica de muestreo (Rodríguez, 2015, p. 37).

El siguiente paso es determinar cómo será el muestreo: si será una toma simple en un momento dado una sola vez o una toma compuesta, con base en diferentes volúmenes a distintos tiempos y según su proporcionalidad con el caudal, como muestra individual o uniéndolas en una sola muestra conjunta (Rodríguez, 2015, p. 37).

Los objetivos del muestreo serán determinar la representatividad de la muestra tomada y considerar los factores que pueden afectar la variabilidad de la medida (profundidad, horarios de trabajo, entre otros) (López, 2004).

Una muestra será representativa si cumple con la condición de reflejar adecuadamente las propiedades de interés del muestreo. Los factores principales que afectan la representatividad de la medida son los siguientes:

- Estado físico (gas, líquido, sólido)
- Homogeneidad
- Variaciones en el tiempo
- Factores de distorsión (temperatura, oxidación, luz, entre otros)

Se pueden considerar otros factores de error, tanto aleatorios como sistemáticos, que generan afectaciones a las muestras y están asociados al propio muestreo y al operador. Como situaciones usuales que pueden dar lugar a errores se consideran los siguientes casos:

- Variación del efluente con el tiempo en el punto de vertido.

- Representatividad de la muestra respecto a todos los parámetros considerados.
- Momentos de muestreo, factores climáticos.
- Pérdida en campo o por absorción o volatilización en el transporte hacia o en el laboratorio.
- Pocos muestreos, pérdida de efectividad estadística.
- Efectos de la composición del efluente que afecten su estabilidad o las condiciones de análisis.
- Contaminantes internos o externos al muestreo, envases, experimentos, entre otros.
- Conservación inadecuada de la muestra.

Como forma de optimizar el muestreo es necesario realizar un plan de muestreo, con base en las siguientes preguntas y afirmaciones:

- ¿Cuál es el objetivo del muestreo?
- Comprobar la eficiencia y la capacidad de carga de sistema filtro biológico Keisya.
- ¿Cuál estrategia sería de mejor aplicación?

Realizar el primer muestreo en la salida del UASB de la PTAR Santa Cecilia para obtener los parámetros de entrada al sistema Keisya. Muestrear el agua residual en la salida del filtro para analizar sus efectividades.

- ¿Cuáles sustancias se muestrearán?

Agua residual de la PTAR Santa Cecilia.

- ¿Cuál es la consideración estadística o de relación entre ellas?

El agua residual que es tratada en una unidad de sistema de tratamiento UASB tiene un gran peso en el proceso de tratamiento y, además, esta genera una gran calidad de agua. Sin embargo, es necesario pasar el agua residual por algún sistema de filtrado.

El agua residual va a ser tratada en el sistema Keysia y se va a tomar la muestra para ver la relación de entrada y salida en el sistema, de manera que se genere una estadística de eficiencia y capacidad de remoción del sistema.

- ¿Cuál es la importancia del momento del muestreo?

El muestreo se va a realizar de 8:00 am a 10:30 am, esto beneficiará al caudal de la PTAR Santa Cecilia.

- ¿Cuál es el método de análisis considerado?

Se va a emplear la metodología utilizada por el laboratorio nacional de aguas: 5 muestras de 200ml cada 30 minutos.

- ¿Qué tipo de muestreo, equipos y materiales se requerirán para el análisis?

Muestreo puntual.

Equipos (pendiente).

Materiales: un *beaker* de 2 litros, una hielera, hielo y botellas de vidrio.

- ¿Cuál es la cantidad de muestras requeridas?

Se requieren 2 litros.

- ¿Dónde se muestreará?

En la salida del UASB y en la salida del filtro Keysia.

- ¿Cómo se realizará la toma de muestra?, ¿se requiere de un equipo específico?

Se realizará tomando 250 ml cada 30 min en la salida del UASB y en la salida del Keysia. Se llenará una botella para que cada muestra llegue a tener 2 litros.

- ¿Cuál es el recipiente adecuado?

Botella de vidrio.

- ¿Cómo se conservará y asegurará la calidad de las muestras?

La botella de vidrio es certificada para uso en laboratorio. Esta se va a transportar en una hielera para mantenerla a 4°.

- ¿Cuál es el plan de seguridad y personal requerido?

Utilizar el EPP. Los accesos a los puntos de muestreo no están en sitios confinados ni en lugares de altura. Se va a realizar con ayuda del operador del AyA.

Con esto, el muestreo buscará obtener un valor cuantificable (medible con buena presión) de las sustancias considerables, al identificar si se encuentran y en qué cantidades. A partir de dicha información se podrá evaluar la situación del efluente, sus posibles problemas y sus tratamientos, junto con el cumplimiento de las reglamentaciones correspondientes.

## **2.4.2 Muestreo en campo**

### **2.4.2.1 Muestreo en campo**

Las técnicas de muestreo dependerán de lo que se quiera analizar y de las características del efluente y su variabilidad, así como de su importancia en una situación dada. A continuación, se enumeran las técnicas más usuales y sus características (Arizona Water Resources Research Center, 1995; CNA-IMTA, 2000b; y López, 2004).

Los analistas, los investigadores y los legisladores se han apoyado en esta publicación revisada por pares desde 1905, la cual sigue siendo una fuente de confianza de la metodología precisa y comprobada para el análisis de las aguas naturales, los suministros de agua y las aguas residuales.

La nueva 23ª edición avanza la ciencia del análisis del agua con la participación y el consenso de cientos de expertos en agua y aguas residuales de todo el mundo. Laboratorios de todo el mundo confían en esta referencia global como una fuente confiable de la metodología precisa y comprobada para el análisis de las aguas, el suministro de agua y las aguas residuales. Se trata de un recurso esencial.

Sobre los métodos de referencia para análisis de aguas residuales, para los efectos de este reglamento, dichos métodos de referencia para el muestreo y el análisis de aguas residuales serán los incluidos en la última edición del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters*, de acuerdo con el decreto no. 25018-MEIC, publicado en *La Gaceta* no. 59 del 25 de marzo de 1996 (artículo 38).

#### **2.4.2.2 Consideraciones del muestreo**

Antes de tomar una muestra de cualquiera de los parámetros por analizar, se debe llevar por lo menos tres veces el frasco que se utilizará con el efluente con el fin de eliminar restos de aguas de lavado que diluyen o afectan la medición. Se debe eliminar esta agua de lavado lejos del lugar donde se toma la muestra para no afectarla.

##### Consideraciones previas

Los muestreos cuyo análisis se lleven a cabo en el laboratorio tendrán condiciones asociadas a lo que se quiera analizar. Inicialmente, para cada tipo de ensayo debe definirse

el tipo de envase asociado, así como la cantidad de muestra requerida y las condiciones del muestreo.

Por lo general, los frascos que se utilizan son de polietileno con tapa rosca hermética de la capacidad que se requiera el muestreo; lo usual es 1 litro o 4 litros (a veces, se aproximan a 1 cuarto de galón: 0,95 litros y a 1 galón: 3,78 litros).

Muestreo para DBO, DQO, sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos (SD) y fósforo (P).

Para estos parámetros, la muestra se realiza en bidones de 4 litros o 1 galón. Si se va a realizar un muestreo para DBO, el envase deberá permanecer tapado herméticamente para evitar su aireación; además, no debe quedar aire residual dentro del envase y así no afectar la medición.

Las muestras para DBO, DQO y sólidos se preservarán en refrigeración a 4 °C hasta por 24 horas antes de su análisis, mientras que para el fósforo pueden conservarse en esas condiciones por 28 días.

### Nitrógeno

El muestreo de nitrógeno está condicionado por la rapidez con la que se puede analizar este elemento. La adición de preservantes apunta a aumentar el tiempo de espera

para el análisis, con un tiempo de máximo deseable de 7 días y refrigeración a 4 °C, mientras que el periodo puede ser de 28 días con preservantes.

### Grasas y aceites

Las muestras de grasa y aceites se toman por separado y después de la toma de las microbiológicas con el fin de evitar contaminantes. El frasco de muestreo no se enjuaga en la corriente principal, sino que simplemente se sumerge en ella, al llenar 3/4 del recipiente para que la grasa no se adhiera a la tapa.

Para hacer el muestreo de grasas y aceites debe tomarse la muestra en la superficie y así recolectar la mayor proporción de estos. Si se quiere diferenciar la grasa emulsionada, se realiza otro muestreo a profundidad. La muestra se debe tomar de un solo golpe.

Las condiciones de muestreo implican que la muestra será simple (no compuesta) y puntual, de acuerdo con las características del muestreo y la profundidad de la muestra de grasas emulsionadas. Es recomendable realizar un muestreo por duplicado o un blanco de campo con una muestra de agua limpia.

### Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)

A nivel superficial y de profundidad, el muestreo de SAAM presenta condiciones similares al de grasas y aceites, ya que estará asociado a detergentes sintéticos que

modifiquen y solubilicen estas sustancias, pero que también cambien la tensión superficial del efluente y su capacidad de absorción de gases. La conservación debe hacerse a 4 °C.

### Muestreo microbiológico

El muestreo microbiológico requiere un envase estéril de por lo menos 500 ml, que debe sumergirse en la corriente de forma que el líquido llegue al recipiente sin sólidos flotantes y con el mínimo de sólidos suspendidos.

La toma de muestra debe ser rápida y no a favor de la corriente, pues así se evita la entrada de elementos indeseables. Debe mantenerse en refrigeración a 4 °C y, preferiblemente, la muestra requiere ser analizada antes de las 24 horas.

### **2.4.2.3 Salud ocupacional**

El muestreo de descargas de aguas residuales está asociado con el manejo de sustancias peligrosas y, con frecuencia, sitios sucios y desordenados. De acuerdo con las estadísticas de la Organización Internacional del Trabajo, 60 % de los accidentes que ocurren en ambientes laborales son causados por la falta de orden y limpieza en las áreas de trabajo, mientras que del 25 % al 35 % se asocian al manejo y el transporte inadecuado de sustancias y materiales.

Las sustancias que se manejan pueden ser tóxicas, biológico-infecciosas o corrosivas. Asimismo, los sitios en los que se lleva a cabo la toma de muestras, con

frecuencia, no ofrecen las condiciones mínimas para asegurar la integridad de los muestreadores: espacios confinados que pueden estar contaminados o presentar déficit de oxígeno e, incluso, puede tratarse de atmósferas explosivas. Dichos lugares pueden estar sucios, desordenados, con objetos punzo cortantes, húmedos y sin barandales de protección, entre otras cosas.

A continuación, se enlista una serie de medidas que se deben seguir para la seguridad del personal en el muestreo de agua residual.

1. El personal debe recibir capacitación sobre el uso de los equipos y los procedimientos de seguridad. También, debe ser informado de los riesgos potenciales que enfrenta y es deseable que reciban un curso de primeros auxilios.
2. El muestreador se debe someter a un examen médico para verificar que no padece de epilepsia, vértigo, claustrofobia o alguna otra alteración neurológica que pueda afectar su seguridad y la de sus compañeros. Asimismo, cada muestreador debe contar con una ficha médica (que se llevará al campo) donde se indique si es alérgico o inmune a algún medicamento, su tipo de sangre y sus padecimientos crónicos (si los hubiere).
3. Los muestreadores deben mantener al día sus vacunas de tétano, hepatitis B, fiebre tifoidea y tratamiento antiparasitario.

Antes de salir al campo:

4. Definir la ruta para llegar al sitio de muestreo. Si es posible, realizar una visita de reconocimiento y evaluación del sitio para adoptar las medidas de seguridad necesarias y, de esta forma, reducir al mínimo cualquier riesgo.
5. Contar con los documentos de identificación oficial personal.
6. Identificar y obtener los teléfonos del centro de salud más cercano para acudir en caso de accidente.
7. Verificar las condiciones meteorológicas del lugar donde se pretende trabajar y tomar las medidas necesarias. Si se presentan contratiempos por estas condiciones, se debe suspender el muestreo anotando en la bitácora la razón de la suspensión de actividades. Es importante hacer notar que el agua de lluvia puede alterar las condiciones naturales del efluente.
8. Verificar que el vehículo contenga la herramienta mínima necesaria para casos de emergencia:
  - Gato hidráulico
  - Barreta
  - Llave de cruz
  - Desarmador plano
  - Desarmador de cruz
  - Lámpara de mano

-Reflejantes o señales de emergencia

-Llanta de refacción en buen estado e inflada.

9. La brigada debe contar con un botiquín básico para emergencias que, al menos, contenga medicamentos y materiales de primeros auxilios para cualquier eventualidad que se pueda presentar durante el desarrollo de una visita de inspección. Debe incluir soluciones de limpieza para heridas como alcohol, Isodine y agua oxigenada, al igual que material para cubrirlas, por ejemplo, gasas, vendas y banditas; pastillas para el dolor o fiebre; pomadas o ungüentos para golpes y torceduras; y sueros contra picaduras o mordeduras de alacranes, ciertos arácnidos o serpientes.

Se recomienda tener ubicado el hospital o el centro de salud más cercano al punto de muestreo, de manera que se apliquen los sueros mientras rápidamente se llega a dicha ubicación, al igual que contar con medicamentos, tales como la avapena, para minimizar los efectos durante el traslado.

A continuación, se sugiere una lista de información, medicamentos y materiales que puede contener un botiquín de campo.

-Teléfonos de emergencia

-Información médica de los inspectores

-Guantes estériles

-Solución para lavar los ojos

- Lavaojos
- Banditas
- Gasas de varios tamaños
- Cinta microporo
- Compresas de varios tamaños
- Vendas elásticas de diferentes anchos
- Torundas con alcohol
- Agua oxigenada
- Jabón antibacterial
- Navaja estéril con un solo filo
- Jeringas desechables
- Sueros antialacrán, anticrotálico y antiviperino
- Vacuna contra el tétano
- Vitacilina o similar
- Aspirina o similar
- Benzal o similar
- Acetaminofén

-Antidiarreico

-Avapena

-Dramamine

-Furacine

-Picrato

-Merthiolate

-Isodine para heridas

-Isodine bucofaríngeo

10. Notificar a su superior inmediato la ruta, el sitio y el tiempo aproximado de muestreo con el propósito de brindar apoyo en caso de accidentes.

11. Llevar un teléfono celular o radio localizador con pilas suficientes.

Medidas en sitio para el muestreo:

12. Respetar las políticas de seguridad e higiene establecidas por la empresa que se inspecciona.

13. Es obligatorio el uso del equipo personal de seguridad durante la toma y la preservación de la muestra.

14. El muestreador no debe salir solo al campo. Por lo menos dos personas deben estar en el sitio del muestreo para que se puedan ayudar en caso de algún percance.

15. Durante la toma y la preservación de las muestras no está permitido fumar, comer o beber. Con ello se reducen las probabilidades de exposición a microorganismos patógenos o compuestos tóxicos presentes en el agua residual y el ambiente circundante.

16. Para la preservación de las muestras se utilizan sustancias corrosivas. Por lo tanto, es imprescindible que estas se transporten en recipientes seguros y siguiendo las indicaciones del fabricante. Solamente se debe transportar la cantidad necesaria para preservación de la muestra.

Asimismo, es indispensable llevar un documento que indique:

-Nombre científico de la sustancia

-Nombre comercial

-Concentración

-Riesgos o efectos

-Qué hacer en caso de contacto con la piel o con mucosas, de inhalación o de ingestión

17. En climas muy cálidos puede ocurrir una distensión en los envases que contienen los reactivos necesarios para la preservación de muestras, lo cual resulta ser un peligro potencial en el momento de abrirlos. Por ello, nunca se deben manipular dichos recipientes sin guantes de protección.

18. La preservación de las muestras se debe hacer en un lugar adecuado:

-Nunca en vehículos en movimiento.

-En un sitio protegido del viento. Cuando esto sea imposible, se deben preservar las muestras de espaldas al viento, de tal forma que los vapores ácidos no se dirijan hacia el muestreador.

-De preferencia alejada de zonas de tránsito vehicular y humano.

19. Al finalizar la toma y la preservación de las muestras, el muestreador debe disponer adecuadamente de cualquier residuo que se haya generado como tiras reactivas, envolturas de material, reactivos, papel secante o guantes desechables. Si hubo excedente de reactivos para la fijación (ácidos e hidróxido de sodio), estos no pueden regresarse a sus frascos por estar contaminados, sino que se deben neutralizar (el hidróxido de sodio neutraliza al ácido sulfúrico, clorhídrico y nítrico) antes de ser desechados. Por último, el muestreador tiene que lavarse las manos con agua y jabón.

20. En caso de un accidente se debe suspender el muestreo y pedir ayuda médica por teléfono o radio al centro de salud más cercano. Asimismo, se debe avisar a la oficina central de lo ocurrido.

Equipo de protección en el muestreo de aguas residuales

21. El equipo de protección es personal y su uso es obligatorio; este debe contener todos los accesorios que se describen a continuación. Es importante aclarar que

el equipo debe estar en condiciones óptimas para que brinde la seguridad necesaria.

#### Protección general

22. Es obligatorio el uso de ropa de algodón cómoda para el usuario, en particular, se recomiendan los overoles de algodón para el muestreo en campo, ya que estos brindan mayor facilidad de movimiento. De no contar con overol, hay que utilizar una bata (nunca debe usarse abierta).

23. El personal debe contar con impermeables de plástico, de preferencia de PVC, para protección contra la lluvia.

#### Protección de cabeza

24. Las lesiones en la cabeza son bastante comunes en casi cualquier actividad. El objetivo principal del uso del casco de seguridad es proteger la cabeza de riesgos mecánicos y otros de naturaleza térmica o eléctrica. El uso del casco es obligatorio, sobre todo cuando se hace un muestreo en espacios confinados.

#### Protección de ojos

25. Durante el muestreo y la preservación de las muestras los ojos están expuestos a salpicaduras de sustancias irritantes, corrosivas, tóxicas o biológico-infecciosas. Por ello, estos requieren de una protección continua.

#### Protección respiratoria

26. Los riesgos asociados con las vías respiratorias son:

- a) El déficit o la ausencia total de oxígeno.
- b) La presencia de gases o aerosoles que pueden ser tóxicos o biológico-infecciosos.

27. Respiradores purificadores de aire. El aire ambiental, previamente a su inhalación, pasa a través de un filtro, bote o cartucho purificador de aire, el cual remueve partículas, vapores, gases o combinaciones de los anteriores.

#### Guantes de seguridad

28. De acuerdo con las estadísticas de accidentes en el lugar de trabajo, las manos son las partes más amenazadas del cuerpo, de ahí la importancia del uso de guantes adecuados en todo momento. Durante la toma y la preservación de las muestras se deben usar guantes de PVC, látex de acrilonitrilo, látex neopreno o látex de hule natural (para detalles de resistencia química ver el anexo).

En general, los que ofrecen mayor resistencia química a diferentes sustancias son los de látex de acrilonitrilo y los de PVC.

#### Protección de pies

29. La protección en los pies es muy importante, ya que el muestreador se encuentra con diferentes situaciones de riesgo, por ejemplo: pisos resbalosos o mojados; objetos punzocortantes; caídas de objetos pesados; sustancias calientes, corrosivas o irritantes; y vibraciones y radiación térmica.

Por lo anterior, se recomienda el uso de zapatos industrial tipo II con puntera, de suela antiderrapante, resistente a los ácidos, los disolventes y los aceites.

#### 2.4.2.4 Registro

Es imprescindible llevar un registro de toda la información asociada a las muestras. Se debe recordar que la memoria falla, por lo que no hay que confiar en ella.

Anotar con lapicero todos los parámetros de campo y las especificaciones de la muestra en una planilla previamente armada y establecida para este fin. Los registros permitirán evaluar no solo la muestra, sino las condiciones en las que se obtuvo.

Las botellas o los frascos deben tener un número indicativo asociado al muestreo, que permitirá relacionarlos con los datos de la planilla. Este número se puede escribir con un marcador permanente o mediante etiquetas en los recipientes. En caso de utilizar etiquetas, se recomienda pegarlas luego de introducir el efluente en el frasco, para que la superficie exterior se pueda secar y limpiar y así adherir bien dicha identificación. El colocarla previamente expone la etiqueta al efluente y sus contenidos, que pueden deteriorarla o dificultar el escribir en ella.

##### Cuidados durante el transporte

Durante el transporte, los frascos o los bidones deben mantenerse verticales para evitar que se golpeen o derramen. Las muestras deben preservarse en refrigeración o con medios similares (hieleras) que las mantenga a 4 °C.

##### Conservación de las muestras

Las muestras se depositan en hieleras de “estereofón” o plástico con medios refrigerantes para mantenerlas a temperaturas del orden de los 4 °C a fin de evitar,

principalmente, su alteración biológica. Las hieleras actúan como un recipiente de disposición y movilización de muestras.

En otros casos, las medidas de conservación pueden incluir la adición de conservantes o inhibidores como compuestos de mercurio para analizar detergentes o fosfatos, o bien, ácidos fuertes (ácido nítrico o sulfúrico) o bases fuertes (soda caustica) en el caso de las muestras donde se pretende analizar metales o cianuros, respectivamente.

No siempre es necesaria o conveniente la adición de estos compuestos en el campo, dados los riesgos, ya que son tóxicos o corrosivos. Las cantidades dependen del volumen de la muestra y la concentración disponible del aditivo, así como de estas condiciones y los preservantes asociados a cada compuesto.

#### **2.4.2.5 Muestreo de campo**

En el sitio se realizan algunos análisis porque la posibilidad de que la degradabilidad o los cambios relacionados con la conservación o el traslado de las muestras modifiquen las condiciones o los valores reales.

##### **La medición de pH**

Se puede realizar directo sobre el efluente o al tomar una muestra de este en un vaso de precipitación, previamente enjuagado en el efluente. Sobre esta muestra en el vaso puede aplicarse el método de tirillas de papel pH, con rangos de una unidad de pH, o utilizar un equipo potenciométrico portátil con electrodos para pH, que tiene sensibilidad del orden de 0,02 unidades. Se debe esperar a que el equipo indique un valor estable de la medida.

El electrodo para medir el pH debe lavarse con agua destilada luego de la medición, para así limpiar la suciedad que le pueda haber dejado el efluente.

El equipo potenciómetro debe calibrarse regularmente, de preferencia antes de salir al muestreo, con soluciones de buffer de pH conocido. En general, se utilizan las soluciones de pH 4,7 y 10. En aguas residuales ordinaria se espera un pH de entre 5 y 9.

#### La medición de temperatura

La temperatura puede medirse en forma directa en el fluente o en la muestra extraída para medir el pH. Generalmente, se emplean termómetros digitales de muestreo, con rangos de entre -10 y 100 °C, pero se puede usar cualquier tipo de termómetro que permita una sensibilidad de por lo menos 0,1 °C. El tiempo de espera para la estabilización de la medida dependerá del quipo utilizado.

#### Los sólidos sedimentables (SSed)

Son aquellos que precipitan con el tiempo cuando una solución se deja en reposo, generalmente, evaluándose a una hora en cono Imhoff y están asociados a arenas o materia inerte de gran peso.

#### **2.4.2.6 Análisis de laboratorio**

A nivel de laboratorio, los análisis químicos más comunes en efluentes son DBO, DQO, nitrógeno y fósforo, así como grasas y aceites, SAAM y microorganismo. La referencia básica para estos análisis se encuentra en *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwaters* (SMEWW) y, en Costa Rica, los métodos de referencia para el

muestreo y análisis de aguas residuales serán los incluidos en la última edición del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters*, de acuerdo con el decreto no. 25018-MEIC, publicado en *La Gaceta* no. 59 del 25 de marzo de 1996 (artículo 38).

## **DBO**

El análisis de DBO se realiza en frascos opacos o en ambientes sin luz solar para evitar el crecimiento de algas que modifiquen la cantidad de oxígeno disponible por fotosíntesis. Los frascos deben tener elementos de sello mecánico o de agua que impidan la entrada de oxígeno externo.

El ensayo se realiza por triplicado en botellas especiales para DBO de 300ml que se llenan con el agua del efluente, diluida con una disolución de crecimiento bacteriano, según una estimación previa de su carga orgánica. Si la carga orgánica es elevada, se consumirá todo el oxígeno del recipiente de análisis y no se podrá obtener un valor. En caso de dudas, se deben efectuar diluciones de la muestra para tener valores adecuados de demanda de oxígeno capaces de ser medidos en el análisis.

La disolución de crecimiento previamente preparada contiene nutrientes de crecimiento bacteriano, en general, sales de nitrógeno, magnesio, calcio y hierro, así como inhibidores de nitrificación, y previamente ha sido saturada en oxígeno.

La disolución del efluente y el nutriente se neutraliza según su pH con soluciones ácidas o básicas, para luego agregar un buffer que mantenga el pH entre 6 y 8 (en general a base de fosfatos).

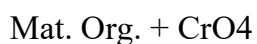
Estos frascos de reacción se incuban 5 días a 20 °C en conjunto con un blanco que no contiene efluente, pero sí la disolución de crecimiento frente a alguna posible contaminación, ya que en esta sustancia el consumo deber ser 0.

Al final del periodo se evalúa el oxígeno residual por distintos métodos: químicos, físicos y electroquímicos, y se comparan con respecto al blanco.

## **DQO**

El análisis de DQO se realizará por medio de una reacción química de oxidación de la materia orgánica (e inorgánica) en caliente. Como oxidante se utiliza el dicromato de potasio en un medio de ácido sulfúrico, catalizado con sal de plata. Las muestras son más pequeñas, donde se utilizan tubos de ensayos que se calientan a 150 °C por 2 horas para así acelerar reacción.

La ecuación básica es:



Posteriormente, el ensayo mide la cantidad de Cr que se forma en el proceso, o bien, analiza el cromato ( $\text{CrO}_4$ ) residual por método químicos o físicos.

## **Nitrógeno total**

El nitrógeno total es la suma de distintos nitrógenos, dado que este elemento puede encontrarse como N orgánico, amoniacó o nitratos. Estos deben ser medidos por distintas técnicas sobre el efluente.

Para el N orgánico se utilizará la técnica de Kiejdal, también llamada nitrógeno total Kiejdal o NTK.

Inicialmente, se realiza una destilación suave del efluente, al recolectar el destilado sobre una solución básica de pH 9 y cuidar que esta no supere los 30 °C. Dicha solución se valora con ácido sulfúrico para determinar el amoniaco libre en ella. Para este proceso se debe hacer un ensayo blanco (sin amoniaco) y una curva de calibración con disolución de distintas concentraciones de amoniaco (Secretaría de Economía, 2001a).

Luego, se realiza una otra destilación mediante la digestión del efluente en un medio oxidante de materia orgánica (por ejemplo, ácido sulfúrico con catalizadores), de la cual se extrae el amoniaco formado por arrastre con vapor y se valora por análisis químico o colorimetría.

Cuando el laboratorio exprese un resultado como NTK, debe indicarse si es solo N orgánico o la suma de N amoniacal + N orgánico.

El nitrato y el amoniaco libre se pueden analizar por medio de electrodos de ion selectivo. La disolución debe acondicionarse previamente mediante la regulación de su pH y la adición de sales que permitan la conducción y estabilicen la fuerza iónica. Además, se debe considerar las interferencias y adicionar, si es necesario, enmascaradores o eliminadores de dichas sustancias.

Los nitritos solo se analizan en situaciones donde se considera que exista contaminación fecal cercana o emisiones de efluentes que los puedan contener, debido a que tienden a oxidarse y formar nitratos.

La reacción de determinación de nitritos se basa en la formación de un complejo coloreado, el cual se evalúa por espectrofotometría UV-Visible contra una curva de calibración con un patrón (Secretaría de Economía, 2006e).

El nitrógeno total resulta de la siguiente suma:

$$N \text{ total: } N \text{ amoniacal} + N \text{ orgánico} + \text{Nitrato} + \text{Nitrito}$$

### **Fósforo total**

Previamente al análisis, la materia orgánica es digerida en un medio ácido con sulfato de amonio y ácido sulfúrico en caliente con el fin de liberar el fósforo orgánico. El análisis del fósforo total se realiza mediante la formación de un complejo de amonio fosfato molibdato que, al reducirse con estaño, absorbe en la región del espectro visible con un color azul.

También se puede usar la técnica de formación de complejos con molibdato de amonio y vanadato de sodios para formar un complejo amarillo.

En ambos complejos, la concentración de fósforo es proporcional a la intensidad de absorción contra una curva de calibración previa.

## Grasas y aceites

Para la realización de este análisis, primero debe ajustarse el pH del efluente a 2, generalmente con acido clorhídrico al 15 %.

La evaluación de grasas y aceites se hace mediante su extracción en absorbentes, tales como tierras diatomeas, para luego ser extraídos de estas con solvente orgánico, en general, hexano.

Luego, el hexano es evaporado de la mezcla y queda como remanente las grasas o los aceites. Estos son evaluados por diferencia de peso entre el matraz seco y el matraz con a grasa o aceite residual.

## SAAM

El análisis de las SAAM se realiza en la disolución de efluente, al ajustar inicialmente el pH a valores ligeramente menores a 8, con base en el indicador de fenolftaleína, que pasa de color a rosado a incoloro.

Se le agrega una cantidad estipulada de azul de metileno y cloroformo en un embudo de separación de mezclas; después, se agota para mezclar el sistema y se deja reposar con el propósito de eliminar el exceso de presión. El cloroformo es más denso y no se mezcla con la disolución del efluente, pero entra solutivamente el azul de metileno.

Seguidamente, se procede a separar el cloroformo y este se filtra para eliminar cualquier residuo sólido proveniente del efluente. Luego, se puede medir en el

espectrofotómetro UV-Visible contra la curva de calibración con el azul de metileno y un patrón de sulfonato de alquil benceno lineal.

## **Microorganismo**

La evaluación de la cantidad de microorganismo se realiza primero para coliformes y, en función de estos resultados, se buscan otras especies.

Los coliformes se analizan con base en conteos de número más probable (NMP), a partir de diluciones del efluente en medios de crecimiento por triplicado, que permiten determinar la cantidad de coliformes por estimación estadística.

En algunos casos también se pide la evaluación de la cantidad de huevos de parásitos, como los nematodos intestinales, que se evalúan al microscopio mediante una cantidad fija de efluente.

### **2.5 Filtro percolador**

El primer filtro percolador se puso en funcionamiento en Inglaterra en 1893. El concepto de filtro percolador nació del uso de filtros de contacto, que eran estanques impermeables rellenos con piedra machacada. En su funcionamiento, el lecho de contacto se llenaba con el agua residual desde la parte superior y se dejaba que se pusiese en contacto con el medio durante un corto periodo.

A continuación, el lecho se vaciaba y se le permitía que reposase antes de que se repitiese el ciclo. Un ciclo típico exigía horas dentro de las cuales había algunas designadas para el reposo. Las limitaciones del filtro de contacto incluían una posibilidad bastante alta

de obturaciones, el prolongado periodo de tiempo de reposo necesario y la carga relativamente baja que podía utilizarse.

En el filtro percolador, ideado para superar estas limitaciones, el agua residual es rociada sobre la piedra y se deja que filtre a través del lecho. Dicho filtro consiste en un lecho formado por un medio sumamente permeable al que se le adhieren los microorganismos y a través del cual se filtra el agua residual. Generalmente, el medio filtrante consiste en piedras cuyo tamaño oscila entre 2,5 a 10 cm de diámetro. La profundidad de las piedras varía con cada diseño particular de 0,9 a 2,4 m con una profundidad media de 1,8 m.

Existen filtros percoladores que utilizan unos medios filtrantes plásticos, los cuales son contruidos con profundidades de 9 a 12 m. Por lo regular, el lecho del filtro es circular y el residuo líquido se distribuye por encima del lecho mediante un distribuidor giratorio. Antiguamente, el lecho era rectangular y el agua residual se aplicaba a través de unas boquillas rociadoras fijas.

Cada filtro posee un sistema de desagüe inferior para recoger el líquido tratado o los sólidos biológicos que se hayan separado del medio. Este sistema de desagüe inferior es importante como instalación de recogida y por su estructura porosa, mediante la cual el aire puede circular.

La materia orgánica presente en el agua residual es degradada por una población de microorganismos adherida al medio. Dicha materia orgánica es absorbida sobre la película biológica o capa viscosa, en cuyas capas externas es degradada por los microorganismos

aerobios. Cuando los microorganismos crecen, el espesor de la película aumenta y el oxígeno es consumido antes de que pueda penetrar todo el espesor de la película. Por lo tanto, se establece un ambiente anaerobio cerca de la superficie del medio.

Conforme la película aumenta de espesor, la materia orgánica absorbida es metabolizada antes de que puede alcanzar los microorganismos situados cerca de la superficie del medio filtrante. El resultado de no disponer de una fuente orgánica externa de carbono celular es que los microorganismos situados cerca de la superficie del medio filtrante se encuentran en la fase andonea de crecimiento, en la que pierden su capacidad de adherirse a la superficie del medio.

En estas condiciones, el líquido -a su paso a través del medio- arrastra la película y comienza el crecimiento de otra nueva. Este fenómeno de la pérdida de la película biológica es fundamentalmente una función de la carga hidráulica y orgánica del filtro.

La carga hidráulica origina las velocidades de arrastre, mientras que la carga orgánica influye en la velocidad del metabolismo en la película biológica. Con base en estas cargas hidráulicas y orgánicas, los filtros suelen dividirse en dos clases: de baja carga y de alta carga.

La comunidad biológica presente en un filtro se compone principalmente de protistas, incluyendo bacterias facultativas, aerobias y anaerobias, hongos, algas y protozoos. Suelen también encontrarse algunos animales superiores como gusanos, larvas de insecto y caracoles.

Las bacterias facultativas son los microorganismos predominantes en el filtro percolador y, junto con las bacterias aerobias y anaerobias, su misión es descomponer la materia orgánica del agua residual, pero su contribución solo es importante al pH bajo o con ciertas aguas residuales industriales. Las algas solo pueden crecer en las capas superiores del filtro donde podrían llegar a la luz solar. Por lo general, las algas no toman parte directa en la degradación de los residuos; sin embargo, durante las horas diurnas, estas añaden oxígeno al agua residual que se está filtrando.

Desde un punto de vista operacional, las algas son un estorbo, ya que pueden causar el taponamiento de la superficie del filtro.

Los protozoos que se pueden encontrar en el filtro son predominantemente del grupo Ciliata. Al igual que en el proceso de fangos activados, su función no es estabilizar el agua residual, sino controlar la población bacteriana. Animales superiores como caracoles, gusanos e insectos se alimentan de las capas biológicas del filtro y, al hacerlo así, ayudan a mantener la población bacteriana en estado de gran crecimiento o de rápida utilización del alimento.

Las poblaciones individuales de la comunidad biológica descritas anteriormente sufrirán variaciones en toda la profundidad del filtro en función de los cambios que se produzcan en la carga orgánica, la carga hidráulica, la composición del agua residual afluyente, el pH, la temperatura, la disponibilidad de aire y otros factores.

Al igual que en el proceso de fangos activados, la instalación de sedimentación juega un papel muy importante en el del filtro percolador, pues es necesaria para eliminar los

sólidos suspendidos desprendidos durante los periodos de descarga en los filtros de baja carga, así como las cantidades menores de sólidos desprendidos continuamente en los filtros de alta carga. Si se utiliza recirculación, una parte de los sólidos sedimentados podría reciclarse y el resto desecharse, pero la recirculación de los sólidos biológicos sedimentados no es tan importante como lo es en el proceso de los fangos activados.

En el proceso del filtro percolador, la mayoría de los macroorganismos activos se adhiere al medio filtrante y no sale del reactor como sucede en el proceso de los fangos activados. Aunque la recirculación podría ayudar a la inoculación del filtro, los objetivos principales de la recirculación son diluir las aguas residuales cargadas afluentes y hacer que el efluente del filtro se ponga de nuevo en contacto con la población biológica para su tratamiento adicional. La recirculación casi siempre forma parte de los sistemas de filtros percolador de alta carga.

Dadas de las características inestables de la película biológica y las imprevisibles características hidráulicas, resulta muy difícil desarrollar un modelo cinético biológico de los reactores de película fija, pero su aplicación al diseño de sistema a escala real no ha podido aún llevarse a la práctica.

### **2.5.1 Funcionamiento del filtro percolador convencional**

#### **Tratamiento primario**

Para evitar atascamientos, se recomienda someter el agua a un tratamiento primario tales como fosa séptica, tanque Imhoff o decantador primario.

## **Material de relleno**

Este juega un papel fundamental en los filtros percoladores, ya que es aquí donde se desarrolla biopelícula, así como los microorganismos que intervienen en los procesos de depuración.

El relleno debe permitir un buen contacto entre el agua a tratar y el aire circulante con la película fijada sobre este. Al mismo tiempo, la evacuación de los lodos que se va desprendiendo del soporte para evitar la colmatación del filtro.

## **Características de materiales de relleno**

Superficie específica ( $m^2/m^3$ ):

Mide el área expuesta del material de relleno por unidad de volumen. Si se tiene una mayor superficie específica, se obtiene una mayor capacidad para la fijación de la película bacteriana. La superficie debe ser superior a  $40 m^2/m^3$ .

Índice de huecos (%):

Se interpreta de la siguiente forma: a mayor índice de huecos, menos riesgos de colmatación del material relleno. Cuanto mayor es la carga orgánica aplicada al filtro, la dimensión de los huecos debe ser igualmente mayor, el índice debe ser superior a 650 % y el tamaño de los huecos no debe ser inferior a 1-1,5 cm.

## **Uniformidad**

La homogeneidad del relleno facilita la circulación del agua y el aire.

Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

Cuanto mayor sea, esta permitirá mayores alturas del relleno, por lo que requerirá menos espacio.

Resistencia mecánica y durabilidad:

Las capas inferiores del relleno, en el interior del filtro percolador, deben soportar todo el peso de la columna de soporte, sin sufrir grandes deformaciones, de lo contrario provocaría atascos.

Inercia química:

El material que se utilice debe ser inerte a los componentes que contenga el agua residual, evitando su degradación.

### **Alimentación del filtro**

Esta puede darse por un sistema fijo a través de tuberías perforadas, canalones con vertedores o por un sistema móvil constituido por una columna giratoria de la que salen unos brazos con orificios o boquillas.

Siempre que sea posible, por diferencia de altura, es aconsejable realizar la alimentación por gravedad para ahorrar en bombas y consumo energético.

En el caso de sistemas móviles, la altura o la cota no debe ser inferior a 0,5 m para vencer la pérdida de carga necesaria en la realización de los giros de los brazos de

distribución. Otro aspecto importante es que, al trabajar por gravedad, se debe asegurar el caudal diario suficiente para mantenerlo húmedo durante todo el día.

De lo contrario, se debe incorporar un tanque de almacenamiento. Asimismo, este ayudará en las operaciones de lavado de filtro.

### **Recirculación**

Es necesaria en el momento que se desea mantener los parámetros de diseño de carga orgánica e hidráulica. De acuerdo con el objetivo que se quiera llegar con la recirculación y el tipo de filtro, esta recirculación puede ser de una a tres veces el caudal medio de entrada al filtro.

### **Ventilación**

Es necesario dejar un falso fondo con ventanas en la parte inferior del reactor. La superficie total de las ventanas de ser de al menos 15 % de la superficie transversal del filtro. Para que exista ventilación natural debe haber una diferencia de temperatura entre el agua y el aire de al menos 2-3 °C.

### **Influencia de las características del terreno**

Se sabe que esta tecnología no necesita altos requerimientos de terreno, pero, en función de su labor, lo ideal sería que se elija un terreno en donde sea posible alcanzar la diferencia de cota adecuada.

## **Influencia de la temperatura**

En esta tecnología, la relación con la temperatura es bastante directa, donde a mayor temperatura, serán mejor los rendimientos.

## **Flexibilidad ante variaciones de caudal y carga**

Dado el tipo de funcionamiento de estas tecnologías, los filtros son capaces de soportar picos de caudales con carga sin comprometer la masa biológica. Se recomienda mantenerlos cerca de los parámetros de diseño para optimizar los resultados.

## **Complejidad de explotación y mantenimiento**

Los problemas más comunes que se pueden generar en esta tecnología son sobrecarga o atascamientos, lo que da como resultado una disminución en los huecos dentro del filtro, e incluso, la proliferación de insectos.

## **Impactos ambientales**

Los problemas medioambientales que se pueden presentar estarán relacionados a la presencia de malos olores. Estos pueden ser resultado de poca ventilación o problemas en el tratamiento primario. Los impactos sonoros son casi nulos y, en cuanto al peligro a causa de fallos constructivismo, puede haber filtraciones que contaminen las aguas subterráneas.

## **Funcionamiento del filtro percolador**

Cuando aumenta el espesor de la película biológica, la materia orgánica absorbida es utilizada por los microorganismos aerobios de la parte externa. Lo anterior da como resultado que los organismos de la parte interna entran en cremento endógeno.

Dada la parte anterior, se inicia una nueva lama de microorganismos. El fenómeno en donde se da el desprendimiento de la biomasa está en función de la carga orgánica y la carga hidráulica. La carga hidráulica afecta la velocidad de arrastre, mientras que la carga orgánica incide sobre la tasa de metabolismo.

En cuanto la comunidad biológica que compone los filtros, a lo largo de la profundidad de estos, van ocurriendo cambios. Dichos cambios varían en función de la carga orgánica, la carga hidráulica, la composición del agua residual, el pH, la temperatura, la disponibilidad de oxígeno disuelto, entre otros factores.

Respecto a la recirculación, esta no es un requisito esencial, sin embargo, ayuda en la maduración del filtro. La operación adecuada del distribuidor aumenta la eficiencia de remojo el medio, mejora el arrastre del exceso de biomasa, permite controlar mejor el espesor de la peluca y disminuye y controla olores.

### **2.5.2 Filtro percolador tipo Keisya**

Keisya es un método de purificación del agua en que una estructura de capa delgada con un fondo inclinado es llenada por un caudal de agua residual. Esta utiliza la esponja

disponible en Costa Rica polystyrene, así como un contenedor de “estereofón” de 955 mm x 410 mm con una altura de 200 mm.

Debido al peso de los contenedores, el de las esponjas y el del agua, se tiene que confeccionar una estructura en madera para dar soporte estructural al filtro.

**Figura 3**

*Filtro Keisya*



### **Ubicación**

Por la línea de tratamiento y por ser un filtro, le corresponde recibir su alimentación después de todo el sistema de tratamiento primario. En este caso, la PTAR Santa Cecilia tiene un UASB como unidad final del tratamiento primario. Se modificó la tubería que alimenta al filtro percolador existente para obtener un Bypass al Keisya, así como se logró

ubicar en un espacio entre el UASB y el filtro percolador existente. Se trata de un lugar un poco cerrado que evita la buena ventilación del sistema, pero está frente al sedimentador secundario para su depósito del agua tratada.

### Alimentación

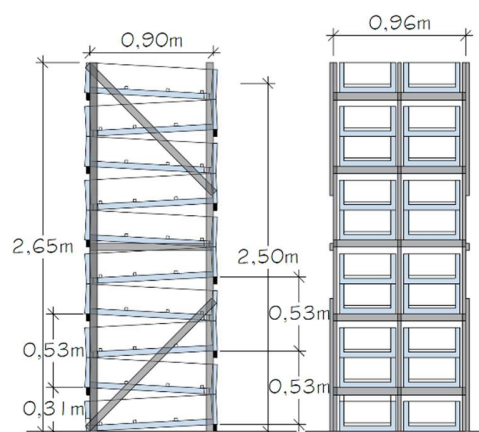
Al ser un filtro con dos torres de tratamiento, se le instaló una toma a cada una con una válvula en su salida para lograr realizar el aforo y ver el caudal correcto al empezar la operación del filtro y así cortar la alimentación, de manera que se permita la correcta alimentación del filtro de la PTAR Santa Cecilia.

### Estructura

La estructura de los contenedores se realizó con madera lo que garantiza el desnivel correcto para el fluido y la capacidad estructural de carga respecto al peso de cada sistema.

**Figura 4**

*Base Filtro Keisya*



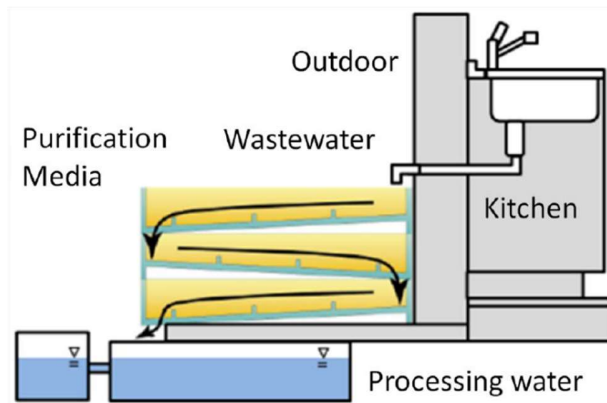
*Fuente. AyA.*

## Origen del sistema

El Keisya nació como un experimento para darle tratamiento individual a una cocina, pues las cocinas aportan gran parte del agua residual. Se realizó un experimento de cuatro años y cuatro meses en Japón y así ver la calidad de tratamiento del sistema. Para ello se utilizaron tres sistemas de tratamiento en paralelo para el sistema.

**Figura 5**

*Keisya experimento en cocina de Japón*



*Fuente.* National Institute of Technology, Kagawa College.

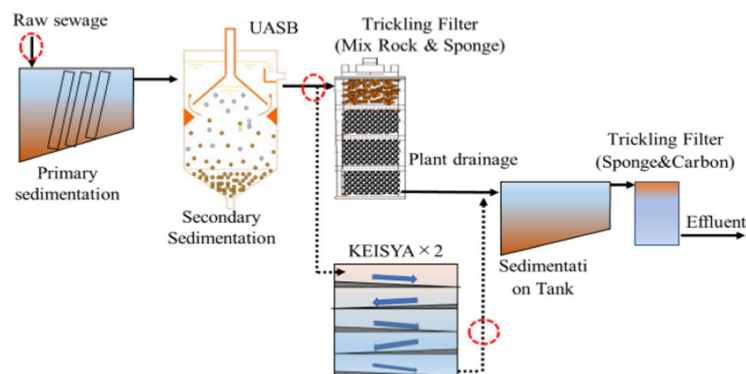
Parámetro	Verano		Invierno		Total	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida		
PH	4.7	1	6.7	0.2	5.7	1.1
BOD (mg/L)	921	732	867	841	819	820
COD(mg/L)	549	446	621	811	542	671
T-N(mg/L)	33.2	21.2	28.4	23.3	30.6	25.4
T-P(mg/L)	5.96	4.3	5.41	5	5.88	4.7
SS(mg/L)	196	84	141	81	153	80

Después de pasar el experimento de National Institute of Technology, Kagawa College, el Gobierno de Japón contactó a las autoridades en Costa Rica, como país en vías de desarrollo, en su búsqueda por ayudar a los países centroamericanos, para así someter el filtro Keisya a escala y operación de una planta de tratamiento con las características de las aguas residuales.

El ingeniero José Luis Ugalde Herra de la UEN de RyT de GAM del departamento de Investigación y Desarrollo fue quien coordinó la instalación del filtro Keisya en la PTAR Santa Cecilia.

**Figura 6**

*Diagrama de flujo y sistema de tratamiento ptar Santa Cecilia*



*Fuente. AyA.*

## **CAPITULO 3. MARCO METODOLÓGICO**

Para lograr medir la eficiencia del filtro biológico tipo Keisya es necesario hacer una recolección de muestras en el campo. Se escogen los puntos a muestrear y la metodología de recolección de la muestra y así garantizar su calidad en el campo, utilizar los procesos normados en el país para cada parámetro y asegurar la validación de los datos de eficiencia del filtro Keisya.

### **3.1 Equipo de protección personal**

Debido a la naturaleza del agua residual, en el inicio de recolección de datos, el primer paso a seguir es utilizar el equipo de protección personal correcto, con esto se garantiza la salud y la protección al llevar a cabo la recolección de muestras para cumplir con el objetivo con la seguridad y la responsabilidad.

#### **Gafas**

Se utilizan gafas especiales para el muestreo y la manipulación de químicos, ya que estas protegen en caso de algún contacto con el agua residual.

#### **Máscara**

Se emplea una media cara de la marca 3M con filtro especial 6001 que protege de los vapores.

## **Guantes**

Se usan guantes largos para tener mejor seguridad al manipular la toma de agua residual.

## **Casco**

Se utiliza el casco de seguridad para evitar un golpe directo en algún momento del muestreo.

## **Zapato punta de acero**

Se usa un zapato punta de acero para proteger de cualquier golpe en los momentos de trasladarse y posicionarse para el muestreo.

## **3.2 Muestreo**

### **Aforo**

El aforo se decidió con base en el rendimiento del sistema Keisia. También se contempló no afectar el filtro percolador existente. Con las pruebas realizadas se llegó a un caudal de 3 litros por minuto para mantener los dos sistemas alimentándose de agua residual.

El método para obtener el caudal del sistema Keysia fue utilizar un *beaker* de 1 litro y llenarlo en 20 segundos, esto da 3 litros en un minuto. Al principio, se hicieron pruebas manipulando la válvula de entrada y variando su grado de apertura para realizar una marca

en el sitio que daba el caudal requerido. En todas las visitas de campo se le aplicó la prueba del aforo para que el caudal estuviera bien aforado.

**Figura 7**  
*Cronómetro*



**Figura 8**  
*Beaker plástico*



### **Puntos de muestreo**

Los puntos se eligieron pensando en obtener la eficiencia del sistema sin alteraciones del agua residual: un punto en la entrada antes de hacer contacto con el filtro y el segundo al final del tratamiento realizado por el filtro. Este mismo cuenta con una distancia para obtenerlo de la salida del sistema y no alterar la muestra. Se realizaron para todas las muestras de recolección en ambos puntos.

**Figura 9**

*Punto de muestreo entrada*



**Figura 10**

*Punto de muestreo salida*



### **3.3 Equipos a utilizar**

Botella especializada Boeco Boro 3.3 2000 ml.

Botella de calidad alemana para el muestreo de aguas con grandes propiedades y así preservar la muestra con sus respectivos empaques y tapas especiales. Cuenta con escala certificada para ir midiendo la cantidad de ml depositados en la botella, la cual va del 400 ml a 2000 ml. Se utilizó el vidrio porque da mejores resultados con los parámetros SAAM, Grasas y Aceites, biológicos y microbiológicos.

**Figura 11**

*Botella para muestreo*



**Beaker plástico de 1 L**

Se eligió de un litro por los espacios disponibles y para controlar bien los aforos y las cantidades de muestra a tomar.

**Figura 12**

*Toma del aforo*



### **Hielera Igloo 45 litros**

Es el instrumento para mantener la temperatura a menos de 4 °C en el transporte de las muestras de Puriscal a Pavas.

**Figura 13**

*Hielera Igloo*



### **Metodología para recolección de las muestras**

Respecto a las muestras, se utilizó la técnica de muestreo compuesto, que consiste en mezclar varias muestras puntuales con la misma cantidad de ml y el mismo tiempo de recolección. Para los dos puntos se realizaron tres lavados del *beaker* para impregnar el recipiente y eliminar cualquier otro contenido de polvo o tipo de sustancia. Se procedió a tomar 500 ml cada 30 minutos, para un total de 5 muestras.

**Figura 14**

*Beaker con muestra*



**Figura 15**

*Botella con muestra*



## **Transporte**

Para el transporte se debió contemplar la temperatura, ya que el viaje es de mínimo una hora, dependiendo el tránsito de vehículos pesados en la ruta Puriscal a Ciudad Colón. Se utilizó una hilera con bastante hielo para garantizar la temperatura correcta de la muestra. La obtención de resultados de los parámetros para agua residual fue con base en la legislación costarricense.

**Figura 16**

*Hielera con el hielo*



**Figura 17**

*Hielera preparada para el viaje*



Para obtener unos resultados validos se emplearon los métodos y los equipos mencionados en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters*, que también se encuentra como referencia en la legislación nacional, específicamente en el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, artículo 38, a saber:

Artículo 38. Métodos de referencia para análisis de aguas residuales. Para los efectos de este Reglamento, los métodos de referencia para el muestreo y análisis de aguas residuales serán los incluidos en la última edición del “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters” de acuerdo al Decreto N° 25018-MEIC, publicado en La Gaceta N° 59 del 25 de marzo de 1996

## pH

En el caso del pH, los parámetros se deben tomar *in situ* y, para ello, se utilizó el equipo HANNA Ph tester HI98107 pHep.

**Figura 17**

*Medidor de pH y temperatura HANNA*



## Temperatura

La temperatura se debe tomar *in situ* y, para ello, se empleó el equipo HANNA Ph tester HI98107 pHep.

**Figura 18**

*Medidor de pH y temperatura HANNA*



## Caudal

El caudal se aforó utilizando un *beaker* de 1 litro para lograr llenarlo en 20 segundos, lo que dio un resultado de 3 litros por minuto.

**Figura 19**

*Beaker plástico*



**Figura 20**

*Cronómetro*



## Sólidos suspendidos

Para los sólidos suspendidos se utilizó 100 ml de la muestra. Esta se depositó en un recipiente y se llevó a un horno a una temperatura de 105 °C para eliminar el agua por evaporación y dejar la parte sólida de la muestra, por lo que no fue necesario usar algún reactivo para obtener el resultado.

Se empleó un horno marca Equatherm. Para determinar los parámetros de sólidos suspendidos, se debió pasar la muestra por un papel de filtro microporoso marca BOECO

de tamaño nominal entre 12 y 15  $\mu\text{m}$ , grado 1288 y densidad 84g/m. Así la porción retenida en el filtro corresponde a los sólidos suspendidos totales.

**Figura 21**

*Horno marca Equatherm*



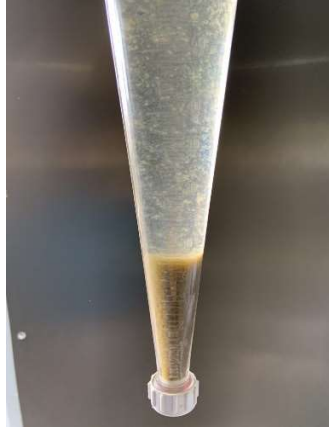
*Fuente.* Imagen recuperada de [https://co.ebay.com/b/Dermatology-Lab-Furnaces-Ovens/185200/bn\\_7116526986](https://co.ebay.com/b/Dermatology-Lab-Furnaces-Ovens/185200/bn_7116526986).

### **Sólidos sedimentables**

Para obtener los sólidos sedimentables se utilizó un cono Imhoff. Se depositaron 1000 ml y se le dio un tiempo de 60 minutos para hacer la lectura del total de sólidos sedimentables.

## **Figura 22**

### *Cono Imhoff*



*Fuente.* Bioaquafloc (2019), <https://www.bioaquafloc.com/maquinaria-equipos-e-instrumental-acuicola/instrumental-para-acuicultura-simbiotica/>

## **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Se empleó un equipo de la marca HACH llamado digestor de DQO. Además, se usaron viales de reactivo oxidantes en un bajo rango, los cuales calentaron por la digestora a 150 °C durante dos horas. Después, se procedió a realizar la medición de BQO utilizando un colorímetro marca HACH modelo DR900, equipo especializado para obtener el DQO.

**Figura 23**

*Digestor HACH*



**Figura 24**

*Colorímetro HACH DR900*



*Fuente.* Hach (2021), <https://latam.hach.com/colorimetros/colorimetro-dr900/family?productCategoryId=54617006119>.<https://www.bidspotter.com/en-us/auction-catalogues/bscmyr/catalogue-id-bscmyr10010/lot-507da5b2-a524-4282-83a7-a7910133cf90>.

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

Para obtener la demanda de oxígeno se utilizó equipo de la marca HACH, modelo BOD Trak. Su principal función la realiza mediante la aplicación de un compuesto químico llamado “BOD Nutrient Buferr Oillow”, que sirve como reactivo. Se empleó una incubadora que permitió mantener la temperatura correcta de la muestra.

La correcta aplicación debió contemplar que la incubación de la muestra era de cinco días. Durante estos días, la muestra debió estar sellada al aire para su evitar reaireación. Asimismo, se colocaron bandas magnéticas en los fondos de los recipientes, ya que estuvieron colocados en una base magnética durante los 5 días para agitar la muestra y

evitar la sedimentación. Lo anterior tuvo como objetivo recrear las condiciones naturales del agua residual. La temperatura rondó los 20 °C.

**Figura 25**  
*BOD TRAK*



*Fuente.* Hach (2021), <https://es.hach.com/bod-trak-ii-aparato-de-dbo-respirometrico-con-accesorios/product?id=24930077425>.

## **Grasas y Aceites**

El método se basó en la adsorción de grasas y aceites en tierra de diatomeas, las cuales son extraídas en un Soxhlet empleando hexano como disolvente. Una vez terminada la extracción, se evapora el hexano y se pesa el residuo que ha quedado en el recipiente; este valor es el contenido de grasas y aceites.

## **Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)**

Este método fue relativamente simple y preciso, pues comprendió tres extracciones sucesivas en cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ) a partir de medio acuoso ácido, que contenía azul de

metileno en exceso. Dichas extracciones fueron seguidas de un lavado por contracorriente de aguas y la determinación del color azul en el  $\text{CHCl}_3$  por espectrofotometría a 652nm.

**Figura 26**  
*BOD TRAK*



*Fuente.* Hach (2021), <https://es.hach.com/bod-trak-ii-aparato-de-dbo-respirometrico-con-accesorios/product?id=24930077425>.

## **Nitrógeno total**

Dentro de este parámetro fue necesario aprovechar algunos compuestos químicos como reactivos. En el caso del nitrógeno amoniacal se utilizó estabilizador mineral, alcohol polivinílico y reactivo Nessler. Para el nitrato se empleó el reactivo mnitraver5, mientras que el nitriver 3, marca HACH, fue usado con el nitrito.

El mismo colorímetro Hach DR900 fue utilizado para obtener el resultado en pantalla.

**Figura 27**  
*BOD TRAK*



*Fuente.* Hach (2021), <https://es.hach.com/bod-trak-ii-aparato-de-dbo-respirometrico-con-accesorios/product?id=24930077425>.

### **Fosfato**

Se utilizó el mismo colorímetro Hach DR900 para obtener el resultado en pantalla y Phosver 3 de la marca HACH como reactivo.

### **Coliformes fecales**

No se contaba con el equipo ni la experiencia para extraer este parámetro, por tal motivo se buscó un laboratorio externo para la obtención del resultado.

### **Escherichia Coli**

No se contaba con el equipo ni la experiencia para extraer este parámetro, por tal motivo se buscó un laboratorio externo para la obtención del resultado.

## **4. CAPÍTULO CUATRO. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1 Resultados de las pruebas de laboratorio**

A continuación se detallan los datos con gráficos asociados en las pruebas realizadas durante las seis semanas, tiempo de estudio para llevar al fallo al filtro tipo Keishya con las características de las aguas residuales costarricenses. Se analiza cada parámetro establecido en el reglamento costarricense por separado, debido a que cada uno tiene su propiedad y sus técnicas de tratamiento diferentes para su correcto saneamiento, esto sirve en el objetivo de comprender mejor la eficiencia del filtro Keisya durante cada proceso del tratamiento.

Además, se utiliza una fórmula para determinar las eficiencias del filtro en cada parámetro y así generar una comparación general del filtro como sistema de tratamiento.

$$\%eficiencia = 100 * \frac{entrada - salida}{entrada}$$

### **4.2 Presentación de los datos obtenidos**

**Miércoles, 2 de diciembre del 2020**

Para la primera visita de campo, se coordinó con el ingeniero Jose Luis Ugalde la realización del primer muestreo, donde designio una cuadrilla del AyA para realizar una limpieza del filtro.

Muestreo tipo compuesto de 2 horas, realizado entre las 11:11 y las 13:11 horas. Muestra integrada a partir de 5 submuestras de 500 ml, cada una recolectada en lapsos de 30 minutos, mezcladas homogéneamente, para así obtener una muestra compuesta de 2500 ml en los análisis.

### **Cuadro 1**

*Resultados de laboratorio, 2 de diciembre del 2020*

Análisis realizado	Entrada Keisya	Salida Keisya
Ph	7,46	7,9
Temperatura	23,1	23,8
Caudal	3	3
Sólidos suspendidos	72	56
Sólidos sedimentables	0,2	0,5
DBO	382	216
DQO	210	110
Grasas y Aceites	25	9
SAAM	20	14,3

### Miércoles, 9 de diciembre del 2020

Para la segunda visita de campo se coordinó con los operadores y así tener la planta bien estabilizada para el muestreo.

Muestreo tipo compuesto de 2 horas, realizado ente las 10:00 y las 12:00 horas. Muestra integrada a partir de 5 submuestras de 500 ml, cada una recolectada en lapsos de 30 minutos, mezcladas homogéneamente, para obtener una muestra compuesta de 2500 ml en los análisis.

#### **Cuadro 2**

*Resultados de laboratorio, 9 de diciembre 2020*

Análisis realizado	Entrada Keisya	Salida Keisya
pH	7,41	8,01
Temperatura	23,5	23,6
Caudal	3	3
Sólidos suspendidos	70	43
Sólidos sedimentables	0,3	0,4
DBO	398	268
DQO	216	111
Grasas y Aceites	31	13
SAAM	15,5	10,9

### Miércoles, 16 de diciembre del 2020

Para la tercera visita de campo, se coordinó con el ingeniero Ernesto Jiménez. Debido a unas sospechas de padecimiento de la COVID-19 por los operadores, la PTAR Santa Cecilia no se operaba desde el viernes 11 de diciembre, de manera que contaba con las peores condiciones de agua residual.

Muestreo tipo compuesto de 2 horas, realizado ente las 10:00 y las 12:00 horas. Muestra integrada a partir de 5 submuestras de 500 ml, cada una recolectadas en lapsos de 30 minutos, mezcladas homogéneamente, para así obtener una muestra compuesta de 2500 ml en los análisis.

#### Cuadro 3

*Resultados de laboratorio, 16 de diciembre del 2020*

Análisis realizado	Entrada Keisya	Salida Keisya
pH	7,36	7,89
Temperatura	23,5	23,6
Caudal	3	3
Sólidos suspendidos	63	49
Sólidos sedimentables	0,2	0,6
DBO	416	323
DQO	184	123
Grasas y Aceites	32	18

SAAM	17,5	13
------	------	----

### **Viernes, 8 de enero del 2021**

Para la cuarta visita de campo, se coordinó con los operadores para asistir al muestreo un viernes y así obtener la planta en la mejor de las condiciones. Además, en este muestreo se logró realizar nitrógeno total, fósforo y microbiológico (coliformes fecales y Escherichia Coli).

Muestreo tipo compuesto de 2 horas, realizado ente las 10:00 y las 12:00 horas. Muestra integrada a partir de 5 submuestras de 500 ml, cada una recolectada en lapsos de 30 minutos, mezcladas homogéneamente, para obtener una muestra compuesta de 2500 ml en los análisis.

Muestreo microbiológico tipo simple. Análisis puntual.

#### **Cuadro 4**

*Resultados de laboratorio, 8 de enero del 2021*

Análisis realizado	Entrada Keisya	Salida Keisya
pH	7,57	8,2
Temperatura	23,5	23,6
Caudal	3	3
Sólidos suspendidos	62	80
Sólidos sedimentables	0,2	0,6
DBO	403	315
DQO	230	150
Grasas y Aceites	27	13
SAAM	15,5	12,2
Nitrógeno total	80	74
Fosfato	30,1	28,1
Coliformes fecales	2600000	3800
Escherichia Coli	2100000	3200

#### **Miércoles, 13 de enero del 2021**

Durante la quinta visita de campo dentro de este muestreo se logró realizar nitrógeno total y fósforo.

Muestreo tipo compuesto de 2 horas, realizado ente las 10:00 y las 12:00 horas. Muestra integrada a partir de 5 submuestras de 500 ml, cada una recolectada en lapsos de 30 minutos, mezcladas homogéneamente, para obtener una muestra compuesta de 2500 ml en los análisis.

### **Cuadro 5**

*Resultados de laboratorio, 13 de enero del 2021*

Análisis realizado	Entrada Keisya	Salida Keisya
pH	7,31	7,96
Temperatura	23,5	23,6
Caudal	3	3
Sólidos suspendidos	78	68
Sólidos sedimentables	0,2	0,7
DBO	420	343
DQO	216	142
Grasas y Aceites	26	9
SAAM	14	9
Nitrógeno total	88	80
Fosfato	30,2	28,4

### Miércoles, 20 de enero del 2021

Durante la sexta visita de campo dentro de este muestreo se logró realizar microbiológico (coliformes fecales y Escherichia Coli). Los operadores no se encontraban en LA PTAR debido a una sospecha de padecimiento de la COVID-19 y a vacaciones. Nuevamente, la planta no se operaba desde el viernes 15 de enero del 2021.

Muestreo tipo compuesto de 2 horas, realizado ente las 10:00 y las 12:00 horas. Muestra integrada a partir de 5 submuestras de 500 ml, cada una recolectada en lapsos de 30 minutos, mezcladas homogéneamente, para así obtener una muestra compuesta de 2500 ml en los análisis

Muestreo microbiológico tipo simple. Análisis puntual.

#### Cuadro 6

*Resultados de laboratorio, 20 de enero del 2021*

Análisis realizado	Entrada Keisya	Salida Keisya
pH	7,45	83,02
Temperatura	23,5	23,6
Caudal	3	3
Sólidos suspendidos	42	46
Sólidos sedimentables	0,2	0,2
DBO	379	296
DQO	213	132

Grasas y Aceites	21	10
SAAM	15,5	10,8
Coliformes fecales	470000000	94000000
Escherichia Coli	400000000	70000000

#### 4.4 Análisis de los resultados

Para analizar correctamente los resultados, estos se separan por tipo de parámetro. Además, se muestran gráficos para apreciar fácilmente su percepción y se saca la eficiencia para evaluar el filtro.

#### pH

El pH se encuentra dentro de la legislación nacional, sin embargo, el filtro tiende a hacer más alcalina el agua. En ninguna de las muestras realizadas se tendió a acidificar el agua residual, lo cual es normal debido a toda la actividad de bacterias en el filtro.

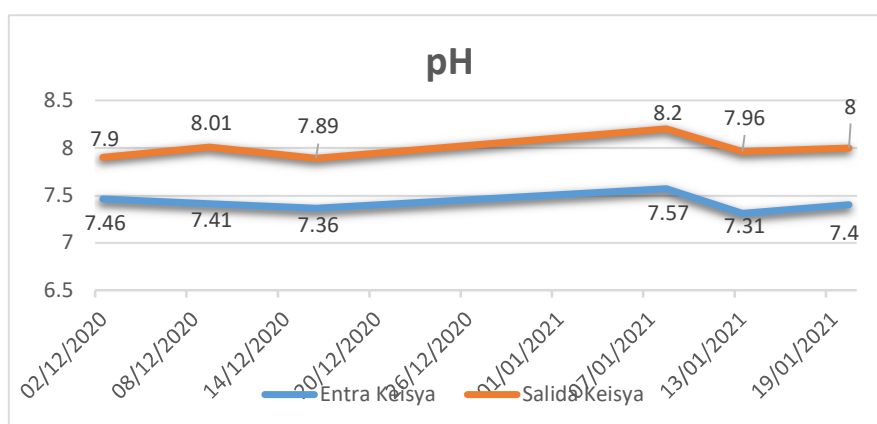
#### Cuadro 7

##### *Resultados de pH*

Fecha	Entra Keisya	Salida Keisya
2/12/2020	7,46	7,9
9/12/2020	7,41	8,01
16/12/2020	7,36	7,89
8/1/2021	7,57	8,2

13/1/2021	7,31	7,96
20/1/2021	7,4	8

**Figura 28**  
*Gráfica del pH*



## Temperatura

La variación fue muy poca en la temperatura, muy cerca de la temperatura natural del agua. La única variante fue la del muestreo realizado el 20 de enero del 2021, debido a la falta de operación por la escasez del personal de la PTAR Santa Cecilia. Subió la temperatura en el pretratamiento y el filtro logra bajar la temperatura.

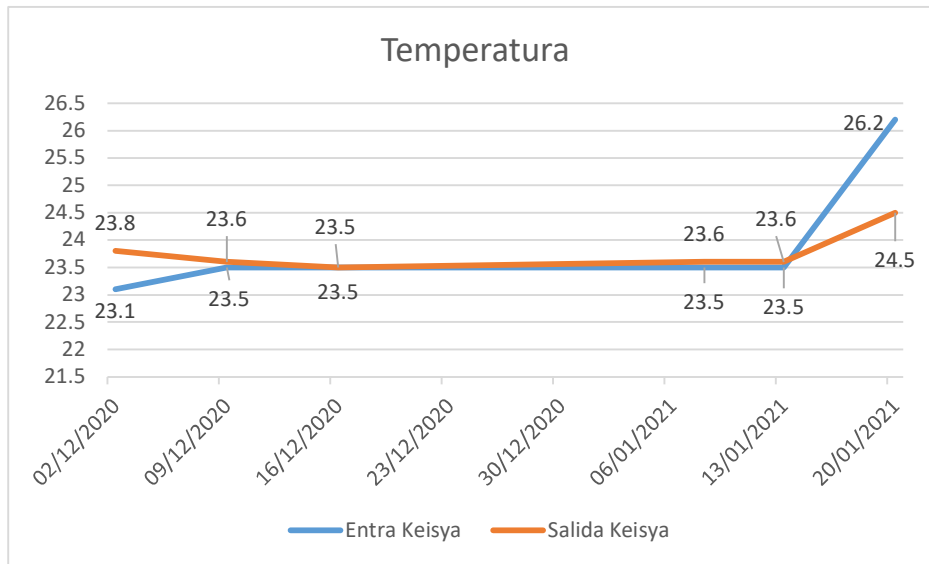
### Cuadro 8

#### Resultados de la temperatura

Fecha	Entra Keisya	Salida Keisya
2/12/2020	23,1	23,8
9/12/2020	23,5	23,6
16/12/2020	23,5	23,5
8/1/2021	23,5	23,6
13/1/2021	23,5	23,6
20/1/2021	26,2	24,5

### Figura 29

#### Gráfica de la temperatura



## Caudal

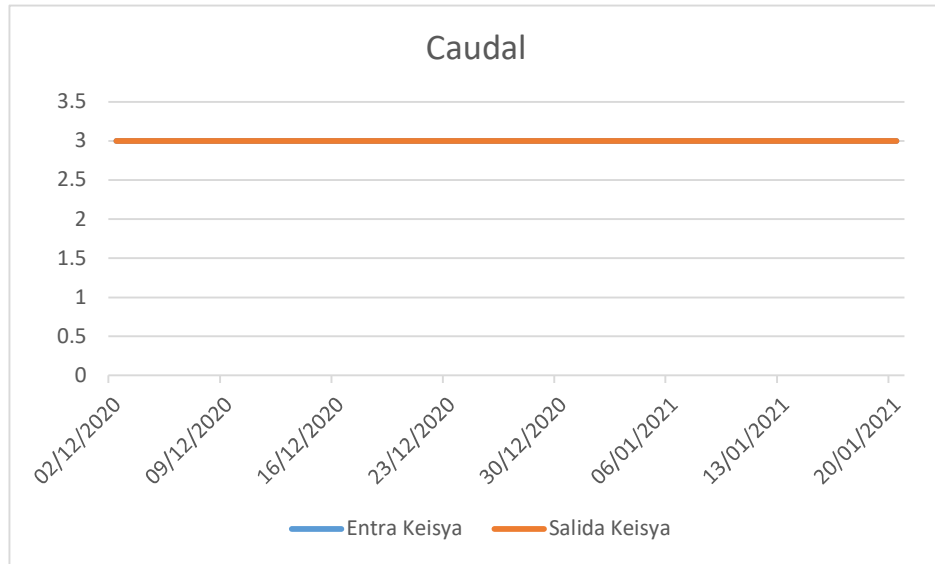
El caudal se marcó ambas válvulas. Para su correcta graduación de abastecimiento al filtro, se aplicó igual el aforo y así verificar el caudal 3 l/m.

### Cuadro 9

#### *Resultados del caudal*

Fecha	Entra Keisya	Salida Keisya
2/12/2020	3	3
9/12/2020	3	3
16/12/2020	3	3
8/1/2021	3	3
13/1/2021	3	3
20/1/2021	3	3

**Figura 30**  
*Gráfica del caudal*



### **Sólidos suspendidos**

Para los sólidos suspendidos hubo remoción, exceptuando los dos días que la PTAR Santa Cecilia no contó con la operación regular, lo que indica la importancia de un tratamiento primario para los sistemas de filtros percoladores.

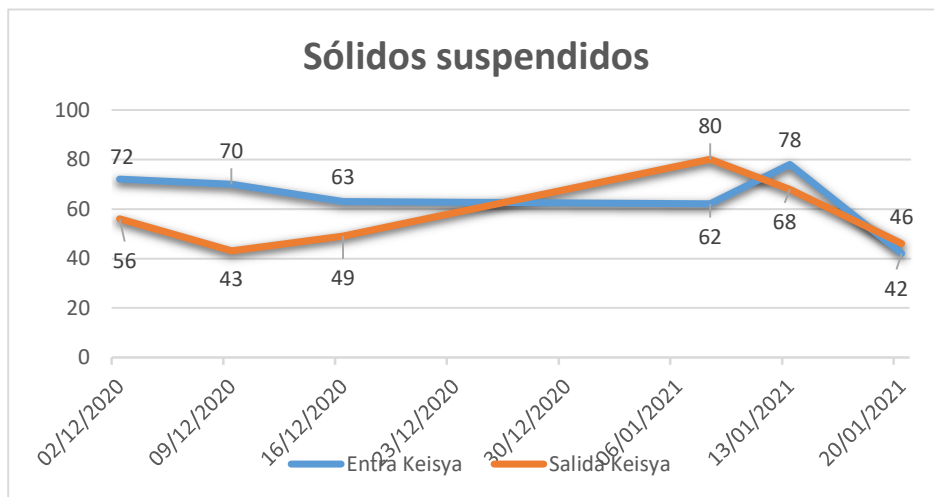
### Cuadro 10

#### Resultados de sólidos suspendidos

Fecha	Entra Keisya	Salida Keisya
2/12/2020	72	56
9/12/2020	70	43
16/12/2020	63	49
8/1/2021	62	80
13/1/2021	78	68
20/1/2021	42	46

### Figura 31

#### Gráfica de sólidos suspendidos



### **Cuadro 11**

#### *Eficiencia de los sólidos suspendidos*

Fecha	Rendimiento
02/12/2020	22 %
09/12/2020	38 %
16/12/2020	22 %
08/01/2021	-29 %
13/01/2021	12 %
20/01/2021	-8 %

### **Sólidos sedimentables**

Para los sólidos sedimentables, el primer día que se limpió el filtro con la cuadrilla del AyA hubo una mejora, pero los siguientes muestreos mostraron la naturaleza de un filtro, el cual debe ir acompañado de un sedimentador secundario.

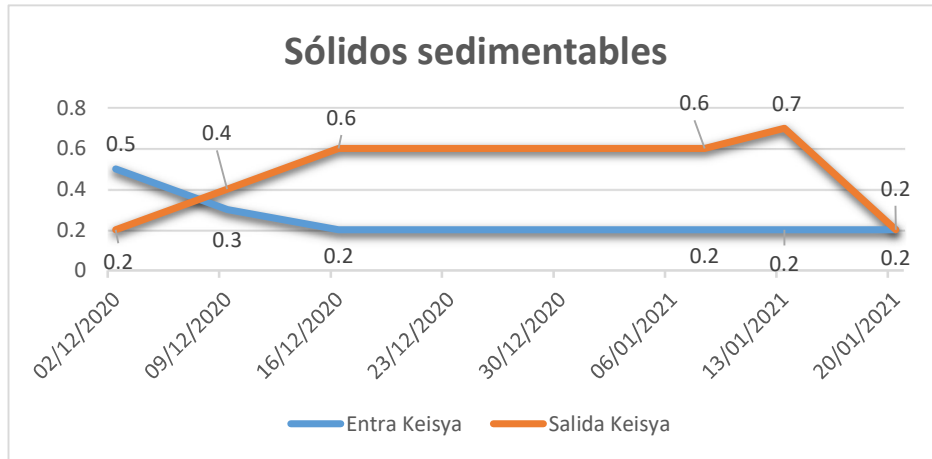
### **Cuadro 12**

#### *Resultados de los sólidos sedimentables*

Fecha	Entra Keisya	Salida Keisya
2/12/2020	0,5	0,2
9/12/2020	0,3	0,4
16/12/2020	0,2	0,6
8/1/2021	0,2	0,6
13/1/2021	0,2	0,7
20/1/2021	0,2	0,2

**Figura 32**

*Gráfica de sólidos sedimentables*



**Cuadro 13**

*Eficiencia de los sólidos sedimentables*

Fecha	Rendimiento
02/12/2020	60 %
09/12/2020	-33 %
16/12/2020	-200 %
08/01/2021	-200 %
13/01/2021	-250 %
20/01/2021	0 %

## DQO

**Cuadro 14**

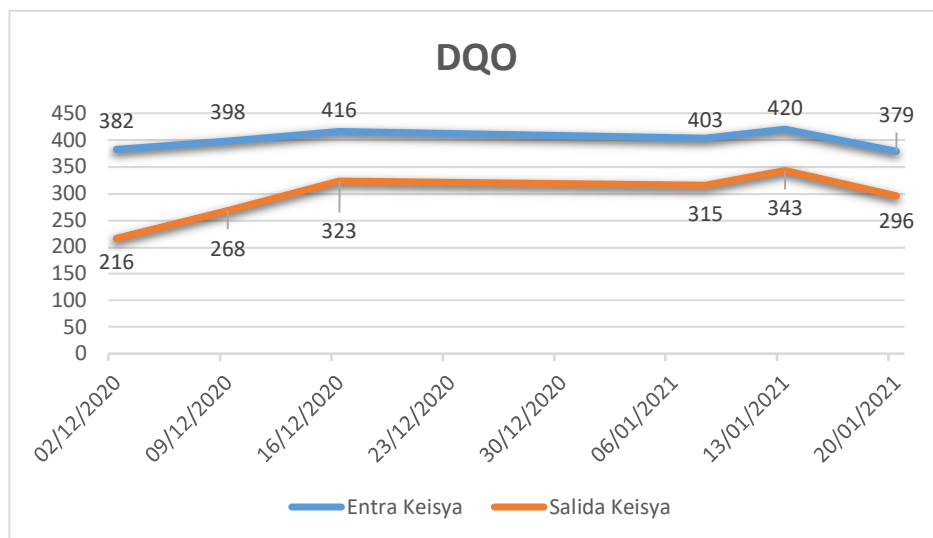
*Resultado DQO*

Fecha	Entra Keisya	Salida Keisya
2/12/2020	382	216
9/12/2020	398	268
16/12/2020	416	323
8/1/2021	403	315
13/1/2021	420	343
20/1/2021	379	296

El DQO mostró eficiencia el filtro en todos los días de muestreo. Al ser un parámetro químico, este demostró tener una eficiencia baja.

**Figura 33**

*Gráfica DQO*



### **Cuadro 15**

#### *Eficiencia DQO*

Fecha	Rendimiento
02/12/2020	43 %
09/12/2020	32 %
16/12/2020	22 %
08/01/2021	21 %
13/01/2021	18 %
20/01/2021	21 %

## **DBO**

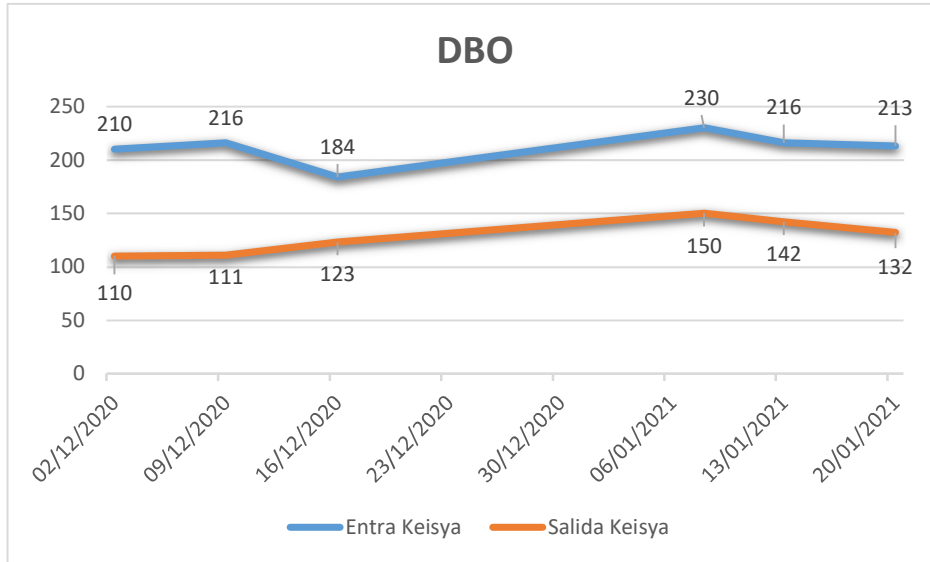
### **Cuadro 16**

#### *Resultados DBO*

Fecha	Entra Keisya	Salida Keisya
2/12/2020	210	110
9/12/2020	216	111
16/12/2020	184	123
8/1/2021	230	150
13/1/2021	216	142
20/1/2021	213	132

Para el DBO, se demostró eficiencia, pero más baja y relacionada al DQO.

**Figura 34**  
*Gráfica DBO*



**Cuadro 17**  
*Eficiencia DBO*

Fecha	Rendimiento
02/12/2020	47 %
09/12/2020	48 %
16/12/2020	33 %
08/01/2021	34 %
13/01/2021	34 %
20/01/2021	38 %

## Grasas y Aceites

**Cuadro 18**

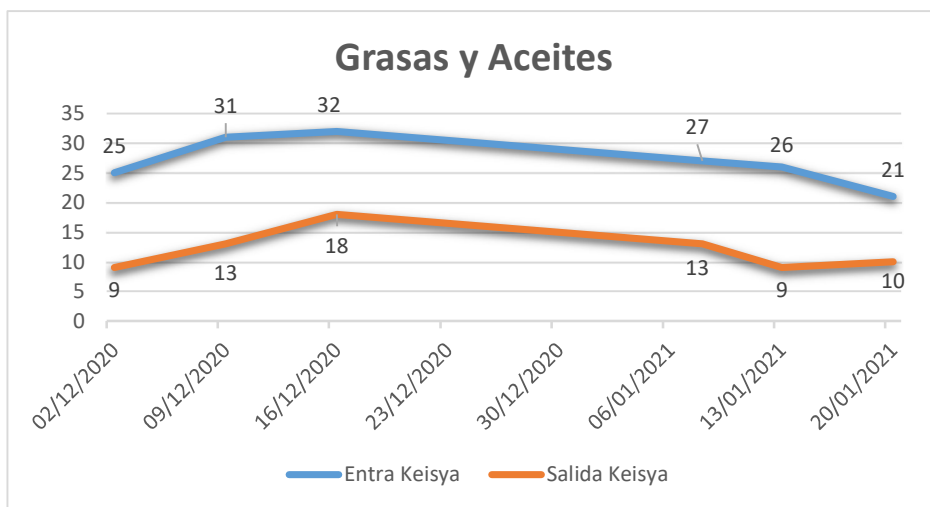
*Rendimiento de Grasas y Aceites*

Fecha	Entra Keisya	Salida Keisya
2/12/2020	25	9
9/12/2020	31	13
16/12/2020	32	18
8/1/2021	27	13
13/1/2021	26	9
20/1/2021	21	10

Para las grasas y aceites, este es el mejor parámetro. Incluso, este mismo puede ser vertido directamente a un cuerpo receptor.

**Figura 35**

*Gráfica de Grasas y Aceites*



### **Cuadro 19**

#### *Rendimiento Grasas y Aceites*

Fecha	Rendimiento
02/12/2020	64%
09/12/2020	58%
16/12/2020	43%
08/01/2021	51%
13/01/2021	65%
20/01/2021	52%

### **SAAM**

### **Cuadro 20**

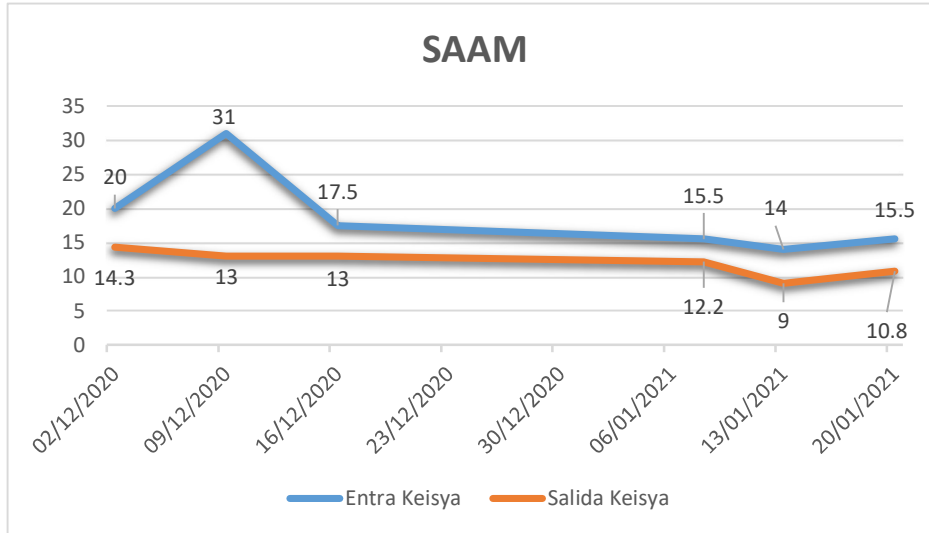
#### *Resultados SAAM*

Fecha	Entra Keisya	Salida Keisya
2/12/2020	20	14,3
9/12/2020	31	13
16/12/2020	17,5	13
8/1/2021	15,5	12,2
13/1/2021	14	9
20/1/2021	15,5	10,8

Mostró remoción a nivel de SAAM, pero no es tan bueno como para ser vertido en un cuerpo receptor.

**Figura 36**

*Gráfica de SAAM*



Fecha	Rendimiento
02/12/2020	28 %
09/12/2020	58 %
16/12/2020	25 %
08/01/2021	21 %
13/01/2021	35 %
20/01/2021	30 %

**Nitrógeno total**

**Cuadro 22**

*Resultados del nitrógeno total*

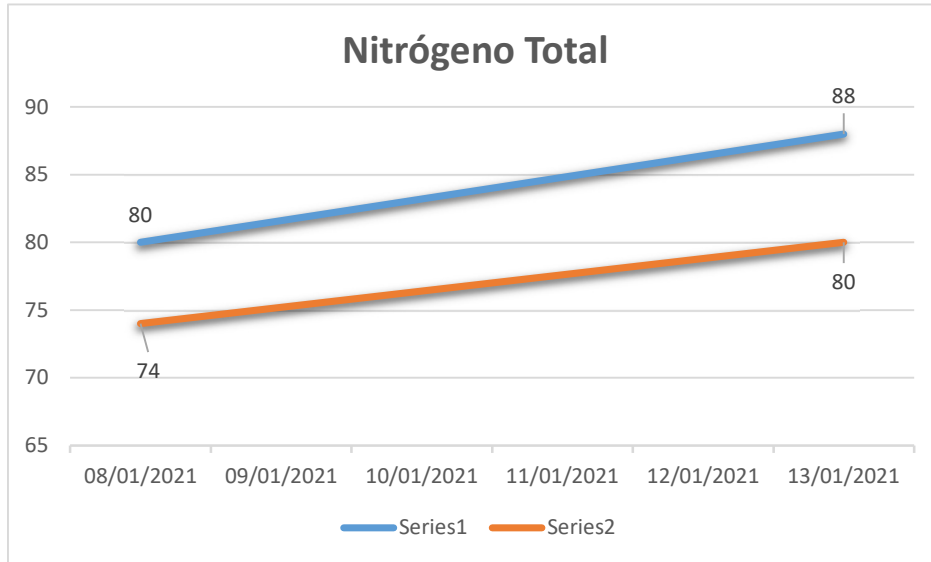
Fecha	Entra Keisya	Salida Keisya
8/1/2021	80	74
13/1/2021	88	80

*Fuente.* Resultados Microbiología MA analítica.

Se trata de una de las remociones más bajas del filtro y muy lejos de los parámetros de vertido.

**Figura 37**

*Gráfica del nitrógeno total*



**Cuadro 23**

*Rendimiento del nitrógeno total*

Fecha	Rendimiento
08/01/2021	7 %
13/01/2021	9 %

## Fosfato

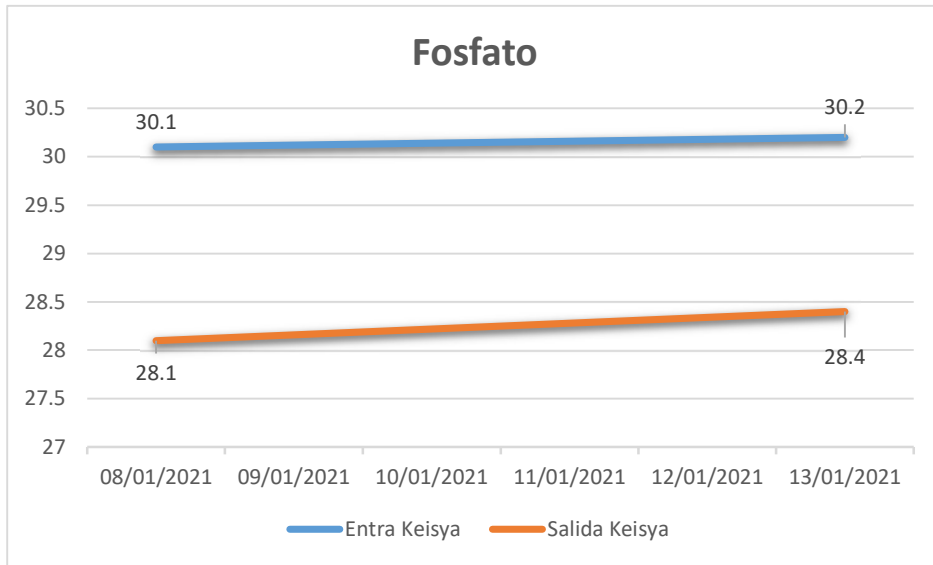
**Cuadro 24**

*Resultados del fosfato*

Fecha	Entra Keisya	Salida Keisya
8/1/2021	30,1	28,1
13/1/2021	30,2	28,4

Remoción muy baja. Ayudada por el tratamiento primario, esta no está tan lejos del parámetro ideal de vertido.

**Figura 38**  
*Gráfica del fosfato*



**Cuadro 25**  
*Rendimiento del fosfato*

Fecha	Rendimiento
08/01/2021	6 %
13/01/2021	5 %

## Coliformes fecales

**Cuadro 26**

*Resultados de coliformes fecales*

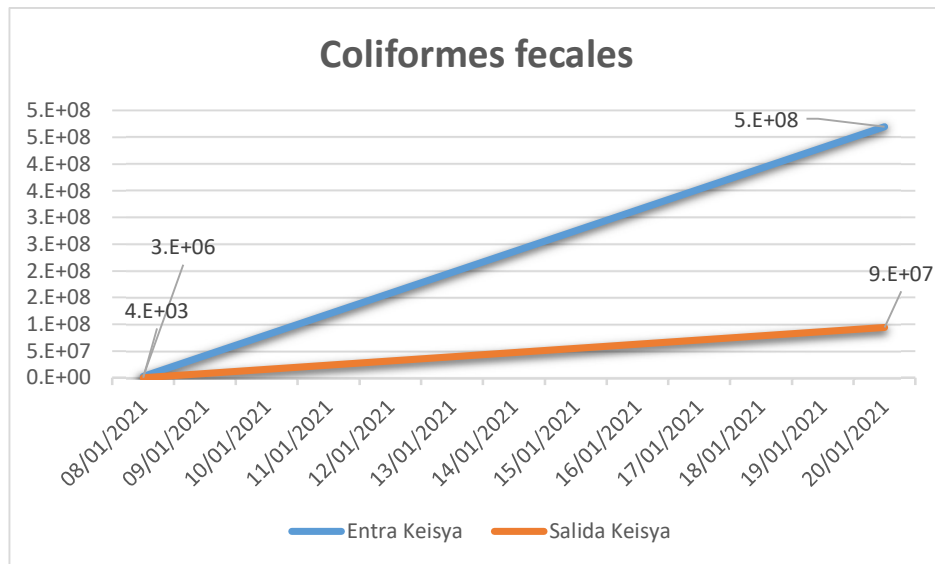
Fecha	Entra Keisya	Salida Keisya
8/1/2021	3,E+06	4,E+03
20/1/2021	5,E+08	9,E+07

*Fuente.* Resultados de laboratorio.

Muy buena remoción de coliformes fecales.

**Figura 39**

*Gráfica de coliformes fecales*



### Cuadro 27

#### Rendimiento de coliformes fecales

Fecha	Rendimiento
08/01/2021	99%
20/01/2021	80%

## Escherichia Coli

### Cuadro 28

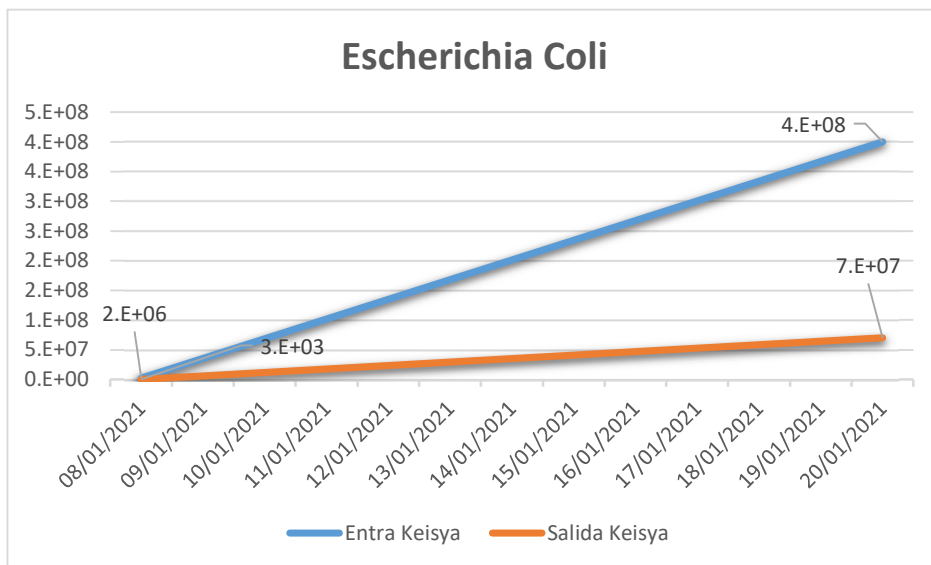
#### Resultados de Escherichia Coli

Fecha	Entra Keisya	Salida Keisya
8/1/2021	2,E+06	3,E+03
20/1/2021	4,E+08	7,E+07

Buena remoción de Escherichia Coli.

### Figura 40

#### Gráfica de Escherichia Coli



## **Cuadro 29**

### *Eficiencia de Escherichia Coli*

Fecha	Rendimiento
08/01/2021	99 %
20/01/2021	82 %

## **CAPÍTULO CINCO. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

En general, el filtro Keisy tiene, en su naturaleza como sistema de tratamiento de aguas residuales. Como toda unidad, dicho sistema posee sus resultados con característica de parámetros y se debe seguir investigando para lograr buscar la mejor efectividad, tanto en tratamiento primario como en tratamiento terciario. Se debe probar en otras PTARS para ver si varía su funcionamiento.

Se logro comprobar que el sistema tiene sus puntos más altos en cuanto a costos, debido a no ocupar mano de obra de muy alta experiencia para su confección, ni muchos materiales constructivos, tampoco herramientas especializadas o de altos costos. Con características de accesibilidad incluso para viviendas debido a los materiales y su sencilla operación los que pueden mejorar mucho los sistemas individuales de tratamiento.

Con un USAB como sistema de tratamiento primario, estos fueron los datos generados y recolectados de la eficiencia del Keisya:

Para el pH, este se mantuvo dentro de lo permitido en la legislación nacional donde el rango va de 5 a 9, lo que da como promedio 7,99. Por lo tanto, se demostró que no tiende a acidificar el agua residual ayudado por la naturaleza de ser agua residual doméstica, ya que no necesita algún tratamiento especial para estabilizar el pH.

Respecto a la temperatura, esta se mantuvo muy cerca de la temperatura ambiente del agua, donde el parámetro de ley es 15 °C a 40°C, debido a la naturaleza del agua residual

domesticas no fue necesario utilizar algún sistema o pretratamiento para enfriar el agua. Para el último muestreo, se logró enfriar el agua residual, pues su promedio fue 23,62 °C.

El caudal fue controlado en todo momento para no obtener variaciones en la evaluación. En las seis visitas de campo se utilizó la técnica del aforo para verificar los 3 l/s para comenzar con los muestreos.

Para los sólidos suspendidos, se tuvo una remoción de un 38 % máximo a un 12 % mínimo, los días que la planta no operó con normalidad, se demostró mejor un rendimiento gracias al tratamiento primario. Los parámetros de ley son 50 mg/L para lo cual el filtro no logro pasar los parámetros en tres muestreos con resultados de 56 mg/L, 80mg/L y 68 mg/L esto debido a los tres días de incorrecta operación de la PTAR Santa Cecilia. Para otros 3 muestreos el filtro si logro cumplir con la ley costarricense obteniendo de resultado 43 mg/L, 49 mg/L y 46 mg/L.

Respecto a los sólidos sedimentables, solo el primer día se tuvo un 60 % de remoción debido a la limpieza. Es normal que los filtros arrastren sólidos y, por tal motivo, se operó con un sedimentador secundario. Para este parámetro en legislación se debe cumplir con 1 mL/L, el filtro no logro cumplir con la ley, en dos ocasiones llego a 2 mL/L, sin embargo ocupa de un sedimentador secundario como lo establece la teoría de plantas de tratamiento para terminar el proceso de remoción de solidos sedimentables.

En el caso del DQO, el filtro Keisya tiene una capacidad de un 26 % de remoción, mientras que este tiene una remoción de un 39 % promedio para el DBO. Esto demuestra que, al ser un filtro biológico, tiene más remoción biológica que química. Para la legislación

nacional los parámetros son DBO 50 mg/L y DQO 150 mg/L, Para el DQO no cumplió con la legislación siendo el mas cercano 216 mg/L y para el DBO tampoco cumplió siendo el mas cercano 110 mg/L. Esto se debe a la falta de efectividad del UASB donde se debe hacer una caracterización del lodo para conocer su ciclo celular y su tiempo de purga de lodos ya que se realiza empíricamente. Esto mejoraría la salida del DBO y DQO ya que estaría dando los resultados previstos en un sistema de tratamiento UASB.

Para las grasas y aceites, el filtro mostró el mejor rendimiento, incluso, el agua residual podría ser vertida en este parámetro. La remoción más alta fue del 65 % y la más baja de un 43 %. Este parámetro en la legislación se debe cumplir con 30 mg/L, en los seis muestreos el filtro cumplió dando incluso 2 veces 9 mg/L y siendo el mas alto 18 mg/L por lo que le filtro cumple con mucha facilidad.

Respecto a SAAM, para este parámetro, entre más alto sea el parámetro de entrada se demostró mayor remoción. Para la ley este parámetro se debe cumplir con 5 mg/L, el filtro no cumplió. El resultado mas cercano es 9 mg/L, el filtro demostró capacidad de remoción al ser cargado con mayores concentraciones de SAAM di mejores resultados, sin embargo, es una desventaja de los sistemas UASB en comparación con lodos activados tienen problemas con los detergentes. Buscar que el abonado del AyA utilice detergentes neutros para evitar arrastre en la urbanización.

Sobre el nitrógeno total, la remoción es muy baja, inferior al 10 % en los dos muestreos realizados. El parámetro para el nitrógeno es de 50 mg/L, para los dos muestreos

los resultados fueron 70 mg/L y 80 mg/L donde demuestra poca eficiencia ya que este parámetro pertenece un sistema de tratamiento terciario.

En el fosfato, la remoción es menor al 7 % en los dos muestreos realizados. El parámetro para el fosfato es de 25 mg/L, para los dos muestreos los resultados fueron 28.1 mg/L y 28.4 mg/L donde demuestra poca eficiencia ya que este parámetro pertenece un sistema de tratamiento terciario, además depende el diseño de planta se debe remover o agregar todo va a variar de la naturaleza del agua residual.

Para los coliformes fecales, la remoción fue la más alta, incluso se alcanzó un 99 %, mientras que para el *Escherichia Coli* también hubo una remoción del 99 %. Para estos parámetros la norma debe cumplir no mayor de 1000 por cada 100 ml de muestra. Para la microbiología al ser semicuantitativa, debido a que los organismos hacen sus comunidades de microorganismos va a variar mucho en un litro de muestra. El filtró demostró muy buena remoción sin embargo se necesita un sistema terciario como la desinfección para lograr cumplir con lo establecido por ley.

## Recomendaciones

Para mejorar el pretratamiento se recomiendan las siguientes acciones a realizar:

Regulación de caudal de entrada mediante la instalación de una placa metálica que mejore el funcionamiento del canal de excedencias en la época de lluvia. Instalación de una pantalla para la retención de sobrenadantes.

Sustitución de la tubería de llegada al UASB.

Instalación de canaleta metálica en INOX para mejorar la distribución de caudal de ingreso al UASB.

Construcción de cárcamo de bombeo e instalación de bomba para recirculación del sistema (efluente hacia entrada UASB). Instalación de tubería de bombeo y de retorno del excedente bombeado.

Instalación de una pantalla para retención de sobrenadantes en el sedimentador.

Perforación del biodigestor de lodos para cambio de lugar de la tubería de descarga de fondo.

Corrección de las canaletas de salida del UASB.

Revisión del nivel de lodos en UASB.

## **Bibliografía**

Aguilar Garita, A. (2019). *Comparación de la eficiencia de cuatro medios de soporte para filtros percoladores como tratamiento posterior a un reactor anaerobio de manto de lodo (UASB) en la planta de tratamiento de aguas Residuales Bosques de Santana.*

Bioaquafloc. (2019). *Instrumental para acuicultura simbiótica.*  
<https://www.bioaquafloc.com/maquinaria-equipos-e-instrumental-acuicola/instrumental-para-acuicultura-simbiotica/>

Chacón Jiménez, Y. (2019), *Evaluación y monitoreo del reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) y tratamiento de filtro percolador existente en una planta de tratamiento de aguas residuales de Acueductos y alcantarillados.*

*Constitución Política de la República de Costa Rica.*  
[https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=871](https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=871)

De Lemos Chernicharo, C., Bressani Ribeiro, Sabino Pegorini, E., Collere Possetti, G., Kenji Miki, M. y De Souza, S. (2018). *Contribución para el perfeccionamiento del diseño, la construcción y la operación de reactores UASB aplicados al tratamiento de aguas residuales urbanas.*

Flores Alborno, J. (2017). *Determinación de la eficiencia del sistema de filtros de esponja colgantes continuas (DHS) en el tratamiento de aguas residuales del centro poblado de Marian Huaraz.*

Flores Sánchez, E. (2019). *Evaluación y monitoreo del reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) y tratamiento de filtro percolador existente en una planta de tratamiento de aguas residuales de Acueductos y alcantarillados.*

Hach. (2021). *Agua para todo el mundo.* <https://latam.hach.com/>

*Ley General de Aguas.*

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=11950&nValor3=91553&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=11950&nValor3=91553&strTipM=TC)

Miyake, M. (2019). *Removal of sewage in Costa Rica by Up-flow Anaerobic Sludge Blanket USBA and Keisya system.*

*Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (N 39887-S-MINAE).*

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=82487&nValor3=105490&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=82487&nValor3=105490&strTipM=TC)  
C

*Reglamento de Canon Ambiental por Vertidos (34431-MINAE-S).*

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=68089&nValor3=81022&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=68089&nValor3=81022&strTipM=TC)

*Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N° 33601.*

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=59524&nValor3=83250&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=59524&nValor3=83250&strTipM=TC)

Serrat, S. (2017). *Aguas negras, el rastro de nuestra historia: Fundación We Are Water.1,1.*

Recuperado de <https://www.iagua.es/noticias/espana/fundacion-we-are-water/17/05/03/aguasnegras-rastro-nuestra-historia>

Veiga Barbazán, M. (2015). *Ficha Técnica informativa para el tratamiento de efluentes en plantas de la industria textil.*