

Universidad Nacional de Costa Rica
INH415 Práctica Profesional Supervisada

Informe Escrito

Para optar por el grado de Bachillerato en Ingeniería Hidrológica

“Análisis de las características biofísicas de las aguas residuales y pluviales de la sede Chorotega, campus Liberia de la Universidad Nacional, para valorar su posible reutilización en riego”

Equipo Supervisor

MS.c Ronald Sánchez Brenes

Académico e Investigador de la Sede Regional Chorotega

C. MEd Wagner Castro Castrillo

Director Académico del campus Liberia, Sede Regional Chorotega

MS.c Medardo Moscoso Vidal

Académico de la Sede Regional Chorotega

Estudiante/Autor

Jose Carlos Castro Vega

II Ciclo, 2021

Contenido

1. Introducción	3
2. Objetivos	4
2.1. Objetivo General	4
2.2. Objetivos Específicos	4
3. Antecedentes	5
3.1. Área de Estudio	6
4. Metodología	7
4.1. Aguas Residuales	7
4.1.1. Muestreo de Aguas Residuales	7
4.1.2. Análisis de Aguas Residuales	8
4.2. Aguas Pluviales	9
4.2.1. Muestreo de Aguas Pluviales	9
4.2.2. Análisis de Aguas Pluviales	10
5. Resultados y Discusión	10
5.1. Aguas Residuales	10
5.1.1. Resultados	10
5.1.2. Discusión	11
5.2. Aguas Pluviales	14
5.2.1. Resultados	14
5.2.2. Discusión	14
5. Conclusiones	15
6. Bibliografía	17
7. Anexo	19

1. Introducción

Las aguas residuales según el Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales N.º 31545-S-MINAE, es la combinación de líquidos y sólidos transportados por un cuerpo de agua cuya calidad ha sido degradada por contaminantes. Cabe mencionar, que el reglamento costarricense también destaca que las aguas residuales se clasifican en dos, las aguas residuales de tipo ordinario y las aguas residuales de tipo especial (*Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales N.º 31545-S-MINAE*, 2003). Así mismo, las aguas pluviales son todas aquellas que pertenecen a la lluvia (ASALE & RAE, 2021).

El desarrollo del tratamiento de aguas residuales es considerado uno de los avances más importantes en los últimos centenares de la historia, además, está establecido como una *necesidad* en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Objetivo número 6) (López et al., 2017; Morán, 2015). Sin embargo, según Winpenny et al., (2013), el tema de la reutilización de aguas residuales es una que tiene poco camino recorrido. Considerando el estrés hídrico que existe actualmente y el hecho que la población está creciendo a una tasa de 1.2% al año, proveer el agua necesario y en condiciones adecuadas en un futuro no tan lejano va a ser un desafío (Winpenny et al., 2013). Por lo tanto, el tema de la reutilización de aguas residuales va a tener un gran impacto en diferentes áreas de la sociedad como en la agricultura.

En gran parte, una de las necesidades de abordar la reutilización del recurso hídrico recae en el peso económico que presenta la escasez de este mismo. Winpenny et al., (2013) menciona que la agricultura representa el 70% del uso mundial del agua y el aumento de la escasez del recurso hídrico significa un impacto en la sanidad pública, comercio, servicios e industrias. Por lo tanto, avanzar en el tema de la reutilización de las aguas residuales puede ser una alternativa para combatir este problema socioambiental. El costo del tratamiento de aguas residuales varían entre 0.10\$ a 0.50\$ por m³, sin embargo, el costo del tratamiento de aguas residuales y reutilizarlas sigue siendo menor que la desalinización (Jiménez & Asano, 2008). De tal manera, que el reuso de las aguas residuales aborda tanto el aspecto social ya que brinda una fuente alterna de un valioso recurso, el aspecto ambiental al tratar las aguas contaminadas evitando que estas mismas contaminen otros sistemas ecológicos y también el aspecto económico ya que es una alternativa asequible para entidades privadas y gubernamentales.

Además de la reutilización de aguas residuales, también existe la alternativa de utilizar agua de lluvia. La captación de las aguas pluviales es un medio fácil de obtener agua para el consumo humano y para el uso agrícola, donde las limitantes fundamentalmente es el alto costo de inversión inicial y que la cantidad de agua captada va a depender de las condiciones climáticas de la zona (Ortiz et al., s.f.). Ortiz et al., (s.f.), menciona que las ventajas de estos sistemas de captación proveen grandes beneficios: Alta calidad

fisicoquímica de aguas, sistemas independientes a las comunidades, no requiere de energía para la operación y es fácil de dar mantenimiento.

Los sistemas de captación de lluvia (SCALL) es una manera de incorporar el factor de demanda en la lista de consideraciones, ya que, a como menciona Heggen (1998), la demanda es una función y no necesariamente un valor. El ser humano requiere una cantidad variable de agua al día, cuya variable depende del agua disponible; por lo tanto, el usuario del recurso hídrico captado por el SCALL al poder observar inmediatamente el volumen de agua disponible, el factor de demanda cambia ya que crea una concientización contigua (Heggen, 1998).

En el presente proyecto, se busca analizar los parámetros biofísicos de las aguas residuales producidas y las aguas pluviales recogidas dentro del Campus Liberia de la Universidad Nacional de Costa Rica. Las aguas residuales son tratadas en la misma sede y el agua de lluvia es recogida por los techos de la infraestructura de la Universidad.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Evaluar las aguas residuales producidas y las aguas pluviales recogidas en el sistema de captación de lluvia en el Campus Liberia, Universidad Nacional de Costa Rica para su aprovechamiento futuro en proyectos relacionados al Plan de Gestión Ambiental Institucional (PGAI).

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar mediante análisis fisicoquímicos si las aguas pluviales recolectadas en el sistema de captación de lluvia del Campus Liberia son aptas para aprovecharlas en distintos proyectos del PGAI.
- Determinar mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos si las aguas residuales del Campus Liberia de la Universidad Nacional de Costa Rica son aptas para aprovecharlas en distintos proyectos del PGAI.
- Comparar los resultados de los parámetros biofísicos de las aguas residuales y pluviales del Campus Liberia de la Universidad Nacional de Costa Rica según los parámetros establecidos en el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N.º 33601.
- Generar recomendaciones a partir de los análisis de aguas residuales y pluviales para el aprovechamiento de estas aguas en los proyectos del PGAI, Campus Liberia.

3. Antecedentes

Es conocido actualmente, que el planeta ha estado sufriendo cambios drásticos por actividades antropogénicas sin gestión alguna. Estas actividades perjudicantes van desde el uso de combustibles fósiles en distintos sectores, hasta la poca conciencia general que tienen las personas. Para el año 2021, las Naciones Unidas advirtió que el planeta se enfrenta a una triple emergencia asociada al cambio climático, la contaminación y la pérdida de biodiversidad (Planelles, 2021). Se han realizado esfuerzos para disminuir y detener el deterioro del planeta, sin embargo, este autor menciona que según el análisis de PNUMA ninguno de los objetivos mundiales ha logrado cesar la degradación. Entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), una de las metas para el 2030 es reducir a la mitad la cantidad de aguas residuales sin tratar y a su vez, aumentar considerablemente la reutilización de esta misma (Moran, 2015). Por lo tanto, la reutilización de las aguas residuales es un nuevo compromiso de la sociedad para combatir estas emergencias globales.

El interés de combatir las problemáticas ambientales también se presenta a nivel nacional, donde se han tomado decisiones a favor de la protección del medio ambiente ya que es considerado un bien en distintos ejes de la sociedad (González & Aramburo, 2017). Este autor menciona que históricamente en el país la expansión de la agricultura empresarial ha generado una serie de consecuencias en la biodiversidad en el país, fundamentalmente por la deforestación. La sociedad civil incidió en la generación de políticas que protejan el sector forestal, hídrico, la conservación de mares y su biodiversidad, entre otros; además en la planificación y ordenamiento de cuencas para mejorar la gestión de los recursos naturales, esto según González y Aramburo, (2017). Tampoco es necesario ir tan lejos en la historia de Costa Rica para observar que los costarricenses han luchado a favor de la conservación de los recursos, ya que en el 2019, más de 14 mil familias realizaron una campaña en contra de la pesca de arrastre (Garza, 2019).

A nivel de tratamiento de aguas residuales, el Estado de Costa Rica creó un nuevo modelo institucional para la gestión ambiental con el Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE); y como consecuencia han surgido otras entidades como el Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible (ProDUS) de la Universidad de Costa Rica (González & Aramburo, 2017). Estos autores mencionan que ProDUS ha realizado trabajos importantes como un estudio hidrológico del cantón central de Alajuela y el sistema de tratamiento de aguas residuales de esta municipalidad. También se han generado otros programas como el Programa Bandera Azul Ecológica Certificación para Sostenibilidad Turística, que han abordado también la temática de aguas residuales.

La Universidad Nacional de Costa Rica también ha realizado esfuerzos respecto a las aguas residuales, teniendo una serie de plantas de tratamiento: planta de tratamiento de aguas residuales Omar

Dengo, planta de tratamiento de aguas residuales Campus Benjamín Núñez: Escuela de Medicina Veterinaria, planta de tratamiento de aguas residuales Campus Benjamín Núñez: Escuela de Ciencias del movimiento humano y calidad de vida, planta de tratamiento de aguas residuales Campus Coto, planta de tratamiento de aguas residuales Campus Liberia, planta de tratamiento de aguas residuales Campus Pérez Zeledón (Rojas et al., 2018). Respecto a la planta de tratamiento de aguas residuales del Campus Liberia, esta planta deberá cumplir con los requisitos para reutilizar las aguas tratadas en riego de tipo 1 según el Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales N.º 31545-S-MINAE (*Descripción Del Objeto Del Contrato, Condiciones Especiales y Especificaciones Técnicas de La Construcción de La Primera Etapa Campus Universitario Sede Liberia*, 2009). También se especifica que esta planta de tratamiento en específico dará tratamiento a 60m³/día de agua residual.

Según este informe de la Vicerrectoría de Desarrollo, la planta de tratamiento de aguas residuales del Campus Liberia tiene la particularidad que posee un sistema aeróbico lo cual provee los siguientes beneficios: alta eficiencia en el proceso de tratamiento, impacto ambiental mínimo, ausencia de malos olores, no altera la estética de la institución, y fácil de operar y manejar. Características del diseño de la planta son: cajas de rejillas, aliviaderos de entrada, vertedero, tanque de aireación secundaria, sedimentador secundario (acelerado), digestor de lodos, lechos de secado, pila de cloración o tanque de desinfección, caseta de sopladores.

Además de la planta de tratamiento de aguas residuales del Campus Liberia, esta sede de la Universidad Nacional también posee un sistema de captación de lluvia. Este SCALL tiene un almacenamiento total de 300m³, cuya recolección de aguas es principalmente de los techos de la misma institución. Este reservorio tiene la particularidad que además de la entrada de agua fluvial, tiene una entrada de agua de la planta de tratamiento (**Anexo 1**).

3.1. Área de Estudio

Las condiciones climáticas del área de estudio responden al distrito al que pertenece, ergo, las condiciones climáticas utilizadas son aquellas de Liberia. Basado en un análisis estadístico realizado por Weather Spark (2021), utilizando informes climatológicos desde el 1 de enero de 1980 al 31 de diciembre de 2016, las condiciones respecto a la temperatura varían entre 24°C a 35°C. Según este informe las condiciones de la lluvia en esta zona tienen la singularidad que la mayor parte de la precipitación se concentra entre setiembre y octubre con una acumulación total promedio de 190mm. La temporada de lluvia dura aproximadamente 8.0 meses, comenzando el 12 de abril al 14 de diciembre y el periodo seco dura 4.0 meses (*Liberia Climate, Weather By Month, Average Temperature (Liberia, Costa Rica)* - Weather Spark, s.f.).

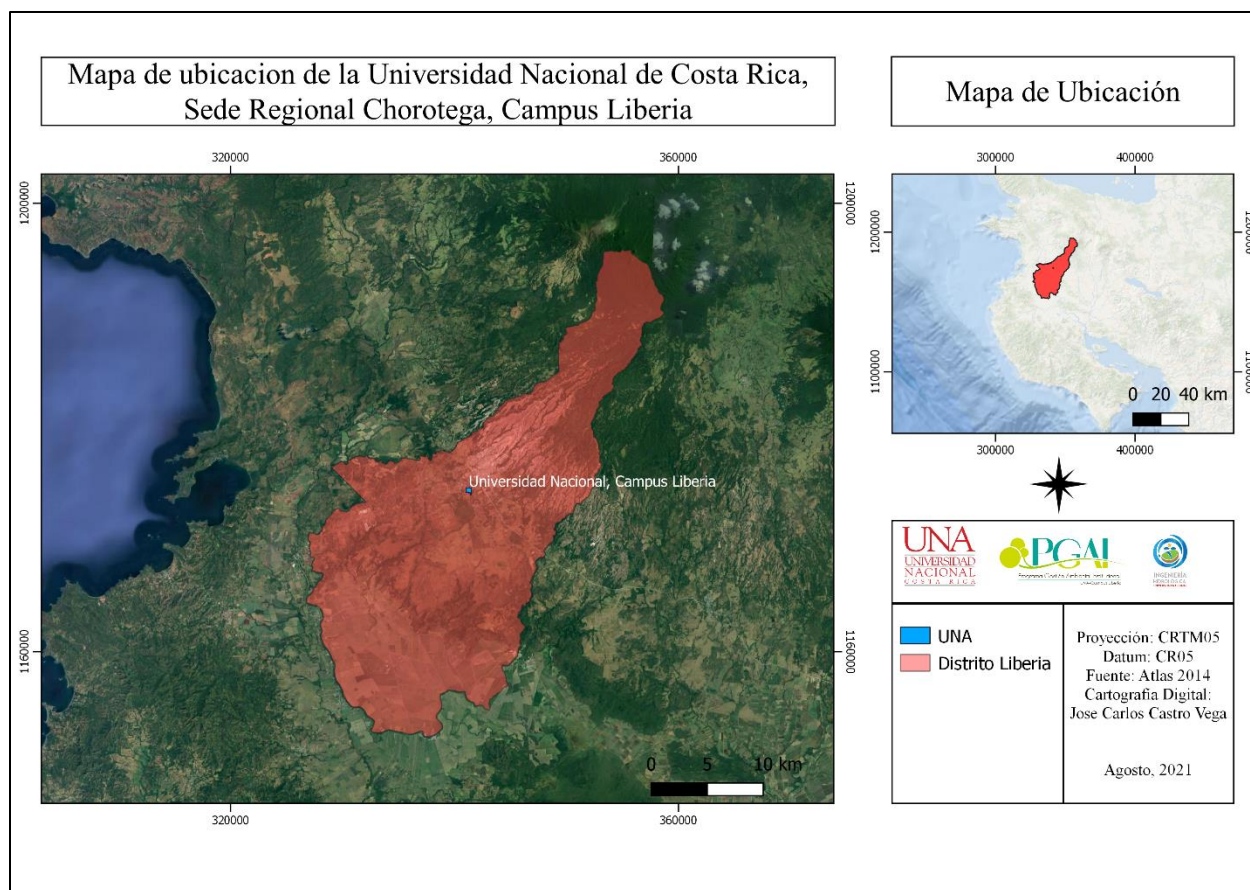


Figura 1. Mapa de ubicación de la Sede Regional Chorotega, Campus Liberia de la Universidad Nacional de Costa Rica.

4. Metodología

Se busca reutilizar estas aguas en un vivero, y para esto se utilizará los parámetros establecidos según el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N.º 33601, que son el Caudal, Coliformes Fecales, Nemátodos Intestinales, DBO, DQO, Potencial de Hidrógeno (pH), Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendidos Totales y Temperatura. Para las aguas fluviales del sistema de captación de lluvia, los análisis realizados son: DBO, Nitritos, Nitratos, Nitrógeno Amoniacal, Fosfatos, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendidos Totales, pH, y Temperatura.

4.1. Aguas Residuales

4.1.1. Muestreo de Aguas Residuales

El muestreo para las aguas residuales fue realizado de manera compuesta. Las muestras fueron realizadas a partir de las 9:30am hasta las 11:00am, realizando muestras en un periodo de 30min. Esto con el objetivo de tomar mediciones representativas de la planta de tratamiento de aguas residuales, ya que, en

teoría, estas aguas están en circulación. Las muestras fueron tomadas desde la salida de la planta de tratamiento, ya que las aguas de interés son aquellas ya tratadas. El muestreo fue realizado utilizando un balde amarrado con una cuerda, el cual se bajaba para recolectar las muestras y trasladarlas a envases oscuros tomando en cuenta el DBO.

4.1.2. Análisis de Aguas Residuales

Los análisis para las aguas residuales realizadas están fundamentados en el Reglamento N.º 33601, por lo tanto, a continuación, se lista todos los parámetros a analizar, la metodología a utilizar, el límite establecido por el reglamento mencionado y observaciones en dado caso que sea necesario. Cabe mencionar, que además de los análisis establecidos por el reglamento, también se realizaron análisis de nutrientes como Nitratos, Nitritos, Amoníaco y Fosfatos ya que estos son nutrientes que tiene un rol importante en la agricultura. Los análisis fisicoquímicos fueron realizados en el laboratorio de la extensión de la Universidad Nacional, Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe (HIDROCEC).

Cuadro 1. Metodologías utilizadas y Límites según el Reglamento N.º 33601 de los parámetros a analizar en las aguas residuales del Campus Liberia, de la Universidad Nacional de Costa Rica.

Parámetro	Metodología Utilizada	Límite según el Reglamento N.º 33601	Observaciones
Caudal	-	-	-
Coliformes Fecales	Análisis realizado por laboratorio privado (Bioanalítica)	1000, 1000 y 10000 (NMP / 100mL)	Los límites abordan el tipo de reuso 1, 3 y 4 respectivamente.
Nematodos Intestinales	Análisis realizado por laboratorio privado (Bioanalítica)	1 (Promedio de N.º de huevos por litro)	-
DBO	Método por Electrodo de Membrana	50 mg/L	-
DQO	Análisis realizado por laboratorio privado (Bioanalítica)	150 mg/L	-
pH	Utilización de multiparámetro	5 - 9	-
Solidos Sedimentables	Método Gravimétrico	1 mL/L	-

Solidos Suspendidos Totales	Método Gravimétrico	50 mg/L	-
Temperatura	Utilización de multiparámetro	Temperatura debe estar entre 15°C y 40°C	-
Grasas y Aceites	Método de Partición Gravimétrica	50 mg/L	-
Sustancias Activas al Azul de Metileno	Análisis realizado por laboratorio privado (Bioanalítica)	5 mg/L	-
Conductividad	Utilización de multiparámetro	-	No está establecido dentro del reglamento
Nitratos	Método Colorimétrico	-	No está establecido dentro del reglamento
Nitritos	Método Colorimétrico	-	No está establecido dentro del reglamento
Amoniaco	Método Colorimétrico	-	No está establecido dentro del reglamento
Fosfatos	Método Colorimétrico	-	No está establecido dentro del reglamento

Fuente: Adaptación del Manual de Laboratorio: Química Enfoque Ecológico, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, y el Reglamento de Reuso y Vertido de Aguas Residuales N.º 33601. (Baird et al., 2017; D. Rojas & Rojas, 2018).

4.2. Aguas Pluviales

4.2.1. Muestreo de Aguas Pluviales

El muestreo para las aguas pluviales de la universidad, de igual forma que las aguas residuales, fueron muestras compuestas. Fueron cinco muestras en total, sin embargo, este muestreo tiene la particularidad que el tiempo no fue considerado ya que en el reservorio el agua no está en circulación. El muestreo compuesto fue realizado de tal manera que se considerara distintas zonas del reservorio de interés,

basado a criterio propio. Las muestras fueron tomadas utilizando una botella de Van Dorn, en conjunto con un sistema de cuerdas para tanto lograr posicionar la botella en el punto deseado del reservorio y para mantener una profundidad homogénea en la toma de muestra, utilizando nudos representando un estrato en la columna de agua. Los puntos de muestras se pueden observar en el **Anexo 2**.

4.2.2. Análisis de Aguas Pluviales

Para los análisis de las aguas pluviales, los análisis fueron escogidos por criterio propio en conjunto con el supervisor MS.c Ronald Sánchez Brenes. Estos análisis fueron enfocados en los posibles nutrientes presentes en las aguas pluviales y en la demanda biológica de oxígeno, ya que el reservorio también sirve como una zona biológica para las aves de la zona; por lo tanto, existirá un componente biológico en las aguas fluviales captadas. Igualmente, se realizaron análisis físicos in situ, como el pH, temperatura y la conductividad eléctrica; puesto que son parámetros rutinarios en los análisis de aguas, sin importar de la procedencia de la muestra.

Cuadro 2. Metodologías empleadas para los análisis de las aguas fluviales del Campus Liberia, de la Universidad Nacional de Costa Rica.

Parámetro	Metodología Utilizada
DBO	Método por Electrodo de Membrana
Nitratos	Método Colorimétrico
Nitritos	Método Colorimétrico
Amoniaco	Método Colorimétrico
Fosfatos	Método Colorimétrico
pH	Utilización de multiparámetro
Temperatura	Utilización de multiparámetro
Conductividad	Utilización de multiparámetro
Solidos Suspendidos	Método Gravimétrico
Solidos Sedimentables	Método Gravimétrico

Fuente: Manual de Laboratorio: Química Enfoque Ecológico (D. Rojas & Rojas, 2018).

5. Resultados y Discusión

5.1. Aguas Residuales

5.1.1. Resultados

Cuadro 3. Resultados obtenidos de los análisis realizados en las aguas residuales del Campus Liberia, de la Universidad Nacional de Costa Rica.

Parámetro	Resultado	Observación
Caudal	0.218 L/s	Resultado promedio de la muestra compuesta

Coliformes Fecales	24000 NMP/100 mL	Realizado por un laboratorio privado
Nematodos Totales	No detectables	Realizado por un laboratorio privado
DBO	1.48 mg/L	
DQO	102 mg/L	Realizado por un laboratorio privado, y no fue muestreado en conjunto al DBO
pH	8.36	Resultado promedio de la muestra compuesta
Solidos Sedimentables	<0.1 mg/L	Solidos sedimentados estaban por debajo de la medida mínima del cono Imhoff
Solidos Totales	6.5 mg/L	Resultado promedio de las 3 replicas
Temperatura	27.6°C	Resultado promedio de la muestra compuesta
Grasas y Aceites	-	Por la limpieza general de la muestra, no se realizó este análisis
SAAM	0.77 mg/L	Realizado por un laboratorio privado
Conductividad Eléctrica	584.35 μ S/cm	Resultado promedio de la muestra compuesta
Nitratos	119.1 mg/L	-
Nitritos	464 μ g/L	-
Amoniaco	0.82 mg/L	-
Fosfatos	2.5 mg/L	-

5.1.2. Discusión

El aspecto fundamental para tomar en cuenta, a la hora de abordar los resultados obtenidos de los análisis realizados en las aguas residuales, es la pandemia del COVID-19. La Universidad Nacional ha tomado medidas, de tal manera que se pueda reducir los contagios del virus emergente, por lo tanto, la

población estudiantil activa dentro de las instalaciones del campus Liberia ha sido reducida a casi nula; de tal manera que el uso de la planta de tratamiento de aguas residuales en el periodo que se realizaron los muestreos no es representativo al escenario para el cual fue diseñada la planta. De este modo, es menester tener en consideración que los datos generados en la presente práctica profesional supervisada, representa las condiciones de la planta con un uso sumamente reducido.

Además del factor de la pandemia, también es importante considerar que hubo análisis que fueron realizados por un laboratorio privado. Esto implica que tanto la fecha, la metodología e instrumentos utilizados, pueden llegar a variar o tomar un sesgo diferente entre los resultados de los análisis. Los análisis realizados por cuenta propia fueron: Caudal, DBO, pH, Sólidos Sedimentables, Sólidos Totales, Temperatura, Conductividad Eléctrica, Nitratos, Nitritos, Amoníaco y Fosfatos. Por lo tanto, el estudio del DQO, Coliformes Fecales y Nematodos Totales, fueron realizados por el laboratorio privado.

Considerando esos dos elementos, se procede a realizar el análisis y comparación de los resultados con los límites establecidos por el Reglamento de Reuso y Vertido de Aguas Residuales N.º 33601. Primeramente, ya que dicho reglamento no considera nutrientes como Nitratos, Nitritos, Amoníaco y Fosfatos, se toma como base el Reglamento para la Calidad de Agua Potable. En el caso de Nitratos, este nutriente tiene una elevada concentración en las aguas depuradas por la planta, sin embargo, esta naturaleza es esperada. Ya que el Nitrato tiene como fuente la materia fecal, la descomposición de materia orgánica o compost (Brown & Rodríguez, 2013). Además, cabe destacar que la planta está expuesta a muchos árboles y a fauna local. El encargado de la planta de tratamiento comentaba durante el muestreo, que caía muchas hojas a la planta y que hubo un caso donde una iguana también cayó. En el caso de los Fosfatos presentes, por parte de las laboratoristas en HIDROCEC, ellas comentaban que salió un poco alto. Pero la presencia de Fosfatos en las aguas residuales puede ser debido al uso exhaustivo de químicos de limpieza como detergentes, jabón de manos, entre otros; esto precisamente por las medidas tomadas para prevenir el COVID-19. Respecto al Nitrito y Amoníaco, estos nutrientes salieron bajos en comparación a los otros dos nutrientes.

El caudal de la planta fue calculado mediante la fórmula de Vertederos Triangulares. Nuevamente, tomando en cuenta la condición de pandemia, el caudal de salida de agua depurada en la planta es sumamente baja. Incluso al realizar dicho cálculo en la entrada de la planta, es aproximadamente 0 L/s. Sin embargo, según MS.c Álvaro Baldioceda, el caudal de diseño establecido para la planta de tratamiento es de 60 m³/día. Este dato es de suma importancia, el cual se aborda en el apartado de conclusiones.

Se tomaron los datos de pH, Temperatura y Conductividad Eléctrica in situ, para que estos resultados sean representativos de las condiciones exactas de la planta. Tanto la temperatura como la

conductividad eléctrica se pueden considerar normales para las aguas residuales. La temperatura está dentro del rango establecido por el Reglamento de Reuso y Vertido de Aguas Residuales, y como la conductividad eléctrica no se contempla dentro de dicho reglamento, de nuevo se utiliza como base el Reglamento para la Calidad de Agua potable, que indica que el valor alerta para las aguas potables es de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$; por lo que, considerando que estas aguas son aguas residuales tratadas, pueden considerarse que están en un buen estado respecto a la conductividad. El pH sin embargo, estaba bastante alto (alcalino), lo cual es importante tomar en cuenta ya que en las aguas con un pH alto hace que la forma activa del cloro (Acido hipocloroso) se convierta en ion hipoclorito que posee una baja eficiencia respecto a la desinfección (*¿Sabías Qué Existen Diferentes Tipos de Cloro?*, 2020).

Los Solidos Totales y Solidos Sedimentables dieron valores bastantes bajos, el cual era lo esperado ya que la muestra de agua era bastante limpia, como se observa en el **Anexo 3**. Al realizar el análisis de Solidos Sedimentables, se observó que no había materia suspendida en la columna de agua. Pasado el tiempo necesario para el análisis, la cantidad de residuo en el fondo del cono Imhoff era despreciable por lo tanto se reporta que para este análisis el resultado es $< 0.1 \text{ mg/L}$. Tanto los Solidos Totales y Solidos Sedimentables, están muy por debajo del límite establecido por el Reglamento N.º 33601. Considerando la calidad de agua, se tomó la decisión de no realizar el análisis de Grasas y Aceites. Ya que la muestra estaba bastante limpia en estas características físicas. Por lo tanto, para detectar algún valor en este análisis hubiera sido necesario utilizar un gran volumen de muestra lo cual se considera que no es necesario.

Entre la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), existe una gran diferencia entre los resultados obtenidos. Como se mencionó anteriormente, la muestra utilizada fueron diferentes para estos dos análisis. Además de la diferencia de muestras, metodologías e instrumentos utilizados, las condiciones de la planta eran diferentes en el día del muestreo. Cuando se realizó el muestreo de DBO, la salida de la planta de tratamiento estaba casi llena; en cambio el muestreo para la DQO, la salida estaba bastante vacía en comparación a su contra parte. Ambos análisis corren el riesgo de sufrir interferencias por distintos compuestos dentro del agua. Según Baird et al., (2017), para el caso de la DBO, existen microorganismos que oxidan formas de nitrógeno ejerciendo una demanda de nitrógeno, por lo tanto, la demanda de oxígeno medida en un caso donde el nitrógeno está causando una interferencia es la suma entre la demanda de carbono y nitrógeno. Para la DQO, el ion que interfiere en el procedimiento es el cloruro, pero además del ion cloruro, es necesario tomar en cuenta la presencia alta de nitratos y la de nitritos, ya que ambos compuestos son oxidantes el cual influye específicamente en la demanda o consumo químico de oxígeno el cual no aporta en la demanda o consumo biológica de oxígeno (Baird et al., 2017). Sin embargo, a pesar de la gran diferencia entre ambos análisis, los dos están dentro de lo admisible según el Reglamento N.º 33601.

Finalmente, en los análisis microbiológicos de las aguas residuales, no se detectaron Nematodos en las aguas, pero si se encontró una cantidad alta de Coliformes Fecales. Esta gran presencia de Coliformes puede ser por el pH del agua, ya que como se mencionó anteriormente, aguas alcalinas no permiten que el cloro desinfectante tenga un rendimiento adecuado. En este parámetro específicamente, las aguas no están en el rango permisible para ser reutilizadas en actividades de tipo 1, 3 y 4 (1000, 1000 y 10000 NMP/100mL, respectivamente).

5.2. Aguas Pluviales

5.2.1. Resultados

Cuadro 4. Resultados obtenidos de los análisis realizados en las aguas pluviales del Campus Liberia, de la Universidad Nacional de Costa Rica.

Parámetro	Resultado	Observaciones
DBO	16.18 mg/L	-
Nitratos	1.7 mg/L	-
Nitritos	6 µg/L	-
Amoniaco	0.02 mg/L	-
Fosfatos	0.99 mg/L	-
pH	6.7	Resultado promedio de la muestra compuesta
Temperatura	26.9 °C	Resultado promedio de la muestra compuesta
Conductividad Eléctrica	29.90 µS/cm	Resultado promedio de la muestra compuesta
Solidos Sedimentables	< 0.1 mg/L	Los sólidos sedimentados estaban por debajo de la medida mínima del cono Imhoff
Solidos Totales	16.3 mg/L	Resultado promedio de las 3 replicas

5.2.2. Discusión

Para el reservorio de agua pluvial del Campus Liberia, se realizó el análisis de Demanda Biológica de Oxígeno, ya que a como se había mencionado anteriormente, este reservorio funciona también como hogar para distintas plantas acuáticas, peces y aves. Este parámetro es indispensable para determinar la calidad del agua de cuerpos naturales como ríos, lagos y lagunas, ya que este dato se utiliza como una medida de contaminación orgánica, como una base para estimar el oxígeno necesario para los procesos biológicos y como un indicador del rendimiento de estos mismos (Glynn & Heinke, 1999). El valor obtenido para el DBO es aproximadamente 11 veces mayor que el medido en las aguas residuales del Campus, lo cual era esperado dada la presencia de distintos animales y plantas. Además, la presencia de estos organismos, indica

también la presencia de microorganismos como bacterias y protozoos, ya que debe existir especímenes descomponedores de materia orgánica; lo cual aumenta también el valor de DBO.

En conjunto al supervisor MS.c Ronald Sánchez Brenes, se decidió realizar un estudio de nutrientes para poder generar datos y observar la calidad del agua pluvial recolectada. Los resultados obtenidos de Nitratos, Nitritos, Amoníaco y Fosfatos son bastantes bajos. Por lo tanto, estas aguas poseen una carga baja de nutrientes. Sin embargo, estos nutrientes tienen una tendencia de disminuir en su concentración al pasar por la cobertura forestal (Ospina-Zúñiga & Ramírez-Arcila, 2014). Considerando que el reservorio pluvial del Campus Liberia está rodeado completamente por vegetación, entonces puede existir una absorción de nutrientes por parte de la vegetación terrestre. No obstante, hay suficientes nutrientes en el reservorio para que se dé la floración de plantas acuáticas.

De manera similar a las aguas residuales, se realizaron análisis in situ. La conductividad eléctrica para estas aguas es bastante baja, lo cual indica una presencia baja de sales en el agua. Respecto al pH, según Ospina-Zúñiga y Ramírez-Arcila (2014), aquellas aguas pluviales con un pH mayor a 5.6, se consideran como lluvia no ácida. Además, este autor menciona que la lluvia con pH bajo presenta dicha característica fisicoquímica dado a la presencia de óxidos de azufre y nitrógeno; lo cual fundamenta la baja presencia de compuestos nitrosos como Nitratos, Nitritos y Amoníaco, en las aguas del reservorio pluvial.

Respecto a los sólidos sedimentables observados en la muestra, estos estaban por debajo de la medida mínima del cono Imhoff. Los sólidos totales dieron como resultado un valor más alto en comparación a las aguas residuales del campus, pero puede ser debido a la exposición que tiene el reservorio a sedimentos traídos por la escorrentía; ya que el reservorio no solamente es alimentado por el agua recolectada por los techos de la Universidad. De igual manera, se considera que, en este aspecto, las aguas pluviales recolectadas están en buen estado.

5. Conclusiones

A nivel fisicoquímico, las condiciones de las aguas residuales en estudio se encuentran dentro del rango permisible, sin embargo, a nivel microbiológico no lo están. Es de suma importancia realizar estudios para estimar una razón posible de este estado. Por lo tanto, se determina que estas aguas no están aptas para el reuso urbano, reuso agrícola en cultivos de alimentos que no se procesan previo a su venta o reuso agrícola en cultivos de alimentos que se procesan previo a su venta. Sin embargo, si se pueden reutilizar en un uso paisajístico, el cual el Reglamento N.º 33601 lo define como: El aprovechamiento estético donde el contacto con el público no es permitido.

El agua pluvial recolectada en el reservorio del Campus Liberia de la Universidad Nacional, si se considera apta para ser utilizada. Esto considerando la baja conductividad eléctrica y su pH neutro. Por la baja concentración de nutrientes presentes en el agua, si se ve en la necesidad de utilizar fertilizantes para el cultivo de plantas, ya sea para alimentos u ornamentales. Cabe destacar que, por la presencia de animales en el reservorio, es importante realizar un estudio microbiológico de estas aguas.

Es necesario continuar con los análisis realizados en las aguas residuales tratadas por la planta del Campus Liberia, ya que, con un conjunto de datos, no es suficiente para determinar si estas aguas son viables para la reutilización a largo plazo; además, es importante destacar que los datos generados a partir de esta práctica profesional supervisada son preliminares. Ya que las condiciones del periodo de muestreo y análisis, no es representativa por la situación de la pandemia del COVID-19. Se recomienda que estos análisis se realicen cada bimestre, a pesar de que el reglamento indique que por el caudal de diseño de la planta ($60 \text{ m}^3/\text{día}$), estos se deben realizar semestralmente. Esta recomendación se da a partir de la necesidad de tener un conjunto de datos confiables, por lo tanto, si se cumple con el periodo semestral, entonces el volumen de datos generados es muy poco para analizarlos estadísticamente.

De igual manera, se recomienda realizar los análisis a las aguas pluviales con la misma periodicidad que con las aguas residuales. Esto con el mismo objetivo, de poder generar un volumen de datos decentes para poder analizarlos estadísticamente. Además, al tener datos de dicho reservorio, esto puede ser utilizados en un futuro por estudiantes de la Universidad Nacional u otras universidades.

Finalmente, se hace hincapié en que lo más recomendable para los análisis, es que todos se hagan con la misma muestra. Se debe evitar utilizar diferentes muestras para diferentes análisis, ya que, a partir de aquí, ya existe un margen de error en los datos generados y es muy difícil de compararlos. Por lo tanto, esta recomendación queda para los encargados de tanto la planta de tratamiento como el reservorio de agua pluvial.

6. Bibliografía

ASALE, R.-, & RAE. (2021). *Pluvial / Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/pluvial>

Baird, R., Eaton, A., & Rice, E. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater* (Vol. 23). American Public Health Association.

Brown, E., & Rodríguez, M. (2013). *Recursos para Agricultores: Nitrato en el Agua Potable*. Water Boards.
https://www.waterboards.ca.gov/centralcoast/water_issues/programs/ag_waivers/docs/spanish_forms/nitratos_en_el_agua.pdf

Descripción del objeto del contrato, condiciones especiales y especificaciones técnicas de la construcción de la primera etapa campus universitario sede Liberia. (2009). Universidad Nacional de Costa Rica.

Garza, J. (2019). *MarViva emprende otra lucha contra la pesca de arrastre*.
<https://www.larepublica.net/noticia/marviva-emprende-otra-lucha-contra-la-pesca-de-arrastre>

Glynn, J., & Heinke, G. (1999). *Ingeniería Ambiental* (2nd ed.). Prentice Hall.

González, H., & Aramburo, D. (2017). *La conciencia ambiental en Costa Rica: Evolución, estado actual y retos y futuros: Sistematización del proceso de mejoramiento de conciencia ambiental en Costa Rica*. Ministerio de Ambiente y Energía.

Heggen, R. (1998). *Rainwater Catchment in a Systems Perspective*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.

Jimenez, B., & Asano, T. (2008). *Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs*. IWA Publishing.

Liberia Climate, Weather By Month, Average Temperature (Liberia, Costa Rica)—Weather Spark. (2021). <https://es.weatherspark.com/y/14907/Clima-promedio-en-Liberia-Costa-Rica-durante-todo-el-a%C3%B1o>

López, C., Buitrón, G., García, H., & Cervantes, F. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño*. IWA Publishing.

Moran, M. (2015). Agua y saneamiento. *Desarrollo Sostenible*.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

Ortiz, M., García, A., Arroyo, J., García, S., Martines, A., Rodríguez, J., & Moreno, J. (n.d.). *Captación de Agua: Fundamentos de eco arquitectura*. Ministerio de Salud.

Ospina-Zuñiga, O., & Ramírez-Arcila, H. (2014). *Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia*. 10.

<http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.812>

Planelles, M. (2021, February 18). *La ONU alerta de una triple crisis: Calentamiento, pérdida de biodiversidad y contaminación*. EL PAÍS. <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2021-02-18/la-onu-alerta-de-una-triple-crisis-ambiental-en-el-planeta-calentamiento-perdida-de-biodiversidad-y-contaminacion.html>

Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales N.º 31545-S-MINAE. (2003). Sistema Costarricense de Información Jurídica.

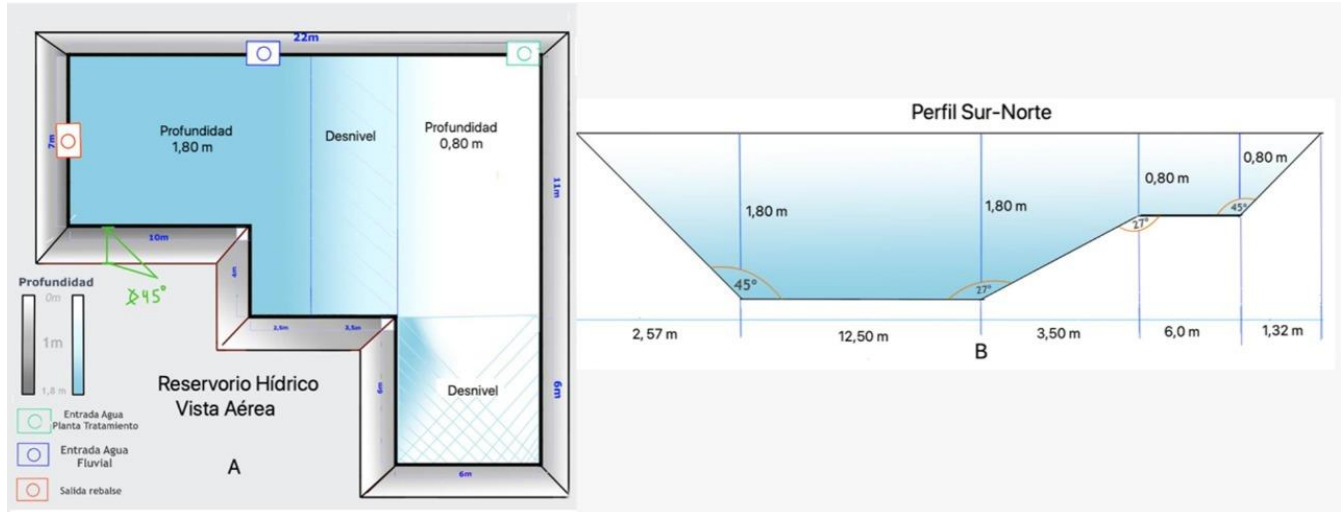
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=52191

Rojas, J., Chavarría, F., Araya, C., & Garita, N. (2018). *Informe anual: UNA Campus Sostenible*. Universidad Nacional de Costa Rica.

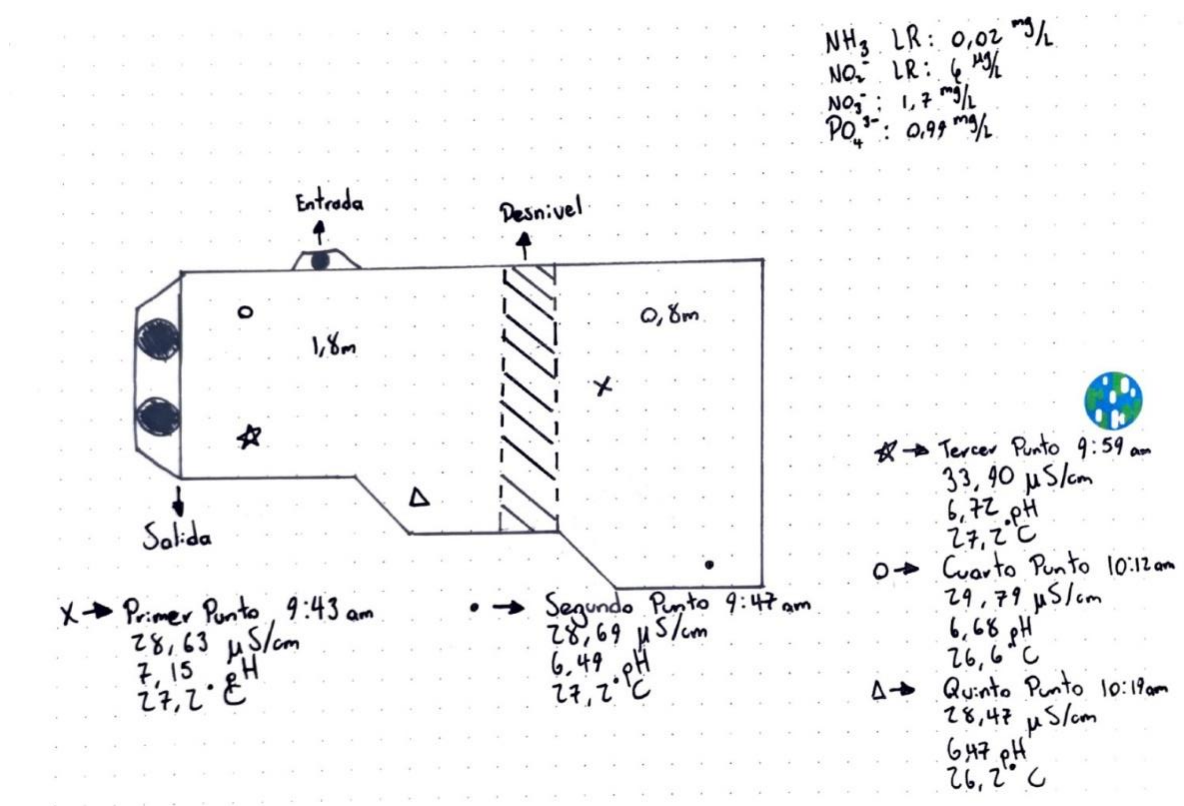
¿Sabías qué existen diferentes tipos de cloro? (2020). <https://www.hannainst.es/blog/1572/Sabias-que-existen-diferentes-tipos-de-cloro>

Winpenney, J., Heinz, I., & Koo-Oshima, S. (2013). *Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

7. Anexo



Anexo 1. Diseño del sistema de captación de lluvia de la Universidad Nacional de Costa Rica, campus Liberia.



Anexo 2. Croquis realizado para la toma de muestra en el reservorio de aguas pluviales de la Universidad Nacional de Costa Rica, campus Liberia.



Anexo 3. Estado cualitativo de las aguas residuales en la salida de la planta de tratamiento de dichas aguas.