

**Determinación de la Concentración de Sulfuros y las Causas de su Generación por las
Actividades Educativas de Docencia e Investigación para los periodos académicos 2019-2 y
2020-1. Caso de estudio en una Institución de Educación Superior (IES) del Valle del
Cauca**

John Jairo Urbano Solarte

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y de Medio Ambiente - ECAPMA

Programa de Ingeniería Ambiental

Cali

2021

**Determinación de la Concentración de Sulfuros y las Causas de su Generación por las
Actividades Educativas de Docencia e Investigación para los periodos académicos 2019-2 y
2020-1. Caso de estudio en una Institución de Educación Superior (IES) del Valle del
Cauca**

John Jairo Urbano Solarte

Trabajo para optar al título de Ingeniero Ambiental

Directora:

Luisa Fernanda Calderón Vallejo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y de Medio Ambiente - ECAPMA

Programa de Ingeniería Ambiental

Cali

2021

Página de Aceptación

Luisa Fernanda Calderón

Luisa Fernanda Calderón Vallejo

Director Trabajo de Grado

Juan Guillermo Popayán

Jurado

Cali-2021

Agradecimientos

A Dios, mi esposa e hijo por ser la fuerza que me impulsa en cada reto, a la Universidad, a mi directora de tesis Luisa Fernanda Calderón Vallejo, por compartir su experiencia y conocimientos en la finalización y formación académica. Gracias a la Coordinación de laboratorios, a mis compañeros y a la Oficina de Salud y Medio Ambiente por su apoyo en el desarrollo de este trabajo.

Resumen

La resolución 0631 de 2015 establece los parámetros y valores máximos permitidos para los vertimientos puntuales en el alcantarillado público, uno de los parámetros es el ion sulfuro (S=) el cual tiene un límite máximo de 1 mg/L, por lo cual se debe realizar la cuantificación anual a través de empresas autorizadas por el IDEAM. En la IES objeto de este trabajo se realizó la caracterización de vertimientos en el periodo Agosto – Octubre del 2018, encontrando un valor superior al permisible para el ion sulfuro, por lo cual, se debió tomar acciones inmediatas para la identificación de las causas y las consiguientes medidas correctivas para disminuir el incremento de dicho ion. Este trabajo modalidad proyecto aplicado, consistió en identificar la red de vertimientos, proponer acciones que disminuyan la concentración del ion sulfuro y determinar a través del tiempo la efectividad de las soluciones midiendo la concentración del ion sulfuro en los periodos académicos 2019-2 y 2020-1.

Se determinó que la Facultad de Ciencias Naturales (edificio L) de la IES, es el lugar donde se llevan a cabo la mayoría de las prácticas de laboratorio y por tanto el principal generador de sulfuros, se identificó que esta área cuenta con dos tanques de homogenización, que reciben los vertimientos de docencia e investigación; al cuantificar el ion sulfuro en ambos tanques se pudo evidenciar que este parámetro estaba por encima del límite permitido por lo que las acciones correctivas se encaminaron en este sector.

Al implementar un mantenimiento más profundo (retiro de lodos y lavado), se obtuvo un impacto positivo en la disminución del ion sulfuro, sobre todo para el tanque de investigación, el cual paso de 3,3 mg/L en las mediciones iniciales a valores menores a 1 mg/L de manera constante durante el periodo de evaluación de las acciones. Para la caja de docencia también se obtuvo resultados similares con el proceso de limpieza realizado, pero se tuvo un pico de 2,5 mg/L del ion meses después, que estuvo relacionado con el número de ensayos realizados en la facultad y tratamiento de desechos líquidos, identificando una nueva causa que impacta el aumento del parámetro de seguimiento, el cual fue atenuado con la evacuación por ciclos de las descargas de los residuos líquidos tratados.

Palabras clave: descargas líquidas, dragado, sulfuro, límites permitidos, lodos.

Abstract

Resolution 0631 of 2015 establishes the parameters and maximum values allowed for specific discharges in the public sewer system, one of the parameters is the sulfur ion (S^{2-}) which has a maximum limit of 1 mg / L, for which it must carry out the annual quantification through companies authorized by IDEAM. In the IES where this research is held, the characterization of discharges was carried out in the period August - October 2018, finding a value higher than the permissible value for the sulfide ion, thus immediate actions had to be taken to identify the causes and the consequent corrective measures to reduce the increase of said ion. This work, an applied project modality, consisted of identifying the drainage network, proposing actions that reduce the concentration of the sulfide ion and determining the effectiveness of the solutions over time by measuring the concentration of the sulfide ion in the academic periods 2019-2 and 2020. - 1.

It was determined that the Faculty of Natural Sciences (building L) of the IES is the place where most of the laboratory practices are carried out and therefore it is the main generator of sulfides, it was identified that this area has two homogenization tanks, which receive educational and research discharges; when quantifying the sulfur ion in both tanks it was possible to determine that this parameter exceeded the permitted limit, hence corrective actions were directed in this sector.

By implementing a deeper maintenance (removal of sludge and cleaning), a positive impact was obtained in the decrease of the sulfide ion, especially for the research tank, which went from 3.3 mg / L in the initial measurements to values less than 1 mg / L constantly during the evaluation period of the actions. Similar results were also obtained for the teaching box with the cleaning process carried out, but there was a peak of 2.5 mg / L of the ion months later, which was related to the number of tests carried out in the faculty and waste treatment liquids, identifying a new cause that impacts the increase in the monitoring parameter, which was attenuated with the cyclical evacuation of the discharges of treated liquid waste.

Keywords: liquid discharges, dredging, sulfur, permitted limits, sludge.

Tabla de contenido

Resumen	5
Abstract	6
Lista de tablas.....	9
Lista de figuras	10
Lista de anexos	12
Lista de ecuaciones.....	13
Glosario	16
1. Introducción	18
2. Problema.....	21
2.1. Descripción del Problema	21
2.2. Planteamiento del Problema.....	22
2.3. Sistematización del Problema	25
3. Justificación.....	27
4. Marco de Referencia	30
4.1. Antecedentes y Estudios Previos.....	30
4.2. Marco Normativo	35
4.3. Marco conceptual y teórico	38
5. Objetivos	41
5.1. Objetivo general	41
5.2. Objetivos específicos.....	41
6. Metodología	42
6.1. Flujo de plan de trabajo.....	42

6.2.	Descripción del área de estudio.....	43
6.3.	Plan de monitoreo y recolección de muestras	43
6.4.	Toma, preservación de la muestra.....	45
6.5.	Determinación del ion sulfuro por titulación	47
6.6.	Planteamiento para evitar formación del ion.....	51
7.	Resultados y análisis	52
7.1.	Diagnóstico de la red de vertimientos de residuos líquidos en la facultad de ciencias naturales de la IES.....	52
7.2.	Desarrollo del plan de seguimiento y análisis con los resultados obtenidos en las muestras de los tanques de homogenización de docencia e investigación.....	56
7.3.	Comportamiento del ion sulfuro	57
7.4.	Causas que incrementan la generación de ion sulfuro	61
7.5.	Medidas Tomadas para disminuir la concentración del ion sulfuro.....	69
8.	Conclusiones.	73
9.	Recomendaciones.....	74
	Bibliografía.....	75
	Anexos.....	79

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Efectos de la exposición a H₂S en el aire</i>	34
Tabla 2 <i>Leyes relacionadas con el recurso hídrico en Colombia</i>	35
Tabla 3 <i>Decretos relacionados al manejo de vertimientos del recurso hídrico en Colombia</i>	36
Tabla 4 <i>Resolución relacionada con los vertimientos a alcantarillados en Colombia</i>	37
Tabla 5 <i>Plan de muestreo y análisis para recopilación de datos.</i>	44
Tabla 6 <i>Espacios de laboratorios del edificio L vinculados al tanque de homogenización de investigación</i>	54
Tabla 7 <i>Espacios de laboratorios del edificio L vinculados al tanque de homogenización de docencia.</i>	55
Tabla 8 <i>Resultados de análisis del ion sulfuro</i>	56
Tabla 9 <i>Número de estudiantes de la IES.</i>	59
Tabla 10 <i>Consumo de detergente Extrán® MA 02 neutro en el edificio L.</i>	62
Tabla 11 <i>Consumo de detergente Deter rax o Proqui 100 en el edificio L</i>	62

Lista de figuras

Figura 1 <i>Número de ensayos de laboratorio para programas de pregrado.</i>	19
Figura 2 <i>Cuarto de lavado de material.</i>	24
Figura 3 <i>Estudiantes inscritos en las diferentes prácticas de laboratorio.</i>	28
Figura 4 <i>Empacado y rotulado de residuos líquidos peligrosos</i>	31
Figura 5 <i>Sulfato Reducción en la Degradación de la Materia Orgánica.</i>	40
Figura 6 <i>Diagrama de flujo sobre el plan de trabajo</i>	42
Figura 7 <i>Tanques de homogenización y caja de registro o control.</i>	43
Figura 8 <i>Muestreadores</i>	45
Figura 9 <i>Toma de muestra en caja registro docencia.</i>	46
Figura 10 <i>Frascos schott con las muestras tomadas de las cajas de registro de docencia e investigación.</i>	47
Figura 11 <i>Titulación de muestras.</i>	50
Figura 12 <i>Plano de red de vertimientos del primer piso del edificio L de la IES.</i>	53
Figura 13 <i>Comportamiento del ion sulfuro en la caja de docencia.</i>	57
Figura 14 <i>Comportamiento de ion sulfuro de la ca de investigación</i>	59
Figura 15 <i>Comportamiento del pH en los valores reportados de ion sulfuro en las cajas de docencia e investigación</i>	60
Figura 16 <i>Algunos equipos de autoclavado del edificio L</i>	64
Figura 17 <i>Plano del tanque de homogenización del edificio L</i>	65
Figura 18 <i>Toma de muestras en cajas de registro</i>	65
Figura 19 <i>Matriz de Vester (Federic Vester) para realizar el análisis de la relación de causalidad.</i>	67
Figura 20 <i>Grafica de resultados.</i>	68

Figura 21 <i>Tomas durante el dragado de los vertimientos líquidos contenidos en los tanques de homogenización.....</i>	70
Figura 22 <i>Tomas después del dragado del agua contenida en la caja de homogenización de investigación.....</i>	70
Figura 23 <i>Toma del tanque de homogenización de investigación.....</i>	72

Lista de anexos

Anexo A. Valores máximos permisibles en los vertimientos a los sistemas de alcantarillado público, tomado de la Resolución 0631 del 2015.	79
Anexo B. Resultados del análisis de caracterización de vertimientos de la IES.....	80
Anexo C. Resultados del análisis de sulfuros de la empresa Hidroambiental Ltda	82
Anexo D. Listado de fuentes generadoras de residuos químicos.....	86
Anexo E. Resultados de análisis de sulfuros obtenidos en las cajas de docencia e investigación del edificio L de la IES.....	88

Lista de ecuaciones

Ecuación 1 <i>Molaridad del tiosulfato</i>	48
Ecuación 2 <i>Determinación de la concentración de yodo</i>	49
Ecuación 3 <i>Reporte de sulfuros en mg S⁼/L</i>	49

Sección de Símbolos y abreviaturas

ARnD: Aguas residuales no domésticas

BA: Bacterias Acetogénicas

BM: Bacterias metanogénicas

BSR: Bacterias Sulfato Reductoras

CICAT: Centro de investigación de Cirugía Avanzada

COVID: enfermedad del coronavirus

DQO: Demanda Química de Oxígeno

Extran® MA: detergente líquido, neutro, concentrado

FCN: Facultad de Ciencias Naturales

FCS: Facultad de Ciencias de la Salud

FING: Facultad de Ingeniería

H₂S: ácido Sulhídrico, sulfuro de hidrógeno

H: hidrógeno

H₂O: agua

HS⁼ y HS: sulfuro total

I: yodo

IBQ: Ingeniería Bioquímica.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

IES: Institución de educación superior

INSST: Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo

ISO: Organización Internacional de Normalización

IO₃: yodato

KIO₃: yodato de potásico

LIQ: laboratorio de Instrumentación Química

mL: mililitro

mg S⁼/L: miligramo de ion sulfuro por litro

Na₂S₂O₃: tiosulfato de sodio

NTP: Notas Técnicas de Prevención

O₂: oxígeno molecular

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

ONU-DASE: Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas

pH: Potencial de hidrógeno

RESPEL: El Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos

S⁼: ion sulfuro

S: azufre

SGA: Sistema de Gestión Ambiental

SOMA: Oficina de Salud y Medio Ambiente

SO₄⁼, SO₃⁼: estados oxidados del azufre, sulfato, sulfito

SO₆⁼: tetrionato

TP0153: hace referencia al código del instructivo

UI: Universidad de Indonesia

Glosario

Acción correctiva: Acción tomada para eliminar la causa de una no conformidad detectada u otra situación no deseable.

Acción de mejora: Acción de optimización del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo, para lograr mejoras en el desempeño de la organización en la seguridad y la salud en el trabajo de forma coherente con su política.

Aguas residuales no domésticas: Son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica.

Dragado: Extraer barro, piedras o arena del fondo de un puerto de mar, un río o una corriente para limpiarlo o darle mayor profundidad.

Disposición final: Es el proceso de aislar y confinar los residuos o desechos peligrosos, en especial los no aprovechables, en lugares especialmente diseñados, seleccionados y debidamente autorizados para evitar la contaminación y los daños o riesgos a la salud humana y al ambiente.

Gestión Integral: Conjunto articulado e interrelacionado de acciones de política, normativas, operativas, de planeación, financieras, administrativas, sociales, educativas, de evaluación, seguimiento y monitoreo desde la prevención de la generación hasta la disposición final de los residuos o desechos peligrosos, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades de cada localidad o región.

Riesgo: Combinación de la probabilidad que ocurra una o más exposiciones o eventos peligrosos y la severidad del daño que puede ser causada por éstos.

Resolución 0631 del 2015: Por la cual se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Sulfuros: Combinación de azufre con otro elemento químico más electropositivo; generalmente está presente en minerales como la pirita, la calcopirita, la galena o la blenda. los sulfuros metálicos derivan del ácido sulfhídrico y son cuerpos cristalinos coloreados; los sulfuros alcalinos y alcalinotérreos son solubles en agua y se emplean en análisis químicos

Tratamiento: Es el conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos o desechos peligrosos, teniendo en cuenta el riesgo y grado de peligrosidad de estos, para incrementar sus posibilidades de aprovechamiento y/o valorización o para minimizar los riesgos para la salud humana y el ambiente.

1. Introducción

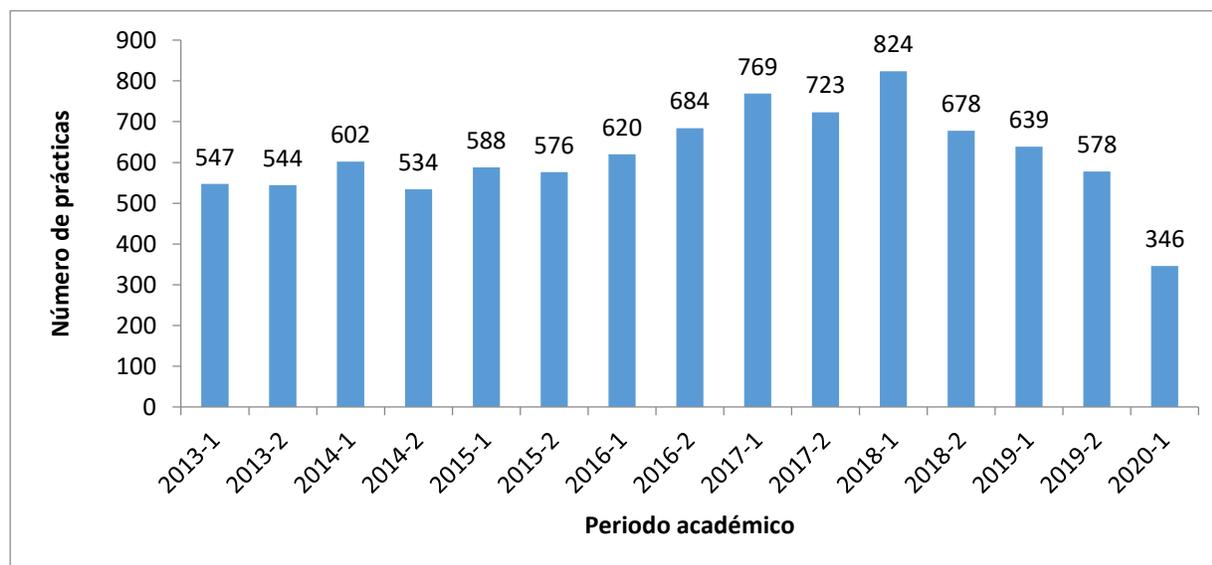
Los laboratorios en las universidades son la herramienta de trabajo y de enseñanza en muchas áreas de la investigación y en la formación profesional, donde se llevan a cabo análisis, controles, descubrimientos, simulación a pequeña escala de procesos industriales, entre otros. Estos espacios proporcionan lo necesario para que los estudiantes materialicen el texto entregado en las guías como también el evaluar los resultados obtenidos.

En los diferentes establecimientos educativos, el desarrollo de componentes prácticos, con finalidades investigativas para estudiantes, docentes e investigadores en general, involucran generación de residuos desde la etapa inicial, que comienza con la limpieza del lugar de trabajo hasta la finalización de dichas prácticas, con la obtención de productos, subproductos y desechos. Es difícil pensar cada etapa en el normal desarrollo de prácticas de laboratorio sin la utilización del agua, ya que, aunque esta no haga parte del ensayo, se utiliza imprescindiblemente en la limpieza del material a usar, motivo por el cual se obtienen residuos líquidos, en los cuales se tienen cargas o diluciones, producto del trabajo realizado.

La facultad de ciencias naturales (edificio L) de la IES objeto del presente estudio dispone de laboratorios equipados con toda la infraestructura necesaria para llevar a cabo las prácticas de diferentes asignaturas como: química, biología, medicina, química farmacéutica, bioquímica, lo que representa una cantidad considerable de ensayos cómo se puede apreciar en la figura 1.

Figura 1

Número de ensayos de laboratorio para programas de pregrado.



Nota. Se observa el número de prácticas de docencia desarrolladas en cada periodo desde el 2013-1 hasta el 2019-2 en las instalaciones del edificio L.

La IES dispone de un reglamento interno estipulado bajo la norma NTP 480 para el manejo de los desechos generados, especialmente los que tienen afecciones al ambiente si no se disponen adecuadamente. Sin embargo, en el informe de la caracterización de vertimientos líquidos, realizado por la empresa Hidroambiental Ltda (laboratorio acreditado para la toma y procesamiento de muestras según Resolución 1818 de agosto 2018 del IDEAM), en agosto-octubre del 2018, fue constatado que, dentro de un conjunto de todos los parámetros analizados que hacen parte de la caracterización de vertimientos líquidos, ciertos parámetros, tales como Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Sedimentables y el Ion sulfuro no se encontraban dentro de los límites permitidos en la resolución 631 del 2015, que especifica los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas (ARnD) al alcantarillado público, en los artículos 15 y 16 estipula los valores relacionados con la actividad educativa que presta las instituciones universitarias en general.

Uno de los parámetros reportados por fuera de los valores establecidos en la normatividad fue el ion sulfuro. Este es tóxico, tanto en disoluciones acuosas como en forma de gases, en la mayoría de los casos producidos por la reducción microbiana del sulfato y la descomposición de materia orgánica (Madigan, et al. 2015). Por este motivo se dio prioridad en el presente proyecto aplicado, a buscar, encontrar y solucionar la causa en la generación del ion sulfuro en los vertimientos líquidos. De igual manera, las acciones correctivas realizadas afectan directamente la cantidad de sólidos presentes al realizar la remoción de los mismos, el comportamiento de este parámetro se revisará en la caracterización anual de vertimientos. Este trabajo tuvo como objetivo el realizar un diagnóstico de las rutas de desagüe del edificio L y determinar la cantidad del ion sulfuro presente en los tanques de homogenización para tener certeza en el valor del ion depositado al alcantarillado municipal por parte de la IES.

2. Problema

2.1. Descripción del Problema

El problema de este trabajo de grado modalidad proyecto aplicado consiste en determinar la procedencia y concentración de ion sulfuro presente en los tanques de homogenización del edificio L de la IES, lugar donde se lleva a cabo gran parte de las prácticas de laboratorio en los periodos académicos 2019-2 y 2020-1. El reporte en las descargas de vertimientos líquidos puntuales en aguas residuales agosto-octubre del 2018 de esta institución, encontró que los valores para Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Sedimentables y el Ion sulfuro, superaban los límites permitidos por el Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015 (anexo A. resolución 0631 del 2015 artículo 15 y 16).

Con el fin de buscar la manera de ajustar el valor del ion sulfuro, se propuso como trabajo de grado modalidad proyecto aplicado en ingeniería ambiental, realizar el monitoreo, análisis del ion sulfuro y elaborar una propuesta de medidas preventivas que permitan ajustar el valor del mismo en los vertimientos del edificio objeto de estudio. Este ion sulfuro es uno de los parámetros que se encontraron por encima del valor permitido establecido por la normatividad, sustancia que por sus características químicas representa una amenaza medioambiental, en la salud de las personas que puedan estar expuestas a los gases. Adicionalmente, la presencia de esta sustancia puede causar daño en las estructuras debido a reacciones con el concreto, hierro y demás componentes que conforman las edificaciones. Dado que el lugar donde se realizan la mayoría de las prácticas de laboratorio de docencia e investigación se encuentran en el edificio de la facultad de ciencias naturales (FCN), la revisión de la red de drenaje, el estudio de la caracterización de los vertimientos, toma de muestras y análisis causales se realizó en torno a esta instalación.

2.2. Planteamiento del Problema

En las Universidades se lleva a cabo el desarrollo de ensayos con el fin de formar a sus estudiantes y realizar aportes o nuevos hallazgos en trabajos de investigación. Es normal para todo este proceso, el manejo de una cantidad considerable de reactivos y productos químicos, sin olvidar el mencionar los equipos, instrumental, vidriería y demás materiales utilizados en cada ensayo donde se generan residuos líquidos y sólidos con su uso (Benitez, 2015).

La IES objeto de estudio, con la Oficina de Salud y Medio Ambiente establece y fortalece el sistema de gestión ambiental. Con respecto a los residuos categorizados como perjudiciales para el medio ambiente, estos se empacan, rotulan y se almacenan en la bodega destinada para este fin, hasta la recolección por la empresa Veolia Aseo Buga S.A contratada para realizar el tratamiento y disposición final.

El valor de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el reporte de caracterización de vertimientos del 2018 que tuvo tres puntos de muestreo y análisis (punto 1,2 y 3); registró 180 mgO₂/L para el punto 1, menor a 81 mgO₂/L para el punto 2 y 556 mgO₂/L para el punto 3 (ver anexo B), mostrando valores dentro de la norma (menor a 225 mgO₂/L) exceptuando el punto 3. Con ello se puede determinar que la cantidad de materia orgánica que circula en los vertimientos es baja. Lo que propone la búsqueda de tanques que puedan contener volúmenes de residuos líquidos y tiempos de sedimentación prolongados.

A continuación se describen procesos que ocurren en el edificio L y que están relacionados con la formación de sulfuros.

2.2.1 Formación de lodos

En el sistema de desagüe que se tiene implementado en el edificio L, se encontraron dos tanques de homogenización, uno que recibe las aguas residuales de laboratorios de docencia y otro las de investigación, haciendo algunas excepciones dependiendo del sistema de distribución que tiene la ubicación de los espacios dentro de la edificación. Los tanques de homogenización, tienen una capacidad de almacenamiento efectiva de 4500 litros y un caudal de ingreso bajo (0,024 L/s aproximado) con estas características el tanque de homogenización funcionaría como un tanque en donde ocurre la digestión de las cargas contaminantes (materia orgánica, sulfatos) generando el incremento de sulfuros producto de actividad microbiana en aguas residuales, por este motivo los tanques de homogenización fueron los lugares de toma de muestra y monitoreo. Se realiza el planteamiento de la pregunta de investigación del proyecto, la cual es: ¿Cuáles son las causas que contribuyen a la formación de sulfuros en los vertimientos, de dónde provienen y como disminuir su concentración? El abordaje de la pregunta de investigación permite el planteamiento de medidas correctivas que puedan ser ejecutadas a fin de disminuir la cantidad generada del contaminante estudiado.

2.2.2 Tratamiento de residuos líquidos

Desde el año 2018, con el trabajo de grado del profesional Jhonner Gutiérrez para optar por el título de magister en ingeniería industrial y quien se desempeña como asistente docente en la facultad de ciencias naturales de la IES, se implementó el proceso para el tratamiento de algunos desechos generados en las asignaturas de farmacotécnia II, análisis químico, control fisicoquímico y microbiológico, pretendiendo buscar algunas posibles alternativas para disminuir la cantidad y los costos que la universidad paga por la disposición de estos desechos. La coordinación de laboratorios de la facultad de ciencias naturales en los periodos académicos

2019-1 y 2019-2 ha tratado residuos clasificados en: disolventes no halogenados, disoluciones acuosas inorgánicas y algunos especiales que contienen baja cantidad de fármacos y agentes oxidantes. La cantidad tratada en estos dos periodos es cercana a los 800 kg y se utilizaron algunas técnicas como neutralización, filtración, precipitación, evaporación, destilación y Fenton (Gutiérrez Pinto, 2018).

2.2.3 Uso de detergentes sulfonados

En el desarrollo de buenas prácticas de laboratorio, es una norma el realizar el lavado adecuado de los materiales utilizados. El detergente Extran MA 02 neutral, Deter rax y Porqui 100 son utilizados como insumo en la remoción de partículas contaminantes en el lavado de material de vidrio y otros implementos manipulados en los ensayos realizados por los estudiantes, investigadores, personal de apoyo y docentes. Estos detergentes tienen sulfatos o sulfonatos de cadena larga. Para asegurar la limpieza eficaz una vez termina el ensayo, el material se envía al cuarto de lavado, sitio que dispuso la universidad para la realización de la limpieza del material utilizado en las prácticas de docencia (véase la figura2).

Figura 2

Cuarto de lavado de material.



Fuente: Autoría propia

2.3.Sistematización del Problema

El cumplimiento de la normativa ambiental al interior de la IES va en armonía con el sistema de gestión ambiental propio, ejemplo a nivel regional en el trabajo realizado en la formación de sus estudiantes y en la conservación de un ambiente sano para las personas y la biodiversidad que habita en el campus, disminuyendo sus impactos ambientales con la implementación de nuevas tecnologías en la gestión uso y ahorro de energía, gestión integral de residuos, uso racional del agua e incorporación de cursos académicos a favor de la sostenibilidad. La IES, está comprometida con el desarrollo sostenible, participa anualmente desde el año 2016, en el Ranking ‘UI GreenMetric’ de la Universidad de Indonesia, el cual mide los esfuerzos en pro de la conservación medioambiental y social que realizan más de 700 universidades a nivel mundial a través de diferentes ejes:

- ✓ Organización e Infraestructura
- ✓ Energía y Cambio Climático
- ✓ Residuos
- ✓ Agua
- ✓ Transporte
- ✓ Educación e Investigación

Con la participación en el ranking y sus resultados, la IES capta suficiente información para ejecutar mejoras en sus procesos actuales y planificar nuevos proyectos. Dentro de la gestión, uso y ahorro del agua se encuentra la gestión adecuada de los vertimientos, la minimización de los impactos ambientales derivados de estas actividades y el cumplimiento legal; anualmente se realiza la caracterización de las aguas residuales generadas por la universidad por un laboratorio externo (Hidroambiental Ltda. acreditado por el IDEAM).

Para la determinación de la procedencia de cargas contaminantes que favorecieron el incremento de sulfuros, se revisó la red de vertimientos conectados a cada tanque de

homogenización, de esta manera se pudo vincular los laboratorios con los resultados obtenidos del ion sulfuro. La determinación del ion en las aguas residuales de los tanques de homogenización, se realizó por el método volumétrico siguiendo el instructivo TP 0153 del IDEAM versión 2 del 2007. Se buscó relacionar las actividades desarrolladas con los valores reportados de sulfuro en las diferentes etapas del periodo semestral. Centrando la atención en los tanques de homogenización donde pueden ocurrir procesos de descomposición microbiana que dan origen al compuesto de interés.

3. Justificación

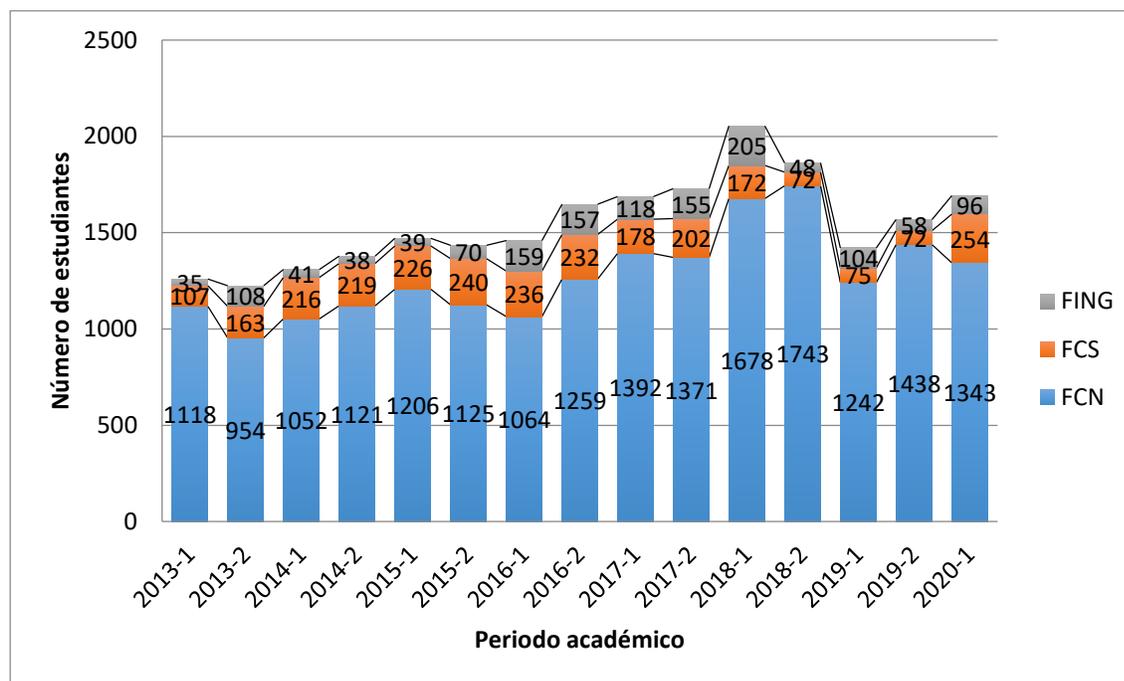
Los modelos educativos en la gran mayoría de universidades a nivel mundial presentan el mismo desafío relacionado con el tratamiento y disposición final de los residuos generados en las prácticas de laboratorio llevadas a cabo en la formación de sus profesionales, lo cual ha conllevado a implementar protocolos de tratamiento y pago a terceros para realizar la disposición final. Para el caso de las instituciones educativas colombianas, se ha visto un avance en el desarrollo de tecnología e infraestructura para el manejo adecuado de los residuos (Green Metric, 2020).

Con la integración de nuevas profesiones académicas relacionadas con la facultad de ciencias naturales (química, biología y química farmacéutica), medicina y bioquímica que integran en su formación el desarrollo de ensayos en el laboratorio, se llevó a cabo la planeación y construcción del edificio L, inaugurado en el año 2008. Con la acogida de estas propuestas de formación profesional se incrementó el número de estudiantes con el paso de los años, las prácticas de laboratorio lo hacen en el mismo sentido. La IES pasó de tener 2.725 en el periodo 2005-1 a 7.067 estudiantes de pregrado y postgrado para el periodo 2020-1 cómo se puede ver en la figura 3, el desarrollo de cada ensayo trae consigo arrastre de compuestos que van a la red de descarga con el lavado de material utilizado o cualquier tipo de manipulación donde se requiere la utilización de los lavaderos ubicados en los laboratorios (Vitousek et al. 1999).

Basados en la norma ISO 14000 e ISO 14001, las organizaciones ajustan su interés por fortalecer y adoptar un sistema de gestión ambiental (SGA) sólido, estipulando los parámetros a cumplir relacionados con los controles que evitarán generar impactos ambientales negativos con el desarrollo de las actividades propias de los programas formativos; debido también a la fuerte regulación que genera el estado en los temas ambientales. La IES, con la Oficina de Salud y Medio Ambiente establece y fortalece el sistema de gestión ambiental.

Figura 3

Estudiantes inscritos en las diferentes prácticas de laboratorio.



Nota. * FING: facultad de ingeniería. *FCS: Facultad de ciencias de la salud. *FCN: Facultad de ciencias naturales

El reporte de la caracterización de los vertimientos líquidos que indicó que ciertos parámetros se encontraban por fuera de la norma, centró la atención de la Oficina de Salud y Medio Ambiente, específicamente sobre la facultad de ciencias naturales, dado que es el lugar donde se realizan las siguientes actividades:

- La mayoría de las prácticas de laboratorio de docencia e investigación.
- Neutralización y tratamiento de ciertos residuos líquidos desde el 2018.
- Lavado de material.
- Proceso de esterilización
- Preparación de medios de cultivo y cultivo vegetal
- Mantenimiento de bacterias y hongos con los que cuenta la universidad.
- Cuenta con tanques de homogenización.

Con el fin de monitorear el comportamiento de ion sulfuro, en la red de vertimientos del edificio L, La oficina de salud y medio ambiente aprueba la realización del presente trabajo de grado centrado en el seguimiento e identificación de la posible fuente del sulfuro generado en torno a esta edificación. Para poder corroborar los valores obtenidos, se contrató a la empresa Hidroambiental Ltda para realizar monitoreo y caracterización de los puntos de muestreo en las ocasiones que se considere necesario en aras de hacer seguimiento y acciones de mejora sobre este parámetro. Los valores encontrados y la relación con las diferentes actividades a lo largo del semestre contribuyen en la identificación del problema planteado.

Esta investigación deja evidencia de la acumulación de lodos y de la actividad microbiana en los tanques de la facultad a través de los años, gracias al reporte de sulfuros generados. Siendo un parámetro guía, para determinar el momento adecuado para realizar el dragado de lodos y lavado de los tanques con el monitoreo de la concentración del ion sulfuro.

4. Marco de Referencia

4.1. Antecedentes y Estudios Previos

Dominguez (2015) señala que “el aire, agua y suelo, ha sido el recipiente receptor de todas las actividades humanas, en un comienzo fácilmente asimilables por el medio ambiente pues tenía la capacidad de hacerlo”. Con el paso de los años y la evolución, los vertidos realizados son tantos que provocan daños severos en los ecosistemas. En el decenio internacional para la Acción ‘El agua fuente de vida’ (2005-2015) el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas ONU-DASE (2013) resalta:

El agua es un recurso fundamental para las diferentes formas de vida en la tierra, en especial para la nuestra con una tasa de crecimiento exponencial. La gestión, conservación y acceso al agua en buenas condiciones es cada vez más difícil sobre todo en los países en desarrollo.

Ubierno et al. (2014), señala que, “en los ecosistemas naturales, los desechos producidos por algunos seres vivos son utilizados (como nutrientes o alimentos) por otros organismos, de modo tal que cíclicamente se reutiliza todo lo que la misma naturaleza produce” (p. 53). El equilibrio se ve afectado cuando los ecosistemas no son capaces de asimilar los residuos generados. Los diferentes residuos pueden provocar diversos impactos en la salud de las personas y del medio ambiente dependiendo de la naturaleza de la que esté constituido (Olvera, 2012).

Las aguas residuales refieren a toda clase de agua afectada de forma negativa de origen antropogénico, su manejo, tratamiento y disposición final adecuada supone el conocimiento de sus propiedades físicas, químicas, biológicas y los efectos sobre el cuerpo receptor, evalúan el tipo de residuo líquido (Benítez et al. 2005). El manejo de productos químicos deriva en la obtención de todo tipo de productos y desechos peligrosos para el medio ambiente (Rodríguez. 2013), comúnmente realizado en las prácticas de laboratorio, reacciones entre reactivos con la

finalidad de obtener un producto, proceso en el cual se generan residuos, subproductos, material de descarte, material contaminado y demás. Berrio et al. (2012), indican textualmente que “Actualmente los residuos líquidos de laboratorios de análisis químicos plantean una problemática que enfrentan distintas entidades públicas y privadas debido al manejo y la gestión integral que requieren” (p, 123).

4.1.1 Clasificación de residuos líquidos

La Oficina de Salud Ocupacional y Medio Ambiente de la IES ha trabajado en la minimización, prevención y aprovechamiento de aquellos reactivos o productos utilizados en los laboratorios que después de realizar su función se convierten en residuos peligrosos (SOMA, 2019). Uno de esos pasos fue el programa de gestión integral de residuos peligrosos, en el cual se clasifica y define el proceso de envasado, almacenamiento y rotulado de los residuos cómo se puede ver en la figura 4, acordes a la NTP 480 desde el 2017 para la entrega al gestor, otra parte de estos son tratados en la facultad desde el 2018.

Figura 4

Empacado y rotulado de residuos líquidos peligrosos



Fuente: Autoría propia

Dentro de una práctica de laboratorio, la limpieza del material empleado, de equipos y lugar de trabajo, hacen parte de las buenas prácticas de laboratorio, las cuales son necesarias para

disminuir la contaminación que puede producir alteración en los resultados, con el fin de evitar las interrupciones en los ensayos de laboratorio. El material utilizado en las prácticas es lavado constantemente por los estudiantes, investigadores, personal encargado, antes, durante (si es necesario) y al final de las prácticas.

4.1.2 Ion sulfuro generado en el tratamiento biológico

Los lodos mantienen la actividad microbiana, ya sea en condiciones aerobias o anaerobias (Fuquene, 2013). El tratamiento biológico que reciben las aguas residuales es un proceso de degradación del material orgánico realizado por microorganismos presente en los lodos de las unidades receptoras (Ramalho, 2003, p. 8). En Standard Methods [4500-S²⁻ SULFIDE], (1995), se indica que “El sulfuro presente en las aguas y los sedimentos son generados por la reducción bacteriana del sulfato y descomposición de materia orgánica” (p. 1). En la guía técnica del IDEAM se indica las posibles maneras en la que se puede encontrar el sulfuro total en los cuerpos de agua:

El sulfuro total incluye el H₂S y HS⁻ disueltos, así como sulfuros metálicos solubles en ácido, presentes en la materia en suspensión. El S⁼ es despreciable y supone menos del 0.5% a pH 12, a menos de 0.05% a pH 11. Los sulfuros de cobre y plata son tan insolubles que no responden a las determinaciones ordinarias del sulfuro; pueden ignorarse para efectos prácticos. La reducción del sulfato por bacterias genera sulfuro como producto final, el cual se disocia y mantiene un equilibrio químico entre S²⁻, HS⁻ y H₂S, controlados principalmente por el pH. (p.1)

Rodríguez (2013) indica que los sulfuros producidos por estas bacterias impactan las funciones fisiológicas de otros organismos acuáticos. Se ha sugerido que el aumento repentino de los niveles de sulfuro en el sedimento o el agua pueden afectar negativamente la fotosíntesis en concentraciones mayores 100 µM (Holmer & Bondgaard, 2001). Estudios sugieren que el sulfuro actúa sinérgicamente con otros factores de estrés tales como la reducción de la luz, la anoxia,

hipersalinidad o las altas temperaturas lo que genera muerte a especies marinas (Nicolle & Brian, 2015).

4.1.3 Afectaciones en estructuras debido a la formación de sulfuros

La presencia del ácido sulfhídrico en cámaras de alcantarillado puede ocasionar daños considerables en la estructura. Argos (2020) señala que el ácido sulfúrico se produce cuando el agua y el sulfuro de hidrógeno se condensan sobre la superficie del concreto en presencia del azufre de las bacterias oxidadas. El concreto normal, es disuelto lentamente por el ácido, lo cual puede resultar en pérdida de secciones y potencial colapso de las estructuras. Los tubos más afectados por la corrosión debida a los sulfuros, son los que contienen cemento en su composición, como son los de hormigón, fibrocemento y fundición, cuya protección interior la proporciona una delgada capa de mortero de cemento. También son afectados por el sulfhídrico y sulfúrico los conductos y las estructuras metálicas. El sulfhídrico reacciona directamente con muchos metales como el hierro y el cobre.

4.1.4 Toxicidad del ion sulfuro en el aire

El Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST, 2019) presenta los “límites de exposición como los valores de referencia para la evaluación y control de los riesgos inherentes a la exposición, principalmente por inhalación, a los agentes químicos presentes en los puestos de trabajo y, por lo tanto, para proteger la salud de los trabajadores” (p.11). En la tabla 1 se pueden apreciar los efectos del sulfuro que escapa a la atmósfera al ser inhalado por el hombre, desde la molestia generada por los olores hasta los riesgos asociados a la salud debido a su alta toxicidad.

Tabla 1*Efectos de la exposición a H₂S en el aire*

Olor		Irritación
<1 ppm	20-100 ppm	100-250 ppm
<p>Olor a huevo podrido</p> 	<p>Irritación en los ojos y vías respiratorias</p> 	<p>Irritación severa de ojos, piel y vías respiratorias: tos, dolor de cabeza, náuseas, pérdida del sentido del olfato.</p> 
Incapacidad del sistema nervioso		
250-500 ppm	500-750 ppm	>750 ppm
<p>Dificultad para respirar, aparición de líquidos en los pulmones, vomito, mareo, pérdida del conocimiento.</p> 	<p>La persona afectada pierde el equilibrio, se vuelve torpe, colapso y pérdida de toda coordinación.</p> 	<p>Muerte en minutos debido a parálisis del sistema respiratorio.</p> 

Fuente: Animación de seguridad, 2014

4.2. Marco Normativo

Teniendo presente que los recursos naturales son finitos y que en algún momento se pueden agotar por los impactos negativos del ser humano, se han adoptado procesos jurídicos para la protección del medio ambiente en los cuales el agua tiene valor económico y de bienestar de los individuos y ecosistemas, véase tabla 2, 3 y 4. Con la constitución de 1991, Colombia tiene una normativa ecológica, en sus artículos 79 y 80 obliga al estado a proteger el medio ambiente, su flora y fauna, promover la educación en pro de los mismos, sancionando a quien incurra en su contra, pero que presenta muchas falencias en su aplicación. En el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010 se dan los lineamientos de política del recurso hídrico. La finalidad fue garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, teniendo en cuenta el ordenamiento territorial y los ecosistemas que regulan la oferta hídrica.

Tabla 2

Leyes relacionadas con el recurso hídrico en Colombia

<i>Ley</i>	<i>Descripción</i>
Ley 2 de 1959	Habla de la economía forestal nacional
Ley 23 de 1973	Por la cual se le dio la facultad al presidente para expedir el decreto 2811 de 1974 que es el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables
Ley 09 de 1979 Código Sanitario	Establece los procedimientos y las medidas para llevar a cabo la regulación y control de los vertimientos.
Ley 99 de 1993	Que es la política nacional ambiental, a raíz de esta se han expedido las diferentes normas vigentes que actualmente regulan medioambientalmente en Colombia
Ley 393 de 1997	Programa para uso eficiente del agua
Ley 1333 de 2009	Marco sancionatorio ambiental.

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019).

Tabla 3*Decretos relacionados al manejo de vertimientos del recurso hídrico en Colombia*

<i>Decreto</i>	<i>Descripción</i>
Decreto-Ley 2811 de 1974	Fija el marco regulatorio para el manejo de los las aguas en cualquiera de sus estados.
Decreto 1594 de 1984	Define los límites permisibles para el vertimiento o descarga de residuos líquidos a un cuerpo de agua o alcantarillado Sanitario.
Decreto 79 de 1986	Conservación y protección del recurso agua
Decreto 901 de 1997	Tasas retributivas por uso directo del agua como receptor de vertimientos puntuales
Decreto 475 de 1998	Normas técnicas de calidad de agua
Decreto 4741 de 2005	Implementación del plan de gestión de residuos peligrosos que va desde su origen hasta su destino final
Decreto 3930 del 2010.	Establece la disposición, ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos en suelos y alcantarillado.
Artículo 28	El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible estipula los parámetros máximos permisibles para los vertimientos puntuales realizados a ecosistemas o cuerpos de agua superficiales.
Artículo 76	Deroga el Decreto 1594 de 1984 excepto art 20 y 21 y fija un régimen de transición legal que deja vigente transitoriamente
Artículos 37 a 48	En los cuales se esbozan los criterios de calidad para destinación del recurso
Artículos 72 a 79	En los que se establecen las normas de vertimientos
Artículos 155, 156, 158, 160, 161	En los cuales se regula todo el tema de los métodos de análisis y de la toma de muestras
	Estudio Nacional del Agua 2010 y 2014: el IDEAM realiza un diagnóstico del recurso hídrico del país y es la línea base de la política y a la fecha.
Decreto 2041 de 2014	Planes de manejo ambiental.

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019).

Tabla 4*Resolución relacionada con los vertimientos a alcantarillados en Colombia*

<i>Resolución</i>	<i>Descripción</i>
Resolución 2145 de 2005	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1433 de 2004 sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos,
Resolución 0941 de 2009	Se crea el subsistema de información sobre uso de recursos naturales renovables y el registro único ambiental
Resolución 1514 de 2012	Adopta todos los requisitos de referencia requeridos para elaborar el Plan de Gestión del Riesgo para el Manejo de Vertimientos
Resolución 0631 del 2015 Deroga los artículos 72 y 79 del decreto 3930 de 2010	En los artículos 15 y 16, estipula los parámetros fisicoquímicos máximos que las descargas líquidas realizadas por la IES al alcantarillado público. 56 parámetros: fisicoquímicos, metales y metaloides, iones, compuestos de nitrógeno y fósforo, hidrocarburos, plaguicidas, microbiológicos.

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019).

4.3. Marco conceptual y teórico

Los Residuos Peligrosos (RESPEL) son aquellas sustancias que pueden traer perjuicios a la salud humana y ambiental al entrar en contacto con ellas, que tiene particularidades corrosivas, tóxicas, reactivas, inflamable, explosiva, infecciosa, radioactiva incluyendo el empaque que los contiene. Entre los generadores de RESPEL están las universidades con residuos químicos (Vera, 2015). En su mayoría las universidades generan un gran número de residuos que, aunque no son de volumen elevado son relevantes en su peligrosidad. Por ello, es importante conocer con la máxima exhaustividad posible la composición del residuo con el fin de realizar un buen manejo (Olvera, 2012).

La contaminación inorgánica, como lo expresa Arellano (2002), presente en los cuerpos de aguas se debe principalmente a la contribución de la industria con el depósito de metales que se filtran al subsuelo como el arsénico, bario, radón, azufre y selenio (p. 36).

La contaminación hídrica, es la carga contaminante puede ser por sales inorgánicas, colorante, bases, ácidos, material orgánico, sólidos suspendidos, carga microbiana y materiales radioactivos y origina daño ambiental debido al uso habitual del líquido (Nemerrow & Dasgupta, 1998).

Bacterias sulfato-reductoras, Madigan, et al. (2015) describe el estudio sobre las bacterias que hacen parte del ciclo del azufre, la bacteria cataliza transformaciones químicas específicas en la naturaleza, la oxidación de un compuesto inorgánico para producir energía. El crecimiento microbiano se ve favorecido en los tanques de homogenización por la acumulación de sedimentos y la capacidad receptora que brinda el tiempo necesarios para que allí floreciera o sedimentación por gravedad (Ramalho, 2003, pág. 20). Con una baja toxicidad de la carga circundante y con materia orgánica e inorgánica presente, se genera una superficie activa para la absorción o digestión de material coloidal suspendido (Romero, 2004). El aporte de nutrientes

procedentes de aguas residuales provoca incremento del plancton, bacterias, en algunos casos cianobacterias y eliminación del oxígeno disuelto y aparición de olores y sabores diversos (Casero, 2015, p. 11).

Tratamiento Biológico conocido así por la remoción de contaminantes biodegradables, disueltos o en estado coloidal mediante la transformación a gases que escapan a la atmósfera y en biomasa en aguas residuales por actividad biológica (Romero, 2001).

En los procesos de transformación de materia por organismos, Berrio et al. (2012), informa como ocurre.

El oxígeno molecular (O_2) en procesos aerobios es quien gana electrones, cuando se utiliza otras moléculas que acepten los electrones el proceso se llama respiración anaerobia, que es realizada por bacterias que utilizan sistemas de transporte de electrones con citocromos, quinonas, ferrosulfoproteínas y otras proteínas típicas del transporte de electrones a este tipo de bacterias se las conoce como bacterias anaerobias. Los tipos de respiración anaerobia relacionados con compuestos que contienen azufre son:

- ✓ Sulfuro respiración: $S^0 \rightarrow HS^-$ (aerobios facultativos y anaerobios obligados)
- ✓ Sulfato respiración: $SO_4^{2-} \rightarrow SO_3^{2-}$ y $SO_3^{2-} \rightarrow HS^-$ (sulfato reducción, anaerobios obligados)

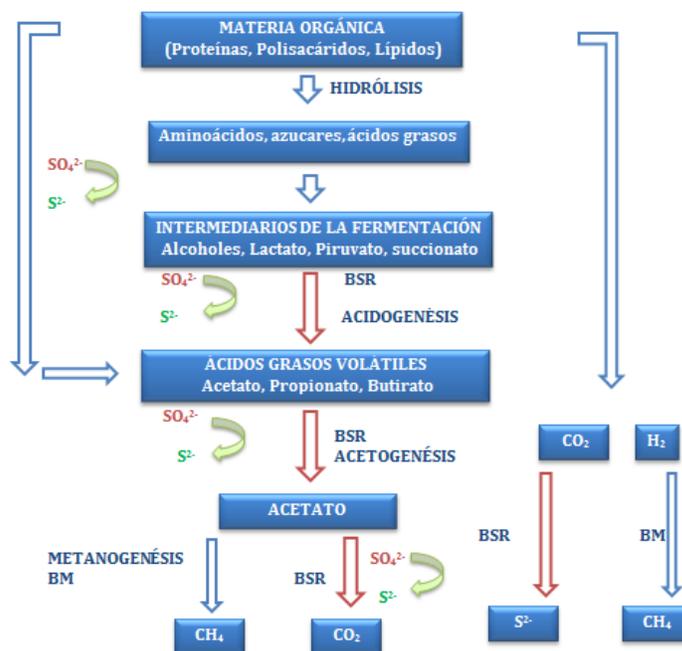
Algunos estados de oxidación de los compuestos azufrados inorgánicos más comunes, donde el sulfato, la forma más oxidada del azufre es reducido por las bacterias anaerobias como especies del genero desulfovidrio, obtiene como producto final el sulfuro de hidrógeno (H_2S), un compuesto natural importante que participa en muchos procesos bioquímicos (Madigan, et al. 2015).

La sulfato reducción puede ocurrir con la presencia de bacterias sulfato reductoras (BSR) en donde los sulfatos se reducen a sulfuro de hidrógeno, de igual manera se puede obtener mediante la degradación anaerobia de materia orgánica (Corrales et al, 2015). En la degradación anaerobia el sulfato, tiosulfato, tetrionato y el azufre elemental, quienes ganan electrones y los que donan o pierden sus electrones son las BSR, el H_2 , lactato, piruvato. Las bacterias sulfato reductoras son anaerobios estrictos, quienes tienen a cargo una importante labor con la

degradación de materia orgánica y la remoción de sulfatos (Fuquene, 2013). Las BSR pueden sobrevivir en ambientes con ausencia de sulfatos, gracias a que pueden utilizar otras vías metabólicas (Madigan, et al. 2015), como se puede ver en la figura 5.

Figura 5

Sulfato Reducción en la Degradación de la Materia Orgánica.



Fuente: (Madigan, et al. 2015)

En un tanque anaerobio las BSR compiten con otras bacterias como las metanogénicas (BM), las acetogénicas (BA) por sustratos comunes, todo depende de la afinidad de las bacterias y las características del medio circundante (Díaz et al. 2002) (Corrales et al, 2015) y gracias a la toxicidad, olor y corrosión generada por el sulfuro de hidrógeno conlleva a la inhibición de grupos bacterianos. Aunque esto no quiere decir que sea malo, las BSR mantienen un potencial de óxido-reducción bajo, remueve los sulfatos, los complejos Metal-azufre tienen baja solubilidad, lo que conlleva a la sedimentación de metales pesados como el cobalto, níquel, plomo y zinc (García et al. 2016, p. 45).

5. Objetivos

5.1. Objetivo general

- ✓ Determinar de las causas, procedencia y acciones de mejora que eviten el incremento del ion sulfuro en los tanques de homogenización de vertimientos líquidos generados en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Naturales de la IES en los periodos académicos 2019-2 y 2020-1.

5.2. Objetivos específicos

- ✓ Identificar el sistema de la red de vertimientos de la Facultad de Ciencias Naturales de la IES.
- ✓ Cuantificar la concentración de sulfuros y generar plan de muestreo y monitoreo con el fin de relacionar la fuente causante y su comportamiento.
- ✓ Proponer acciones de mejora que eviten el incremento en la cantidad de sulfuros generados en la facultad.

6. Metodología

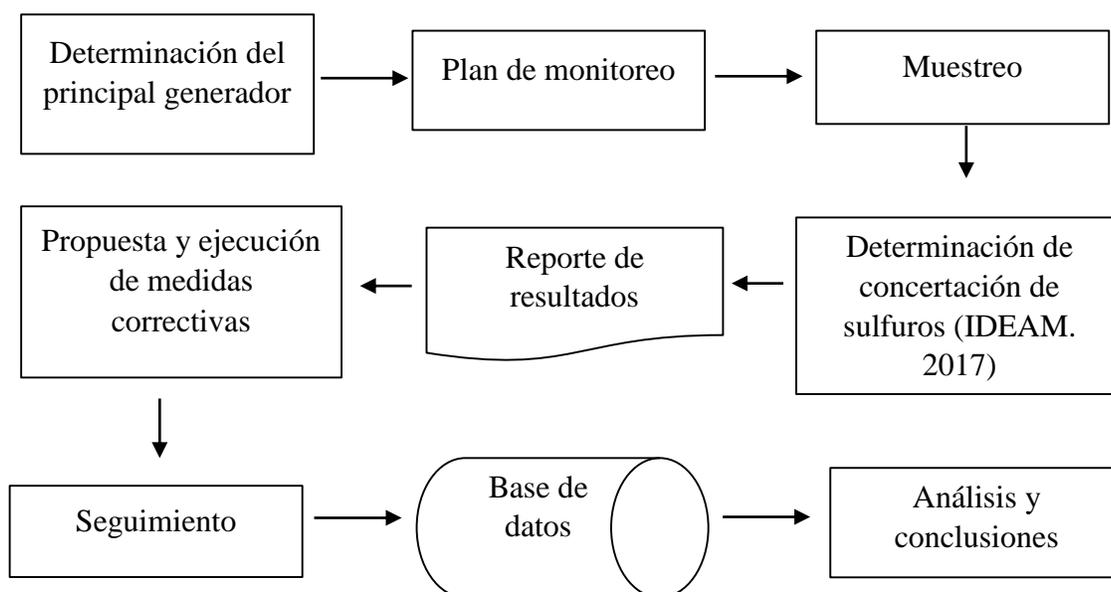
El desarrollo del trabajo de grado se efectuó en la Facultad de Ciencias Naturales (FCN) de la IES, en donde se llevan a cabo la mayoría de las prácticas de laboratorio. Los planos relacionados a la red de vertimientos de los laboratorios pertenecientes a la FCN y los respectivos tanques de homogenización, se obtuvieron en la oficina de Salud Ocupacional y Medio Ambiente. El tiempo estimado fue de un año (periodos 2019-II y 2020-I), para evaluar el comportamiento a lo largo de cada semestre con el muestreo y análisis de los vertimientos en las cajas de registro.

6.1. Flujo de plan de trabajo.

En la Figura 6 se plasma el orden en el cual se realizó el desarrollo de los diferentes apartes con los que se materializó este proyecto.

Figura 6

Diagrama de flujo sobre el plan de trabajo



6.2. Descripción del área de estudio

La facultad de ciencias naturales de la IES de estudio en la cual se desarrolla el presente proyecto aplicado se encuentra ubicada en Cali – Colombia. Esta edificación tiene 5 pisos, en ellos se encuentran los departamentos de química, biología, farmacéutica y medicina, cada departamento tiene cierto número de laboratorios, en los cuales se llevan a cabo muchos ensayos, la mayoría corresponden a los programas de formación de la misma facultad. Para el normal funcionamiento de las prácticas realizadas en el edificio se requiere el funcionamiento de áreas como: lavado de material, almacén de reactivos y materiales, cultivo vegetal, laboratorio de medios de cultivo, hongos y bacterias. Inicialmente se identificó los tanques de homogenización, el edificio L tiene dos tanques y su caja de registro respectiva como se puede apreciar en la figura 7, en donde se llevó a cabo la toma de muestras.

Figura 7

Tanques de homogenización y caja de registro o control.



Fuente: Autoría propia.

6.3. Plan de monitoreo y recolección de muestras

Cada periodo semestral comienza con actividades de inducción, luego vienen los ensayos, que es la parte práctica de lo visto en teoría y en algunos casos la evaluación práctica. El número

de laboratorios desarrollados tiene unos picos, en donde el número de prácticas desarrolladas en los laboratorios es alto. La relación entre el número de laboratorios desarrollados y el incremento del ion sulfuro se logró con la toma y análisis de muestras en las cajas de registro después que las descargas han pasado por los tanques de homogenización.

Dzul (2013) señala textualmente que “la recolección y análisis de datos para contestar preguntas investigativas y de esta manera probar una hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer patrones de comportamiento y probar teorías...” es la base para evaluar el comportamiento de las concentraciones de sulfuros en las aguas vertidas, se realiza en paralelo con el periodo semestral a inicios, mediados y al final del mismo como se aprecia en la tabla 5. El transcurso del periodo semestral define el tiempo en el que el flujo de diversas actividades generadoras de residuos líquidos se lleva a cabo. Para evaluar como las actividades desarrolladas en la facultad influyen en la formación del ion sulfuro se realiza el seguimiento y análisis que ayuda a sectorizar e identificar las causas que contribuyen a la formación del ion.

Tabla 5

Plan de muestreo y análisis para recopilación de datos.

Lugar de muestreo	Fecha para toma y análisis de muestras
Caja registro de docencia e investigación	• Julio del 2019, primer análisis 2019
	• Enero del 2020 Inicios del periodo semestral 2020-1
	• Marzo del 2020 mediados del periodo semestral 2020-1
	• Junio del 2020 Finalización del periodo semestral 2020-1
	• Julio del 2020 Inicios del periodo 2020-2

6.3.1 Contratación de empresa externa

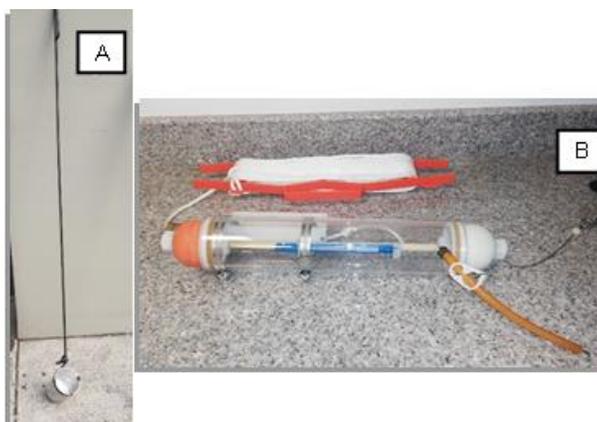
Con el fin de tener un respaldo en los primeros resultados obtenidos en el desarrollo de este trabajo de grado se solicitó el análisis de sulfuros de los mismos tanques de homogenización a la empresa Hidroambiental para las muestras tomadas en julio del 2019. La entidad encargada

de velar por el cumplimiento de las normas ambientales estipuladas por el gobierno nacional en la IES realizó su contratación.

6.4. Toma, preservación de la muestra

La toma de muestras se realizó en las dos cajas de registro. Se tomó 3 muestras, cada una en un frasco schott de 250 mL casi hasta el rebose del mismo, se adicionó acetato de zinc en exceso para precipitar el sulfuro (20 gotas por cada 250mL) e hidróxido de sodio para ajustar el pH final a 9.0 (10 gotas), se tapa inmediatamente, se agita y se almacenan a 4°C. La empresa externa (hidroambiental) utilizó el muestreador señalado en la figura 8A. Para el desarrollo de este trabajo, inicialmente para la toma de muestras se utilizó la botella de Van Dorn (véase figura 8B).

Figura 8
Muestreadores



Fuente: IES (2019)

Las muestras de trabajo se tomaron inicialmente del tanque de homogenización, sumergiendo la botella de Van Dorn, como lo indica la metodología “*toma de muestras de aguas residuales del Ideam, 2007. Versión 2*”. Mientras que la empresa externa lo hizo desde la caja de registro “cómo se puede ver en la figura 9”.

Figura 9

Toma de muestra en caja registro docencia.



Fuente: Autoría propia

Después de estudiar las posibles alteraciones que trae consigo estas diferencias en la toma de muestras se optó por realizar el muestreo como habitualmente lo hace la empresa Hidroambiental, con el fin de disminuir las discrepancias que pueden ocurrir por la diferencia en el método de muestreo (ver anexo C. Resultado del análisis de sulfuros de la empresa Hidroambiental Ltda, con resultados diferentes a los obtenidos en este trabajo). Además, como medida adicional se propuso el realizar la toma de muestra para todas las partes interesadas desde un mismo recipiente, para ello se destinó un balde de 15 litros con el volumen suficiente para todos. Luego se dispuso el agua residual en los frascos schott de 250 mL adicionando acetato de zinc e hidróxido de sodio (véase la figura 10).

Figura 10

Frascos schott con las muestras tomadas de las cajas de registro de docencia e investigación.



Nota. Formación de precipitado (sulfuro de Zinc), se muestran las diferentes tonalidades, la más oscura para los vertimientos de la caja de investigación. Fuente: Autoría propia

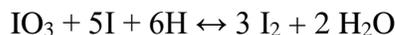
6.5. Determinación del ion sulfuro por titulación

Lozano (2012) Sostiene que “las aguas residuales, entonces, tienen diversos orígenes (doméstico, industrial, pecuario, agrícola, recreativo) que determinan sus disímiles características...” (p. 26). Moeller, doctora en microbiología de lodos activados señala que “Los microorganismos utilizan la materia orgánica coloidal y disuelta como alimento para llevar a cabo todas sus funciones metabólicas, como crecimiento y reproducción, generando como productos finales, varios tipos de gases y materia inorgánica y más células (biomasa)...” (p.151). En cada toma de muestras se observa el estado de los tanques de homogenización: olor, turbiedad, espumas, grasas, entre otras características que puedan ser de utilidad a la hora de relacionar los valores encontrados en los análisis. Los cuales, se llevan a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Naturales de la IES. La metodología de análisis a desarrollar se basa en el análisis de sulfuro en agua por volumetría, siguiendo el instructivo TP 0153 del IDEAM (2007) versión 2, que contiene la preparación, estandarización de soluciones, análisis e indicaciones para la toma y preservación de la muestra problema.

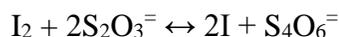
6.5.1 Estandarización de soluciones

Estandarización de tiosulfato de sodio 0,025N

Reacciones para la estandarización



Reacción 1



Reacción 2

Skoog et al. (2005), sostienen que para soluciones de tiosulfato el yodato de potasio puro es un excelente patrón primario, disuelto en agua acidificada que contenga un exceso de yoduro de potasio (reacción 1). El yodo liberado se valora con la solución de tiosulfato (reacción 2) (p. 574). Para este caso, esta titulación se realizó por triplicado a muestras que contiene yoduro de potasio (2 gramos), Yodato de potasio (0,05 gramos), 100 mL de gua desionizada y acidificada con 2 mililitros de ácido sulfúrico concentrado con el fin de obtener in situ el triyoduro de potasio. Se adicionó almidón al 1% como indicador (1 mL aproximadamente). Los valores de titulante utilizado son los registrados para encontrar la molaridad del tiosulfato de sodio (ver ecuación 1).

Ecuación 1

Molaridad del tiosulfato

Molaridad del tiosulfato ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) =

$$\frac{\left(\text{gramos de } \text{KIO}_3 * \frac{1 \text{ mol } \text{KIO}_3}{214 \text{ g } \text{KIO}_3} * \frac{3 \text{ moles } \text{I}_2}{1 \text{ mol } \text{KIO}_3} * \frac{2 \text{ moles } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}{1 \text{ moles } \text{I}_2} \right)}{\text{mL utilizados en la titulación}}$$

Estandarización de la solución de Yodo

Skoog (2005) dice que la reacción cuantitativa del Yodo es única (reacción 2), cada ion de tiosulfato pierde un electrón (p. 572). Para la estandarización de la solución de yodo, se toman 5 mL de esta solución y se titulan con tiosulfato de sodio estandarizado, determinando a concentración de yodo como se muestra en la ecuación 2.

Ecuación 2

Determinación de la concentración de yodo.

$$\frac{\left(\text{mL utilizados } Na_2S_2O_3 * \frac{1 \text{ moles } I_2}{2 \text{ moles de } Na_2S_2O_3} \right)}{\text{Alicuota mL}}$$

6.5.2 Cálculo de concentración de sulfuros

Para obtener los valores de sulfuros de cada muestra, se aplica la formula dada en el instructivo guía de este proyecto para cuantificación del ion sulfuro (ecuación 3), El cálculo para los valores obtenidos se realizó con el programa Microsoft Excel, ya que este programa permite la tabulación de datos y elaboración de gráficas de manera dinámica.

Ecuación 3

Reporte de sulfuros en mg S⁼/L:

$$\text{mg S}^= / \text{L} = [(A*B) - (C*D)] * 16000 / \text{mL Muestra}$$

Fuente: IDEAM, (2017)

Dónde:

A = mL de solución de Yodo,

B = Normalidad de la solución de Yodo,

C = mL de solución de Tiosulfato de Sodio gastados en la titulación, y

D = Normalidad de la solución de Tiosulfato de Sodio

El metodo estandar indica que los análisis de las muestras se llevan a cabo a temperatura ambiente, para las muestras conservadas a 4 °C se colocan a temperatura de análisis con anterioridad, se filtra en papel cuantitativo de 1 µm, el sulfuro de zinc que se formó al adicionar el acetato de zinc en pH básico. Esto se realizó con un sistema de filtración al vacío. Luego se transfiere el papel con el precipitado a un erlenmeyer, se adicionó aproximadamente 100mL de agua, una alícuota de 5.0 mL de la solución de yodo 0.025N estandarizado, 2.0 mL de ácido clorhídrico 6N, gotas de almidón como indicador (1mL aproximadamente) y se titula con el tiosulfato de sodio 0.025N estandarizado previamente (ver figura 11).

Reacción de titulación:



Reacción 3

Figura 11

Titulación de muestras.



Fuente: Autoría propia

El yodo oxida al sulfuro en medio ácido. Una titulación basada en esta reacción es un método confiable para la determinación de sulfuros en concentraciones por encima de 1 mg/L. El método es aplicable para el análisis de aguas residuales domésticas e industriales, aguas subterráneas y superficiales una vez que se eliminen las sustancias interferentes (IDEAM, 2017).

6.5.3 Limitaciones e interferencias

En Standard Methods [4500-S²⁻ SULFIDE], se estipula que la determinación de sulfuros por medio del método Yodométrico tiene interferencias provocadas por sustancias reductoras tales como el tiosulfato, sulfito y otros compuestos orgánicos que reaccionan con el yodo. Para la preservación de la muestra se agrega acetato de zinc para precipitar el sulfuro presente en la muestra como sulfuro de zinc, de esta manera se elimina las interferencias producidas por estos iones al formar el precipitando (p.1).

6.6. Planteamiento para evitar formación del ion

Con los resultados de sulfuros obtenidos ($\text{mg S}^-/\text{L}$) se propuso posibles soluciones para disminuir los valores registrados, cuando estos superaron el límite permitido. Con el conocimiento de la red de drenaje que conecta cada laboratorio al tanque de homogenización, se monitoreó el comportamiento de ion sulfuro determinando las posibles fuentes del sulfuro generado y su origen tomando medidas preventivas. Los valores encontrados y la relación con las diferentes actividades a lo largo del semestre contribuyeron en la identificación del problema planteado (Chong de la Cruz, 2007).

7. Resultados y análisis

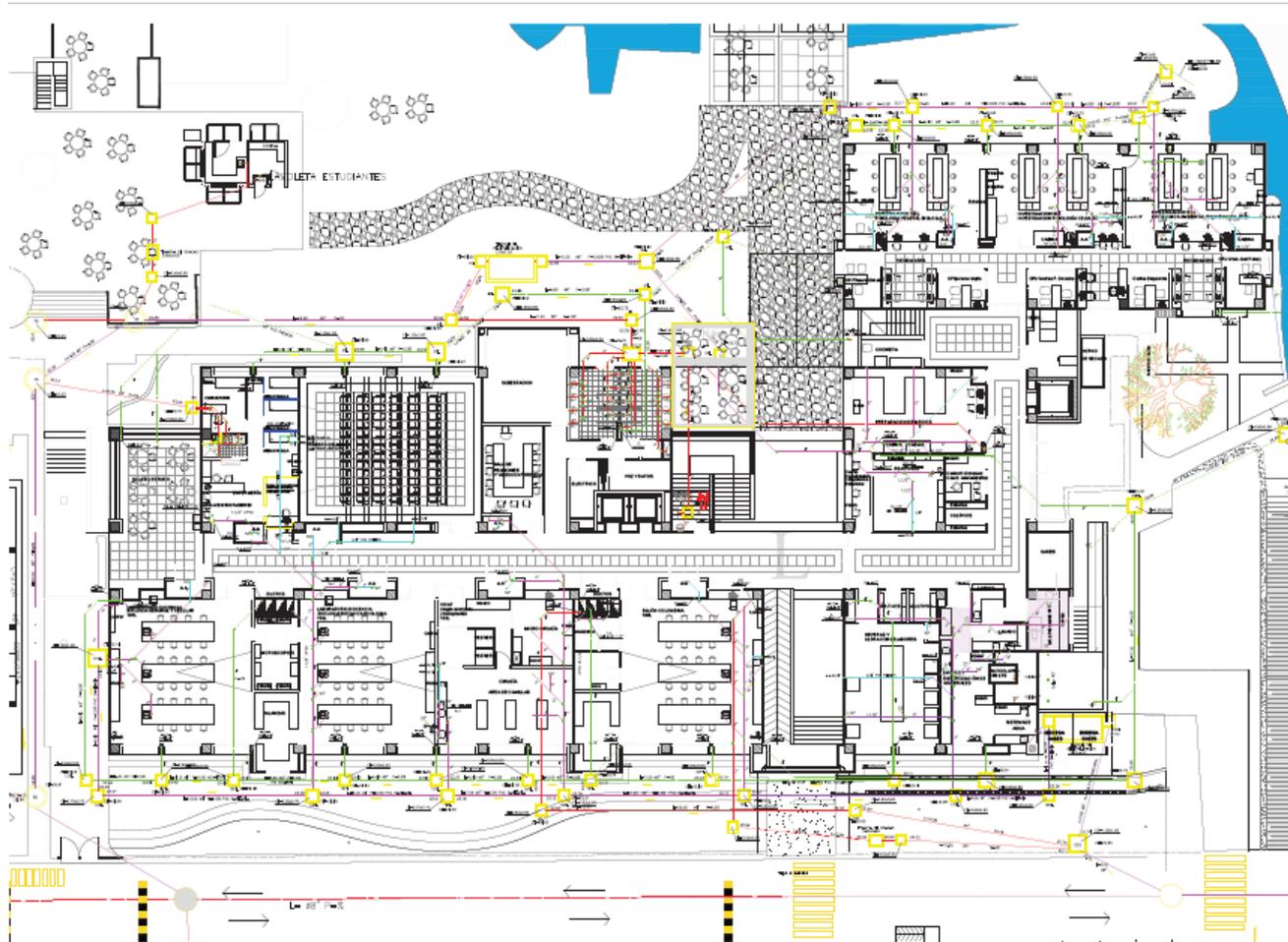
7.1. Diagnóstico de la red de vertimientos de residuos líquidos en la facultad de ciencias naturales de la IES.

La Oficina de Salud Ocupacional y Medio Ambiente gestiona los requerimientos relacionados a la gestión de seguridad, salud en el trabajo y medio ambiente en la IES. El 30 de enero del 2020 con la asistencia de Gestión Ambiental fue revisada la red de vertimientos del edificio L, se tomó registro de la red de descarga de residuos líquidos mostrados en los planos de la Facultad (véase figura 12). Para ello, se realizó el seguimiento de cada red de descarga de cada laboratorio, desde el primero hasta el quinto piso, relacionando de esta manera cada espacio en donde se llevan a cabo las prácticas de laboratorio que presentan desagües de residuos líquidos que desembocan en los tanques de homogenización.

Con el conocimiento de la red de vertimientos y a que tanque de homogenización conducen (como se puede ver en la Tabla 6 y 7), se procedió a nombrarlas con el fin de tener una mejor identificación, “Caja de docencia” para aquella que la mayoría de aguas residuales provienen de espacios en los que se desarrollan prácticas de docencia y “caja de investigación” para aquella que sus vertimientos se conectan a los laboratorios de investigación.

Figura 12

Plano de red de vertimientos del primer piso del edificio L de la IES.



Nota. Se muestran la red de vertimientos (líneas de color morado), los tanques de homogenización y las cajas (color amarillo). Fuente: Oficina de Salud Ocupacional y Medio Ambiente (2020).

Tabla 6

Espacios de laboratorios del edificio L vinculados al tanque de homogenización de investigación.

	Piso	Salón	Laboratorio
CAJA DE INVESTIGACION	Primero		Preparación de Medios de Cultivo
		105	De investigación Biología Celular-Microbiología
		106	De investigación Bioquímica
		107	De investigación Fisiología Vegetal-Biología del desarrollo Vegetal
	Segundo	208	De investigación Química Orgánica
		209	De investigación Productos Naturales
		210	De investigación Química Orgánica
	Tercero	309	Ecología de Plantas
		310	Ecofisiología Animal-Ecología de Humedales
		311	Zoología-Ecología Animal
	Cuarto	411	Genómica
		409	Inmunología
		410	De investigación Biomédicas
	Quinto	506	Biotecnología Industrial
		507	Biofarmacia y Biocosmética
		508	Diseño y Formulación de Productos Químicos y sus Derivados

Nota. Todas las áreas relacionadas en esta tabla, presentaban desagüe para residuos líquidos.

Tabla 7

Espacios de laboratorios del edificio L vinculados al tanque de homogenización de docencia.

	Piso	Salón	Laboratorio
CAJA DE DOCENCIA	Primero	101	Docencia Biología General-Biología Celular
		102	Zoología-Botánica-Ecología
		103	CICAT Centro de Investigación en Cirugía Avanzada
		104	Docencia Química General I y II-Análisis Químico
	Segundo	201	Docencia Química General-Química General IBQ
		202	Docencia Fotoquímica
		203	Docencia Química Analítica-Industrial-Ambiental
		204	Bioquímica-Fisicoquímica
		206	Docencia Química Inorgánica
	Tercero	304	Docencia Farmacotecnia Sólidos
		305	Docencia Farmacotecnia Líquidos
		308	LIQ (laboratorio de instrumentación química)
	Cuarto	402	Anatomía Microscopia
		403	Docencia Fisiología Medica (sin desagüe)
		406	Biotecnología-Biología Molecular
		407	Análisis de Ácidos Nucleicos y Proteínas
	Quinto	505	Biotecnología-Biología Molecular y Genética

Nota. Todas las áreas relacionadas en esta tabla, presentaban desagüe para residuos líquidos.

7.2. Desarrollo del plan de seguimiento y análisis con los resultados obtenidos en las muestras de los tanques de homogenización de docencia e investigación

El seguimiento de sulfuros en las cajas de docencia e investigación se realizó mediante el muestreo y análisis por triplicado registrando el promedio de cada medida para cada caja en las fechas indicadas en la tabla 8 para los periodos académicos 2019-2, 2020-1.

Tabla 8

Resultados de análisis del ion sulfuro

Lugar de muestreo	Fecha de informe	pH	mg S ⁼ /L	Observaciones
Docencia	24/07/2019	6,6	1,1	Presencia de olor fuerte
Investigación		6,3	1,9	
Docencia	30/07/2019	8,3	1,1	Análisis realizado antes del dragado de aguas residuales de los tanques
Investigación		7,5	1,7	
Docencia		7,1	1,3	Análisis realizado después del dragado de aguas residuales de los tanques
Investigación			3,3	
Docencia	23/01/2020	7,9	0,0	Análisis realizado después del dragado correcto de lodos y lavado de las tanques de homogenización
Investigación		7,5	0,6	
Docencia	27/01/2020	7,7	0,0	Al abrir los tanques de homogenización, estas presentan olor moderado
Investigación		8,0	0,35	
Docencia	19/03/2020	7,0	2,8	Análisis realizado a mitad del semestre 2020-1
Investigación		8,0	0,8	
Docencia	19/03/2020 tarde		2,5	
Blanco			0,0	
Docencia	2/06/2020	7,4	0,65	Análisis realizado al finalizar del semestre 2020-1
Investigación		7,4	0,47	
Docencia	21/07/2020	6,76	0,38	Análisis realizado a inicios del semestre 2020-2
Investigación		7,3	0,0	

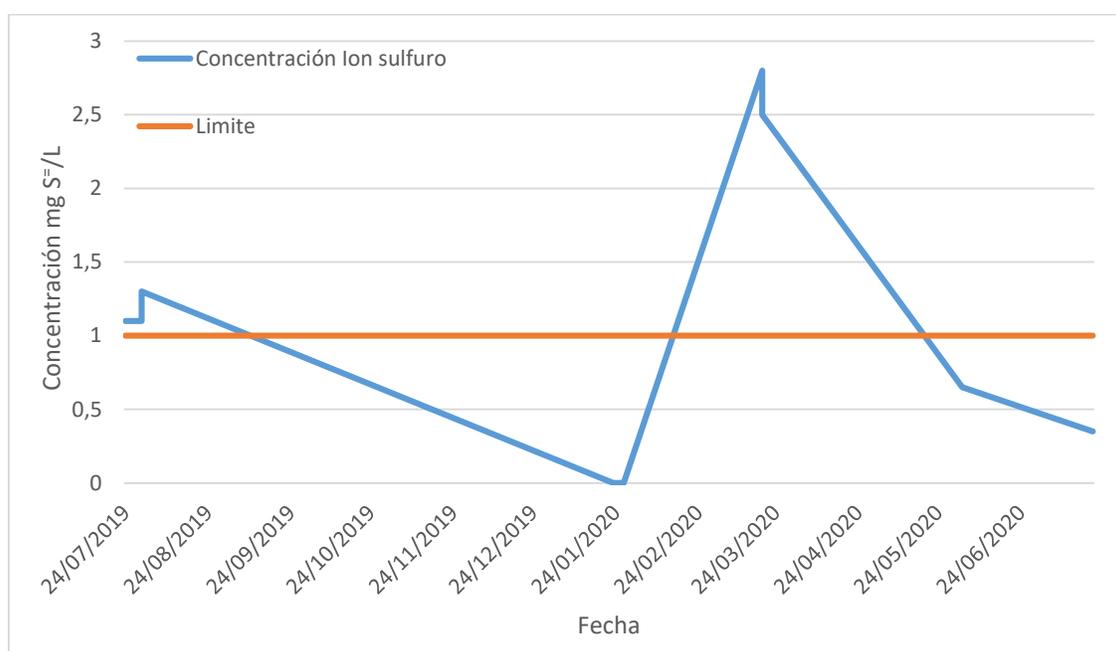
7.3. Comportamiento del ion sulfuro

7.3.1 Caja de docencia

Según los datos obtenidos en la tabla 8 para analizar el comportamiento del ion sulfuro del tanque de homogenización de docencia se graficó, concentración vs la fecha de los análisis, estos se presentan en la figura 13.

Figura 13

Comportamiento del ion sulfuro en la caja de docencia.



Como se puede ver en la figura 13, el ion sulfuro se encontraba por encima del valor permitido en los datos iniciales, correspondiente al mes de julio del 2019, valor que se incrementó cuando se realizó el dragado de solamente el líquido contenido en los tanques, aumentó de 1,1 a 1,3 mg S⁼/L, debido a que los lodos en los tanques no se retiraron, al ingresar vertimientos ocasionó la perturbación en los sedimentos lo que provocó el aumento del ion.

Después de realizada la limpieza eficiente de la caja y dragado de los líquidos contenidos incluyendo los lodos en enero de 2020, el valor de sulfuros disminuyó favorablemente hasta los

límites permitidos, incluso hasta el reporte de 0 mg S⁼/L para la muestra tomada una vez el tanque recuperó su volumen. Para marzo del 2020, fueron obtenidos unos valores altos y alarmantes, de 2,8 y 2.5 mg S⁼/L respectivamente, valor relacionado con la cantidad elevada de prácticas de laboratorios y tratamiento de desechos líquidos.

El valor del ion sulfuro bajo por debajo de 1 mg/L y se mantuvo así en los resultados obtenidos para el mes junio y julio del 2020, datos acordes con la disminución en el número de prácticas efectuadas finalizando semestre y las recomendaciones hechas para la evacuación lenta cuando se realicen las descargas de los residuos líquidos tratados.

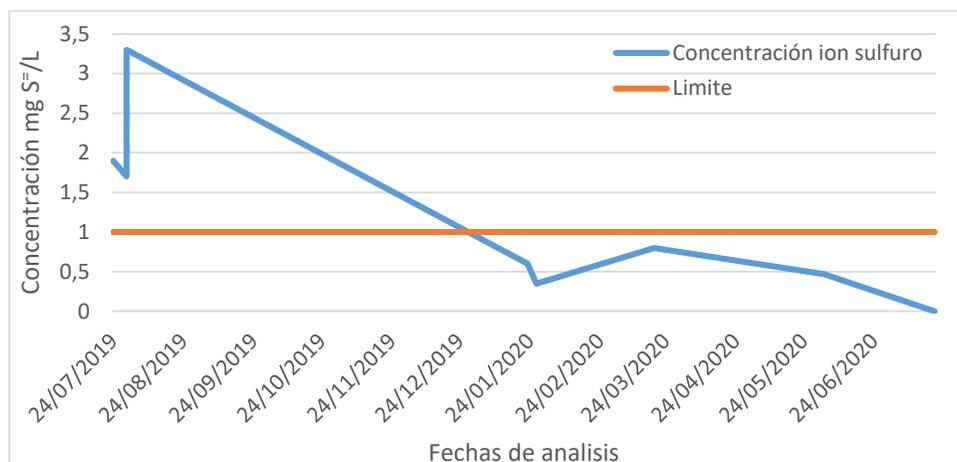
7.3.2 Caja de Investigación

Para evaluar el comportamiento del ion sulfuro en el tanque de investigación se analiza la figura 14, el ion sulfuro se encontraba por encima de 1 mg S⁼/L inicialmente. Tuvo un comportamiento similar que los valores reportados para la caja de docencia con el dragado de los vertimientos almacenados, se incrementaron hasta llegar a 3,3 mg S⁼/L, el registro más alto obtenido en la realización de este trabajo.

Luego con el dragado de lodos efectivo y lavado del tanque de homogenización, realizado en enero del 2020, el registro de ion sulfuro de la caja de investigación fue menor a 1 mg S⁼/L, valor que se mantuvo, cabe resaltar que la caja de investigación tenía mayor presencia de turbiedad, grasas, sólidos, cuando se inició con la determinación de sulfuros. Pero luego de la limpieza realizada, se visualiza unos vertimientos claros, en la parte superior y una capa más turbia que indica formación de flóculo y la sedimentación de los mismos, al igual que el olor moderado al abrir el tanque y la caja de registro, indicó baja presencia del ion sulfuro.

Figura 14

Comportamiento de ion sulfuro de la ca de investigación



Los valores bajos van acorde también al número de ensayos que se realizan en los laboratorios conectados a la red de vertimientos que conducen al tanque de homogenización de investigación. Ya que los ensayos en estos espacios corresponden a proyectos de investigación propios de la facultad, proyectos de trabajos de grado, proyectos investigativos avalados por Colciencias (ahora Minciencias) y demás. Como se puede apreciar en la tabla 9, el número de estudiantes de la IES fue 5945 estudiantes para el periodo 2019-2, de los cuales 1568 tienen matriculado algún laboratorio que se desarrolló en el edificio L, lo que corresponde a un 26%, el número de estudiantes realizando especializaciones, maestría, o doctorado, representa un porcentaje mucho menor.

Tabla 9

Número de estudiantes de la IES.

Descripción	Periodo 2019-2
Número de estudiantes de pregrado	5.945
Número de estudiantes de Especializaciones	294
Número de estudiantes de Maestría	959
Número de estudiantes de Doctorado	25

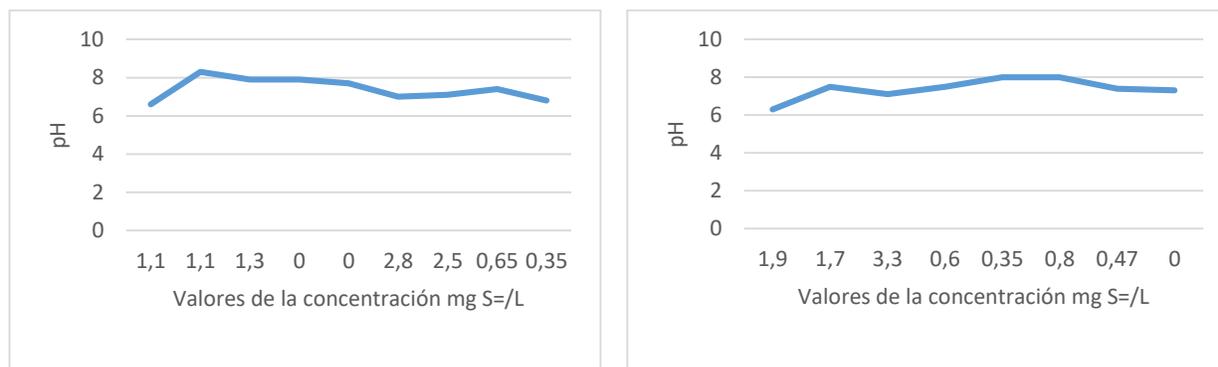
Fuente: IES en cifras 2020

7.3.3 Variación del pH en la toma de datos

Como se puede apreciar en la figura 15, el valor del pH no fluctúa apreciablemente cuando varía la concentración del ion sulfuro aunque la formación de ion sulfuro genera la disminución de pH, debido a sus propiedades ácidas de compuesto como el ácido sulfhídrico formado. Se apreció que los valores de pH se encontraban dentro de los valores permitidos en la resolución 0631 del 2015, que va desde 5-9, asegurando que en las descargas realizadas se tiene control de este parámetro y que el valor del ion sulfuro registrado no llegó a alterar considerablemente el valor del pH en las cajas de docencia e investigación.

Figura 15

Comportamiento del pH en los valores reportados de ion sulfuro en las cajas de docencia e investigación



Nota. En la figura de la izquierda se muestra el comportamiento del valor del pH en la caja de docencia y la de la derecha es de investigación.

7.3.4 Precisión

La precisión fue un criterio de valoración que varía con la muestra, al titular con el tiosulfato de sodio 1 gota equivale a 0,1 mg / L en una muestra de 250 mL. Lo que representa mayor relevancia para concentraciones bajas. Para valores de 1mg/L, una gota nos representa el 10% de error debido a la titulación.

7.4. Causas que incrementan la generación de ion sulfuro

7.4.1 Lodos acumulados

Los lodos acumulados en los tanques de homogenización no fueron removidos desde que fue inaugurado el edificio L desde el año 2008, con lo que se asume que la generación de sulfuro por actividad microbiana se lleva a cabo. Los tanques de homogenización tienen capacidad de 4500 L aproximadamente y un tiempo de retención de 8 horas aproximadamente, lo que favorece el proceso de descomposición por parte de los microorganismos presentes y acostumbrados al tipo de descargas residuales que maneja la facultad.

El registro más alto se presentó en la caja de investigación con 3,3 mg S⁼/L. Después del retiro de lodos y lavado de los tanques de homogenización, los valores reportados para los vertimientos relacionados con el área de investigación fueron menores a 1 mg S⁼/L y que se mantuvo así en los siguientes análisis reportados.

El retiro de lodos y lavado del tanque de homogenización de docencia generó disminución del ion sulfuro. Algunos valores después de este proceso estuvieron por encima de lo permitido, comportamiento que está relacionado más con los picos en los ensayos semestrales y tratamiento de residuos líquidos.

7.4.2 Uso del detergente Extrán® MA 02 neutro, Deter rax o Proqui 100

Uno de los detergentes utilizados para la limpieza del material de laboratorio es el detergente Extrán® MA 02 neutro, compuesto por tensioactivos aniónicos y no iónicos (ácido n-alquilbencenosulfónico de sales sódicas y ácido n-alquilbencenosulfónico de sales de trietanolamina). Este es descartado al desagüe al igual que los enjuagues realizados al finalizar la remoción de la suciedad. La descomposición bacteriana de compuestos que contengan sulfatos,

generan el incremento de bacterias sulfato reductoras y el sulfuro de hidrógeno producido. La cantidad de detergente utilizado se muestra en las tablas 10 y 11.

Tabla 10

Consumo de detergente Extrán® MA 02 neutro en el edificio L.

Año	Dependencia que solicita el detergente Extrán® MA 02	Volumen en litros
2019	Docencia	130
2019	Investigación	30
2020	Docencia	85
2020	Investigación	50
	<i>Total:</i>	295

Otro tipo de detergente utilizado, el que comúnmente se encuentra en los laboratorios de docencia es el detergente industrial Deter rax y Proqui 100, con una concentración como ácido sulfónico del 20%.

Tabla 11

Consumo de detergente Deter rax o Proqui 100 en el edificio L.

Año	Dependencia que solicita el detergente Deter rax o Proqui 100	Volumen en litros
2019	Docencia	36
2019	Investigación	8
2020	Docencia	30
2020	Investigación	3
	<i>Total:</i>	77

El cuarto de lavado usa detergente Extran y es el lugar donde se lleva a cabo la limpieza del 90% del material utilizado en el edificio L, todo el material lavable utilizado en las prácticas docentes sin importar si ya fue lavado por los estudiantes, llega aquí, esto con el fin de garantizar

su estado para nuevos ensayos. La red de vertimientos de este espacio conduce al tanque de homogenización de docencia, compuestos sulfonados presentes en el tensoactivo incrementan la formación de sulfuros sobretodo en periodos de alto flujo de prácticas.

7.4.3 Compuestos utilizados en el desarrollo de prácticas docentes

Algunos de los compuestos más solicitados y que tienen en su composición azufre para el desarrollo de las prácticas docentes son los nombrados a continuación.

Lauril sulfato de sodio, lauriletersulfatosodio 28% (genapol), lauriletersulfatosodio 70% (texapon), persulfato de amonio, sulfato de aluminio, sulfato de amonio, sulfato de cobre, sulfato de hidracina, sulfato de hierro, sulfato de hierro amoniacal, sulfato de magnesio, sulfato de manganeso monohidrato, sulfato de plata, sulfato de potasio, sulfato de sodio anhidro, sulfato de zinc heptahidratado, tiosulfato de sodio pentahidratado.

Los reactivos más representativos para el año 2019 y 2020 fueron el tiosulfato de sodio con un consumo de 2964,93 gramos, el lauril sulfato de sodio con 5217,4 gramos y el sulfato de sodio anhidro con 5024,1 gramos. El normal y adecuado desarrollo de las prácticas de laboratorio implica el lavado del material utilizado, por ello, mucho de los residuos llegan a la red de vertimientos en pequeñas cantidades, que pueden ser despreciables. Sin embargo, con un número elevado de repeticiones de este procedimiento se aporta en la formación de sulfuro.

7.4.4 Descargas con residuos de medios de cultivo

Dentro de la facultad se llevan a cabo procesos relacionados con la preparación e inactivación de medios de cultivo, estas son soluciones nutritivas que presentan las concentraciones adecuadas con diferentes fines como: soporte para crecimiento microbiano, cultivos in-vitro, medios de preservación, entre otros. El modo de asegurar la esterilidad de los

medios es con el uso de autoclaves (véase la figura 16), como lo señala Equitecnos Ltda (2020) “es un aparato que sirve para esterilizar objetos o sustancias en su interior, por medio de parámetros controlados como la temperatura, vapor, presión y tiempo de exposición”. Con el uso del equipo es normal que ocurra pérdida de medios que son evacuados a la línea de desagüe en la fase de despresurización, donde ocurre la disminución de la presión. Los agares utilizados en la preparación de los cultivos, son reactivos enriquecidos con los nutrientes necesarios para el crecimiento microbiano y celular vegetal, esto favorece la multiplicación de las bacterias en la red de vertimientos y en el tanque de homogenización de docencia al que está conectado.

Figura 16

Algunos equipos de autoclavado del edificio L



7.4.5 Tratamiento de residuos líquidos

El tratamiento de algunos residuos químicos líquidos generados en las prácticas docentes, se hacen en los laboratorios que están conectados a la red de vertimientos de la caja de docencia (en el anexo D. se listan las fuentes generadoras de residuos químicos de acuerdo con programa académico que ofrece la asignatura cuyos laboratorios están conectados con la caja de docencia). La coordinación de laboratorios de la facultad de ciencias naturales en los periodos académicos (2019-1 y 2019-2) ha tratado residuos clasificados en: disolventes ácidos y bases, no halogenados, disoluciones acuosas inorgánicas y algunos especiales que contienen baja cantidad

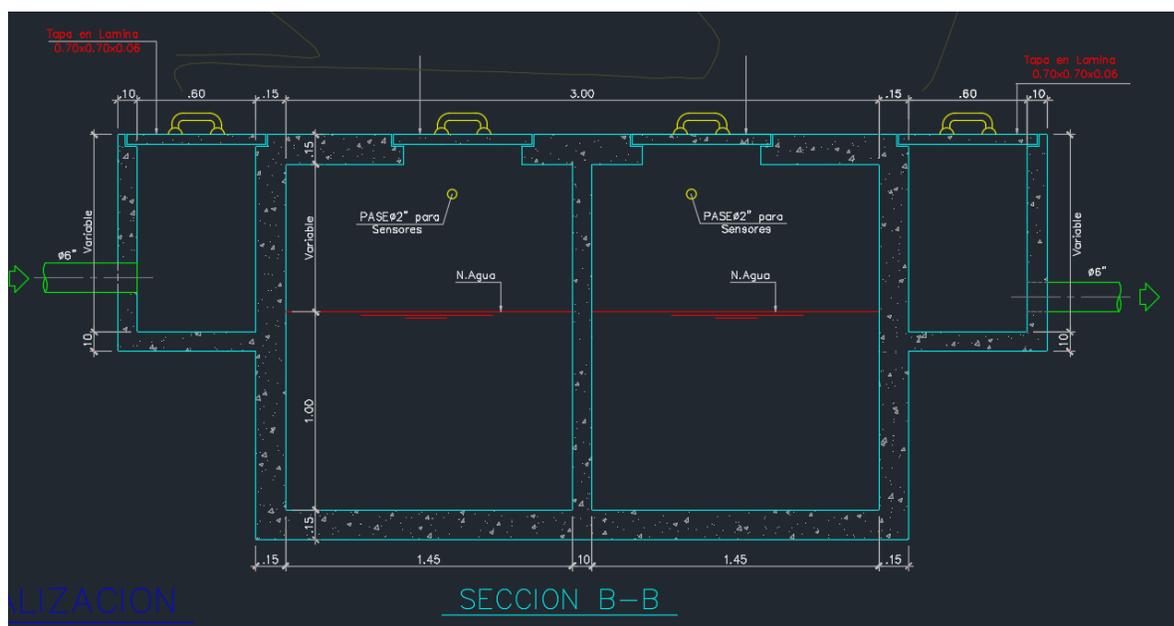
de fármacos y agentes oxidantes. La cantidad tratada en estos dos periodos es cercana a los 800 kg y se emplearon técnicas como homogenización, filtración, precipitación, evaporación, destilación y fenton. El tratamiento de estos desechos da lugar a un incremento en la carga orgánica e inorgánica en vertimientos al desagüe, carga que es fuente de alimentación para las bacterias presentes formadoras de sulfuro.

7.4.6 Procesos de descomposición microbiana

Los lodos presentes en los tanques de homogenización son los sedimentos acumulados gracias a la capacidad receptora de los mismos, véase figura 17. Estos brindan el tiempo necesario para que haya floculación o sedimentación por gravedad y con las descargas generadas, otorgan las condiciones favorables para el crecimiento microbiano y la formación de sulfuro de hidrógeno.

Figura 17

Plano del tanque de homogenización del edificio L



Fuente: IES (2020).

7.4.7 Sedimentos acumulados en las cajas de registro

Las cajas de registro, lugar donde se realizó la toma de muestras presentan sedimentos acumulados. En el momento de toma de muestras (véase figura 18), se puede arrastrar parte del material adherido y termina siendo parte de la muestra, este material puede contribuir al incremento en los reportes de sólidos suspendidos, sólidos totales y demás parámetros, dependiendo del sedimento.

Figura 18

Toma de muestras en cajas de registro



Nota. Imagen de la izquierda, caja de registro investigación, imagen de la derecha cada de registro docencia. Fuente: Autoría propia.

7.4.7 Análisis de la relación de causalidad

El proceso de descomposición de cargas contaminantes por acción microbiana es llevado a cabo en los tanques de homogenización, las causas son evaluadas en el análisis de la relación de causalidad en la Matriz de Vester indicando los resultados mostrados en la figura 19 y 20.

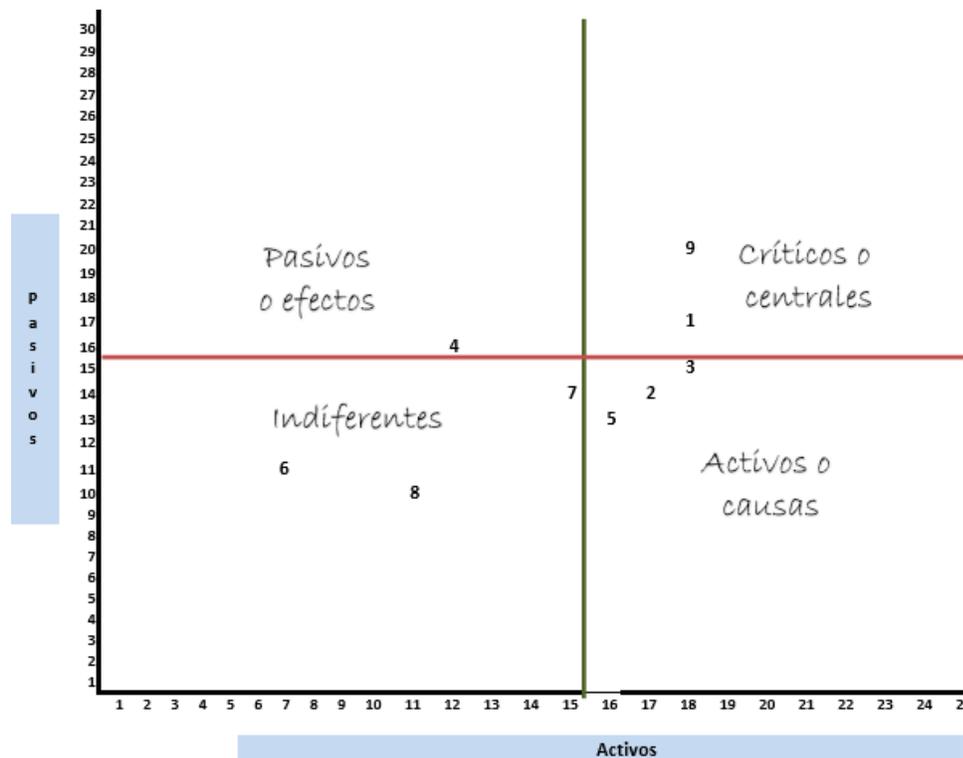
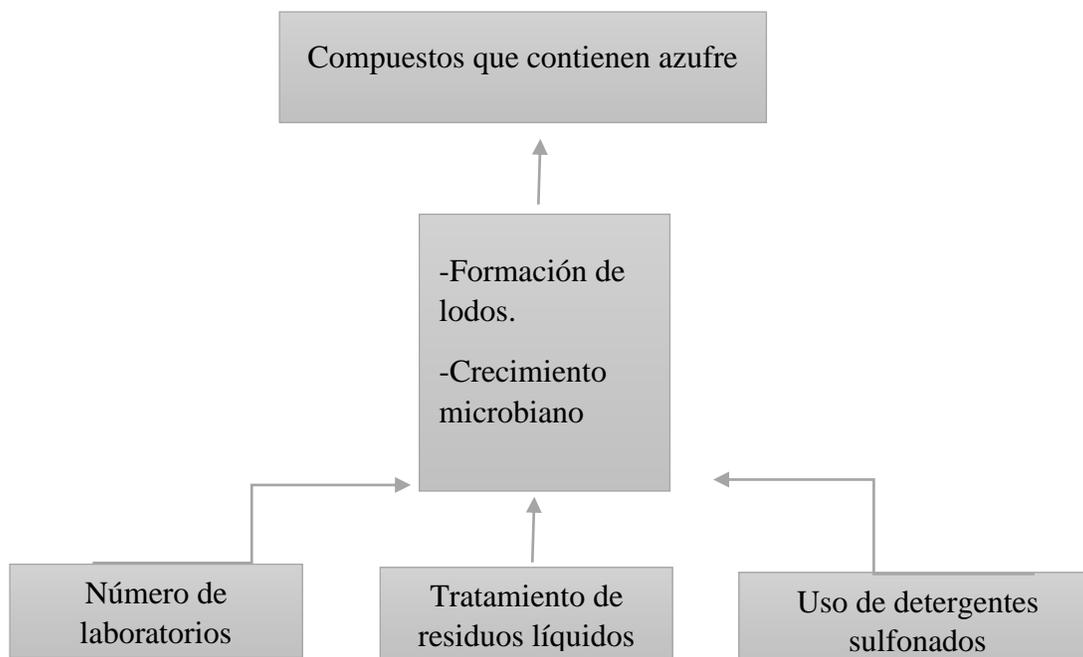
Figura 19

Matriz de Vester (Federic Vester) para realizar el análisis de la relación de causalidad

Tema. Generación de ion sulfuro	Total activos	Total pasivos	Análisis de la relación de causalidad																	
1. Formación de lodos	17	18																		
2. Numero de ensayos de laboratorio	17	14																		
3. Tratamiento de residuos líquidos	18	15																		
4. Compuestos que contienen azufre	12	16																		
5. Uso de detergentes sulfonados	16	13																		
6. Descargas con residuos de medios de cultivos	7	11																		
7. Falta de control en las descargas	15	14																		
8. Mala disposición de residuos sólidos	11	10																		
9. Crecimiento microbiano	18	20																		
Promedios para modificar la gráfica	15	15																		

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	2	3	2	2	2	2	1	3
2	2	0	2	2	3	2	2	2	2
3	3	2	0	3	1	2	3	1	3
4	2	2	2	0	3	0	1	1	1
5	1	3	3	3	0	0	2	1	3
6	2	1	0	0	0	0	1	0	3
7	3	1	1	1	2	2	0	2	3
8	2	1	1	2	0	1	2	0	2
9	3	2	3	3	2	2	1	2	0

En el desarrollo de la matriz Vester (véase figura 20), se distribuye las causas en cuatro cuadrantes, las ubicadas en el cuadrante de indiferentes, son aquellas que no presentan mayor relevancia y no se tienen en cuenta en el árbol de problemas. Los activos son las raíces, los pasivos los efectos y los críticos representan el tronco, las causas relevantes en la formación de sulfuros fueron: el número de ensayos, el tratamiento de residuos líquidos y el uso de detergentes sulfonados. El centro del problema son los lodos formados y la actividad microbiana que tiene como resultado la generación de compuestos con azufre. Lo planteado en la figura 20 presenta coherencia con las figuras 13 y 14 que muestran el reporte del ion sulfuro en las cajas de docencia e investigación, en las que indican la disminución del ion con el retiro de lodos y por tanto la reducción de la actividad microbiana en los tanques, también tiene relación con el aumento de sulfuros para la caja de docencia con el tratamiento de residuos líquidos y aumento de ensayos de laboratorio que implica el uso de detergentes sulfonados utilizados en la limpieza.

Figura 20*Grafica de resultados**Graficación**Árbol de problemas*

7.5. Medidas Tomadas para disminuir la concentración del ion sulfuro.

7.5.1 Dragado de los tanques de homogenización del edificio L

El valor de sulfuros obtenido en el análisis realizado el día 19 de julio del periodo 2019_1 estaba por encima de los valores permitidos, entre 1,1-1,8 mg S⁼/L (ver anexo E. Resultados de análisis de sulfuros). La oficina de salud ocupacional y medio ambiente y la coordinación de laboratorios de la facultad, aprobó el dragado de los tanques de homogenización. El dragado del tanque de homogenización de investigación se realizó el día 19 julio y docencia el 26 julio del 2019. El día 30 de julio se tomaron las muestras en las cajas de registro de docencia e investigación después del dragado de los tanques y dando tiempo de recuperación del volumen, fueron obtenidos valores que están entre 1,3 mg S⁼/L para la caja de docencia y 3,3 mg S⁼/L para la caja de investigación, valores mucho mayores en comparación con el primer análisis antes de la limpieza. Debido, a que la empresa contratada Veolia Aseo Buga S.A. E.S.P no realizó la recolección de los lodos y la limpieza de los tanques de homogenización como se suponía es lo adecuado, solo fue descartada el agua que succionó la manguera de extracción, sin retiro de lodos, material flotante y el lavado (véase la figura 21 y 22).

Se realizó una nueva programación del dragado, incluyendo retiro de lodos y lavado de los tanques, como no se había especificado el tipo de servicio que se requería en el primer contrato, la empresa contratada asumió que solo era el retiro del agua que succionaba la manguera de extracción. El 24 de enero del 2020 se llevó a cabo el retiro de lodos y lavado de los tanques de homogenización, después de darle el tiempo necesario para que los tanques receptores recuperen el volumen (aproximadamente de 8 horas), cuando se abrieron los tanques y las cajas de registro se percibe un olor moderado, una buena señal que indica que la presencia de sulfuros

es baja, lo que efectivamente se corroboró con el análisis de las muestras, con valores para ion sulfuro de 0,0-0,6 mg S⁼/L. El valor de ion sulfuro se mantuvo en los análisis realizados el día 27 de enero del 2020 que reportó ion sulfuro de 0,0-0,3 mg S⁼/L.

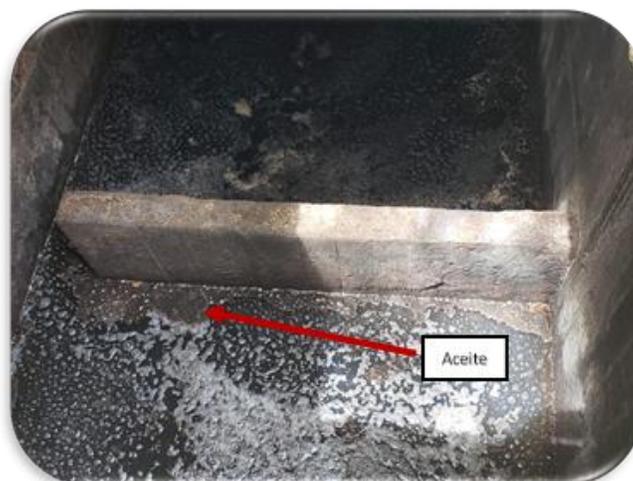
Figura 21

Tomas durante el dragado de los vertimientos líquidos contenidos en los tanques de homogenización.



Figura 22

Tomas después del dragado del agua contenida en la caja de homogenización de investigación.



Fuente: Autoría propia

7.5.2 Monitoreo al vertimiento cuando se realiza tratamiento de residuos en la facultad y alto volumen de prácticas de laboratorio realizadas.

El 19 de marzo del 2020, el resultado del ion sulfuro para los vertimientos de investigación fue de 0,0 mg/L, un resultado satisfactorio. Caso contrario con el obtenido para la

caja de docencia, en la cual se obtuvo 2,5 mg/L, lo que encendió las alarmas en la búsqueda las posibles causas del incremento en el valor obtenido, encontrándose que:

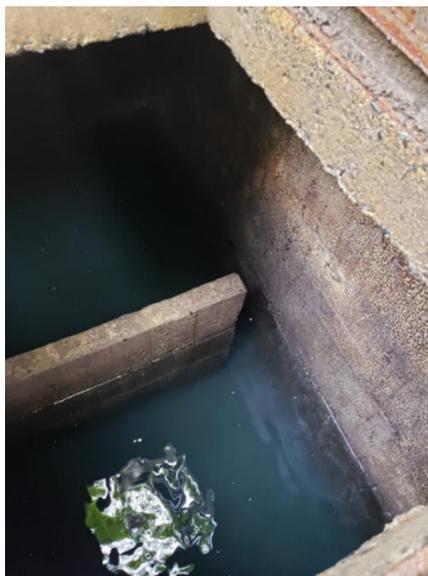
- Para la caja de docencia, la realización de prácticas docentes en los laboratorios fue alta, debido a la programación de ensayos del semestre. Sin embargo, no debería ser motivo de incremento, ya que los residuos peligrosos tienen un manejo acorde a la norma NTP 480.
- Se llevó a cabo tratamiento de residuos en laboratorios de docencia, lo que compromete la caja de docencia, ya que todos los residuos llegan a esta. Esto no quiere decir que se tenga un mal procedimiento en la aplicación de técnicas en la desactivación de los desechos tratados. Al contrario, al realizar un proceso adecuado los residuos drenados no comprometen la actividad microbiana llevada a cabo en la red de vertimientos, pero si genera una mayor concentración en componentes que las bacterias sulfato reductoras lo pueden tomar como alimento y generar elevación del ion sulfuro. La propuesta es realizar descargas de bajo flujo de los residuos tratados en periodos largos de tiempo que no permitan el incremento del ion por encima de lo permitido.

7.5.3 Disminución de prácticas de laboratorio desarrolladas

El 2 de junio del 2020 se realiza nuevamente muestreo, al abrir los tanques y cajas de registro, se percibe un olor moderado, buena señal que indica que la presencia de sulfuros en la recamara de aire de las cajas es baja, visualmente se logró identificar dos fases en el tanque de homogenización de investigación, una fase clara en la parte superior y otra fase turbia en la parte inferior, lo que indica que el tiempo de retención del tanque permite la sedimentación (véase la figura 23).

Figura 23

Toma del tanque de homogenización de investigación.



Nota. Tanque de homogenización de investigación donde se aprecian dos fases, en la parte superior el agua clara y en la parte inferior turbia. Fuente: Autoría propia (2020).

El 16 de marzo del 2020 la IES modifica las formas de atención al público, se opta por el trabajo presencial y remoto, se suspenden las clases presenciales como medida de prevención de contagio para COVID 19 una semana antes del decreto 457 del 2020 de la cuarentena nacional, mediante el cual se imparten las instrucciones para el cumplimiento del aislamiento. En estas fechas, los resultados en la cantidad de sulfuros obtenidos son bajos, las actividades que se habían reanudado dentro del edificio L son pocas (relacionadas con el área de investigación). Los valores encontrados en sulfuros para docencia e investigación no superan el valor permitido (máximo 1 mg/L S=). Los valores de sulfuros encontrados 0,47 y 0,65 mg/L S= para investigación y docencia respectivamente, los cuales se encuentran dentro de lo estipulado por la resolución 0631 del 2015.

8. Conclusiones.

La revisión de la red de vertimientos de los laboratorios del edificio L, permitió identificar que espacios están conectados al tanque de homogenización de vertimientos de docencia y cuales al de investigación. La clasificación de los espacios y de las actividades realizadas, contribuyó a la segregación de las causas más representativas en la formación del ion sulfuro.

El análisis de ion sulfuro en las cajas de docencia e investigación, mostró que la concentración de sulfuros se encontraba por encima del valor permitido, llegando a 3,3 mg/L para la caja investigación y 2,8 mg/L para docencia. Con el retiro de lodos y lavado de los tanques de homogenización se disminuyó la cantidad de sulfuros generados especialmente en la caja de investigación, la cual después de realizar este proceso no reportó valores por encima de 1 mg/L.

En los tanques de homogenización ocurren procesos microbianos de descomposición que generan ion sulfuro, el cual se incrementa en relación a la concentración de la carga contaminante. Las prácticas de laboratorio, el lavado de material, el tratamiento de desechos, es mucho mayor para el área que vincula la red de vertimientos con la caja de docencia, lo que generó reporte de $2,5 S^-$ mg/L aún después del retiro de lodos y lavado de los tanques.

Para evitar el incremento del ion sulfuro en la caja de docencia, se propone la evacuación lenta de los residuos líquidos tratados, cambio de detergente a uno libre de sulfatos y la correcta disposición de los vertimientos, lo que depende del apego a la norma por parte del docente, asistentes y estudiantes.

El trabajo realizado no permite especificar los periodos de tiempo en los cuales se debe realizar el retiro de lodos y lavado de los tanques de homogenización, ya que el periodo de seguimiento fue relativamente corto (2 semestres). Por lo tanto, se debe continuar con monitoreo de los vertimientos por semestre y de los sedimentos formados en los tanques anualmente.

9. Recomendaciones.

- ✓ Es de vital importancia el dar a conocer a los nuevos estudiantes, investigadores, profesores y colaboradores, el adecuado manejo y disposición de los residuos líquidos y sólidos generados en los ensayos realizados en los laboratorios y la repercusión de estos sobre el medio ambiente y la salud de la comunidad de la IES.
- ✓ Con el tratamiento de desechos líquidos se realizan descargas al desagüe, se sugiere llevar a cabo descargas por ciclos (10 litros/día vertidos), para evitar el incremento pronunciado de la carga orgánica o de sulfatos que pueden provocar el aumento del ion sulfuro generado por la acción microbiana.
- ✓ Realizar muestreo y análisis semestralmente. Los valores obtenidos proporcionaran información sobre el estado actual de los tanques y el momento oportuno para realizar la recolección de lodos y limpieza de los mismos.
- ✓ Cambiar de detergente utilizado por uno libre de sulfatos y realizar la limpieza de las cajas de registro.

Bibliografía

- Arellano Diaz, J. (2002). *Introducción a la ingeniería ambiental*. Instituto Politecnico Nacional. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/unadsp/detail.action?docID=3184928>.
- Argos, [En línea] [consultado el 10 de noviembre de 2019]. Resistencia del Concreto. Disponible en: <https://argos.co/resistencia-del-concreto/>
- Benitez, R., Blanes, M., Patricia, S., Ahuad, H., Giménez, C., María, C., & Agroindustrias, F. (2005). *Guía para el manejo de residuos químicos en el laboratorio*.
- Berrio, L., Beltran, O., Agudelo, E., & Cardona, S. (2012). Sistemas de tratamiento para residuos líquidos generados en laboratorios de análisis químico. *Universidad Nacional de Colombia*, 113-124.
- Casero Rodriguez, D. (2015). *Contaminación de las aguas. Gestion de aguas potables*. EOI Escuela de organización industrial. Obtenido de <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/25152/contaminacion-de-las-aguas-gestion-de-aguas-potables>
- Chong de la Cruz, I. (2007). Métodos y técnicas de la investigación documental. *Investigación y Docencia en Bibliotecología*, 183. Obtenido de http://ru.ffyl.unam.mx/bitstream/handle/10391/4716/12_IDB_2007_I_Chong.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Corrales, L. C., Antolinez Romero, D. M., Bohorquez Macias, J. A., & Corredor Vargas, A. M. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *Nova*, 55-81.
- Díaz Báez, M. C., Espitia Vargas, S., & Molina Pérez, F. (2002). *Digestión Anaerobia una Aproximación a la Tecnología*. Bogotá, Colombia.
- Díaz Pérez, H. S., & Caballero Shavier, J. R. (2015). Simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales y su análisis Técnico - económico ambiental en la ciudad de Iquitos mediante el uso de Super pro Designer V6 – 2015.
- Dominguez Gual, M. C. (2015). La contaminación ambiental, un tema con compromiso social. *Producción + Limpia, Corporación Universitaria Lasallista*.
- Dzul Escamilla, M. (2013). *Aplicación básica de los métodos científicos*.
- Equitecnos Ltda. (2020). *Autoclaves Industriales Sterilof®*. Obtenido de <https://www.equitecnos.com/autoclaves-industriales-sterilof/>
- García, N., Delgado, M., & Ureña. (2016). Tratamiento biológico de aguas residuales industriales mediante reactores anaerobios de alta eficacia. Obtenido de https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/677073/garcia-mancha_delgado-ure%C3%B1a_nuria.pdf?sequence=1&isAllowed=n

- Green Metric. (2020). *World University Rankings*. Obtenido de <http://sga.unal.edu.co/logros/green-metric/>
- Gutiérrez Pinto, J. A. (2018). Diseñar propuestas para disminuir la cantidad de residuos químicos en los laboratorios de las asignaturas farmacotecnia II, análisis químico y control fisicoquímico y microbiológico de la Universidad ICESI.
- Fuquene D. (2013). Módulo Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Holmer, M., & Bondgaard, E. J. (2001). photosynthetic and growth response of eelgrass to low oxygen and high sulfide concentrations during hypoxic events. 29–38.
- IES en cifras. (2020). IES.
- IDEAM. (2017). *Sulfuro en agua por volumetría*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Sulfuro+en+agua+por+volumetr%C3%ADa.pdf/769f14b4-55fc-4107-beb6-de229e33ea71>
- INSST. (2019). Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. *Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo*, 11.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2011). Documentación toxicológica para el establecimiento del límite de exposición profesional de sulfuro de hidrógeno. *Documentación Límites de Exposición Profesional DLEP 69*. Obtenido de http://www.oect.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/LEP%20_VALORES%20LIMITE/Doc_Toxicologica/Ficheros%202011/DLEP%2069%20Sulfuro%20de%20hidr%C3%B3geno.pdf
- Lozano Rivas, W. A. (2012). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Bogotá D.C, Colombia.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Bender, K. S., Buckley, D. H., & Stahl, D. A. (2015). Brock Biología del Microorganismo.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (18 de abril de 2015). Resolución 0631. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2005). Decreto 4741. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Resoluciones/res_0693_190407.pdf
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2019). Normativa del Recurso Hídrico. Recuperado de: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/normativa-recurso-hidrico>
- Moeller, G. (s.f.). *Microbiología de Lodos Activados*.
- Nemerrow, N. L., & Dasgupta, A. (1998). *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*. Ediciones Díaz de Santos.

- Nicolle, M., & Brian, M. (2015). Species-specific enzymatic tolerance of sulfide toxicity in plant roots. *Elsevier Masson*.
- NTP480. (1998). *La gestión de los residuos peligrosos en los laboratorios universitarios y de investigación*. Obtenido de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_480.pdf
- Olvera Lobo, S. (2012). *Caracterización de residuos industriales: gestión de residuos urbanos e industriales*. Innovación y Cualificación IC.
- ONU-DASE. (2013). El agua fuente de vida. Obtenido de https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_cooperation_2013/iywc_and_wwd.shtml
- Ramalho, R. S. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona: España: Reverté, S.A.
- Rodríguez Miranda, J. P., García Ubaque, C. A., & Pardo Pinzón, J. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Revista Tecnura*, 19(46), 149-164. doi:10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a12
- Romero Rojas, J. A. (2001). *Tratamiento de Aguas Residuales* (Primera Edición ed.). Bogotá , Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- SafetyAnimation. (1 de September de 2014). *Trailer: Hydrogen Sulfide (H2S) Gas Safety Awareness Training*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=yM4ii4xiWwU&list=PLhaCOMuRGVHuBs_DOvfA_VIyI94-
- Sistema de Gestion Ambiental. *ISO 14000* (s.f.). *Normas Técnicas del Sistema de gestión ambiental*, .
- Sistema de Gestion Ambiental. (2015). *ISO 14001 Especificación para la Implementación del Sistema de Gestion Ambiental*.
- Skoog, D., West, D., Holler, J., & Crouch, S. (2005). *Fundamentos de Química Analítica* (Octava Edición ed.).
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (1995). 4500-S2 SULFIDE. *American Public Health Association, American Water Works, Water Pollution Control Federation*. 19 ed, 4-122---4-127.
- Ubiergo, A., Mihura, E., & Menéndez, G. (2014). *La gestión integral de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Santa Fe*. Santa Fe, Argentina: Ediciones UNL. doi:<https://ebookcentral-proquest-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/lib/unadsp/reader.action?docID=3229716&ppg=4>
- Vera Solano, J. A. (2015). Formulación de una propuesta metodológica para la gestión integral de residuos químicos peligrosos en instituciones de educación superior. *Informador Técnico* .

Obtenido de Vera, J. (2015). Formulación de una propuesta metodológica para la gestión integral de residuos químicos peligrosos en instituciones de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/grave.pdf>

Vera Torrejón, J. A. (2015). Mecanismo de Producción más Limpia: El Reúso de Aguas Residuales en la Actividad Minera. *Pontificia Universidad Católica del Perú*, 1-16.

Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. (1999). Human Domination of Earth's Ecosystems. 494-499. doi:<https://doi.org/10.1126/science.277.5325.494>

Anexos

Anexo A. Valores máximos permisibles en los vertimientos a los sistemas de alcantarillado público, tomado de la Resolución 0631 del 2015.

PARAMETRO	UNIDADES	VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
Generales		
pH	Unidades de pH	5,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	Se aplican las mismas exigencias establecidas para el parámetro respectivo en la actividad específica para los

Compuestos de Fósforo		
Ortofostatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	Se aplican las mismas exigencias establecidas para el parámetro respectivo en la actividad específica para los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales multiplicados por un factor de 1,50.
Fósforo Total (P)	mg/L	Se aplican las mismas exigencias establecidas para el parámetro respectivo en la actividad específica para los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales multiplicados por un factor de 1,50.
Compuestos de Nitrógeno		
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	Se aplican las mismas exigencias establecidas para el parámetro respectivo en la actividad específica para los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales multiplicados por un factor de 1,50.
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	Se aplican las mismas exigencias establecidas para el parámetro respectivo en la actividad específica para los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales multiplicados por un factor de 1,50.
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Se aplican las mismas exigencias establecidas para el parámetro respectivo en la actividad específica para los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales multiplicados por un factor de 1,50.
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Se aplican las mismas exigencias establecidas para el parámetro respectivo en la actividad específica para los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales multiplicados por un factor de 1,50.
Iones		
Cianuro Total (CN ⁻)	mg/L	Se aplican las mismas exigencias establecidas para el parámetro respectivo en la actividad específica para los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales.
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	Se aplican las mismas exigencias establecidas para el parámetro respectivo en la actividad específica para los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales.
Fluoruros (F ⁻)	mg/L	Se aplican las mismas exigencias establecidas para el parámetro respectivo en la actividad específica para los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales.
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	Se aplican las mismas exigencias establecidas para el parámetro respectivo en la actividad específica para los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales.
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	Se aplican las mismas exigencias establecidas para el parámetro respectivo en la actividad específica para los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales.
Metales y Metaloides		
Aluminio (Al)	mg/L	Se aplican las mismas exigencias establecidas para el parámetro respectivo en la actividad específica para los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales.
Arsénico (As)	mg/L	Se aplican las mismas exigencias establecidas para el parámetro respectivo en la actividad específica para los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales.
Bario (Ba)	mg/L	Se aplican las mismas exigencias establecidas para el parámetro respectivo en la actividad específica para los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales.
Boró (Bo)	mg/L	Se aplican las mismas exigencias establecidas para el parámetro respectivo en la actividad específica para los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales.

Anexo B. Resultados del análisis de caracterización de vertimientos de la IES



HIDROAMBIENTAL LTDA.
Ingeniería y Laboratorio de Aguas
Fecha de elaboración: Agosto – Octubre de 2018
Orden de Servicio No.FT-VT-004-520-LB

PARÁMETRO	UNIDAD	PUNTO 1	PUNTO 3
DBO ₅	mg O ₂ /L	108	259
DQO	mg O ₂ /L	180	556
Fenoles	mg/L	0,33	Menor de 0,17
Grasas y aceites	mg/L	5,67	8,37
pH	Unidades de pH	6,35 – 7,95	6,18 – 7,04
Sólidos Sedimentables	ml/L	Menor de 0,1	Menor de 0,1
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	Menor de 7,00	106
Temperatura máxima	°C	27,7	23
Sustancias Activas en Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	0,50	0,69

- En los **puntos 1 y 3** se realizó análisis y reporte de los parámetros básicos pH, Temperatura, DBO, DQO, SST, SSED, Grasas y aceites y Fenoles, no se realizó comparación con la normatividad ya que el decreto 0631 de 2015 no determina norma para este tipo de vertimientos.

Las normas que establece la resolución 0631 de marzo de 2015 para vertimientos líquidos puntuales de aguas residuales no domésticas a un alcantarillado público (Art. 16) de actividades industriales, comerciales o de servicios (Art. 15) diferentes a los contemplados en los capítulos V y VI, se comparan a continuación con los resultados obtenidos en el **punto 2**:

PARÁMETRO	UNIDAD	NORMA (Resolución 0631)	PUNTO 2
Generales			
pH	Unidades de pH	5,00 – 9,00	7,05 – 7,81
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	225,00	Menor de 81
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	75,00	Menor de 4,9
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	75,00	82,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	ml/L	1,50	2,0
Grasas y aceites	mg/L	15,00	7,37
Compuestos semivolátiles fenólicos	mg/L	Análisis y reporte	0,058
Fenoles Totales	mg/L	0,20	Menor de 0,17
Sustancias Activas en Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y reporte	0,50
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	10,00	1,14
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L	Análisis y reporte	Menor de 0,002
Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno (BTEX)	mg/L	Análisis y reporte	Menor de 0,1
Compuestos orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/L	Análisis y reporte	Menor de 0,02
Compuestos de fósforo			
Ortofostatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	Análisis y reporte	2,97
Fósforo total (P)	mg/L	Análisis y reporte	3,93



HIDROAMBIENTAL LTDA.
Ingeniería y Laboratorio de Aguas
Fecha de elaboración: Agosto – Octubre de 2018
Orden de Servicio No.FT-VT-004-520-LB

Laboratorio Acreditado
Res. 1818 Agosto 2018

Compuestos de nitrógeno			
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L	Análisis y reporte	Menor de 0,16
Nitritos (N-NO ₂)	mg/L	Análisis y reporte	Menor de 0,08
Nitrógeno Amomiacal (N-NH ₃)	mg/L	Análisis y reporte	1,40
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y reporte	48,7
Iones			
Cianuro Total (CN)	mg/L	0,10	Menor de 0,005
Cloruros (Cl)	mg/L	250,00	71
Fluoruros (F)	mg/L	5,00	Menor de 0,1
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	250,00	25,2
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	1,00	1,226
Metales y metaloides			
Aluminio (Al)	mg/L	Análisis y reporte	Menor de 1,0
Arsénico (As)	mg/L	0,10	Menor de 0,0025
Bario (Ba)	mg/L	1,00	Menor de 0,500
Boro (Bo)	mg/L	Análisis y reporte	Menor de 0,100
Cadmio (Cd)	mg/L	0,01	Menor de 0,00025
Cinc (Zn)	mg/L	3,00	0,104
Cobalto (Co)	mg/L	0,10	Menor de 0,001
Cobre (Cu)	mg/L	1,00	Menor de 0,20
Cromo (Cr)	mg/L	0,10	Menor de 0,100
Estaño (Sn)	mg/L	2,00	Menor de 1,0
Hierro (Fe)	mg/L	1,00	0,73
Mercurio (Hg)	mg/L	0,002	Menor de 0,0010
Niquel (Ni)	mg/L	0,10	Menor de 0,08
Plata (Ag)	mg/L	0,20	Menor de 0,05
Plomo (Pb)	mg/L	0,10	Menor de 0,10
Selenio (Se)	mg/L	0,20	Menor de 0,0025
Vanadio (V)	mg/L	1,00	Menor de 0,01
Otros parámetros de análisis y reporte			
Acidez total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte	Menor de 20
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte	232
Dureza cálcica	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte	46
Dureza total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte	79
Color Real (medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)	m ^l	Análisis y reporte	1,44; 0,659 y 0,327

- Todos los valores de pH se encontraron dentro del rango establecido por la norma.
- Los parámetros básicos **Sólidos Suspendidos Totales**, **Sólidos Sedimentables** y el **Ion sulfuro** medidos en el efluente **no cumplen** con la norma de vertimientos, ya que presentan valores mayores a los permisibles.
- La temperatura máxima de los vertimientos fue de 27,2°C; lo que indica que cumple con la temperatura máxima permisible de 40°C (Art. 5).
- El caudal promedio total durante la jornada de monitoreo para los puntos 1, 2 y 3 fue de 0,816; 2,680 y 0,153 L/s.

Anexo C. Resultados del análisis de sulfuros de la empresa Hidroambiental Ltda



Laboratorio Acreditado
Res. 1818 Agosto 2018

Fecha de Elaboración:
Orden de Servicio No:



HIDROAMBIENTAL LTDA.
Ingeniería y Laboratorio de Aguas

- Redes Hidrosanitarias
- Acueductos y Alcantarillados
- Sistema de Tratamiento de Agua
- Consultoría Ambiental

- Laboratorio Ambiental
- Análisis de Calidad del Agua
- Monitoreo de Calidad del Aire y Ruido
- Caracterización de Residuos Sólidos

2019-08-13
FT-VT-004-513-LB

FT-LS-003
Página 1 de 1

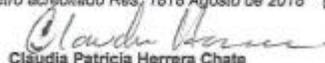
CERTIFICADO DE ANÁLISIS

No. de Laboratorio/No. de Informe R19-0550
Solicitado por
Procedencia
Dirección
Municipio
Localización Geodésica
Clase de Agua RESIDUAL NO DOMESTICA
Punto de Muestreo PUNTO 1: SALIDA CAJA DE NEUTRALIZACIÓN CENTRAL DE GASES
Fecha de Muestreo 2019-07-18
Fecha de Recepción 2019-07-18
Responsable del Muestreo Hidroambiental Ltda
Fecha de Análisis Desde: 2019-07-18 Hasta: 2019-08-08

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

Parámetro Analizado	Unidades	Método Utilizado	Resultado	Res 0631 de 2015 Art. 16 Alcantarillado
Sulfuros (SUB)	mg S- /L	SM 4500-S-2 F Iodométrico	< 1	0 - 1
AC Temperatura (Campo)	°C	SM 2550 B. Métodos de Laboratorio y de Campo	27.0	— - —
AC pH (Campo)	Unidades de pH	SM 4500-H+ B. Método Electrométrico	6.20	5.00 - 9.00

AC = Parámetro acreditado Res. 1818 Agosto de 2018 (SUB) = Parámetro subcontratado

Revisó 
Claudia Patricia Herrera Chate
Química P.Q. 5477
Directora Técnica

Los anteriores resultados son válidos únicamente para la muestra analizada
Este informe no puede reproducirse sin la aprobación de Hidroambiental Ltda

Fin del Documento

Aprobó 
Ing. Claudia Jimena Cabrera N
Ingeniera Sanitaria y Ambiental (Esp)
Gerente Técnico



Laboratorio Acreditado
Res. 1818 Agosto 2018

Fecha de Elaboración:
Orden de Servicio No:



HIDROAMBIENTAL S.A.S.

Ingeniería y Laboratorio de Aguas

- Redes Hidrosanitarias
- Acueductos y Alcantarillados
- Sistema de Tratamiento de Agua
- Consultoría Ambiental

- Laboratorio Ambiental
- Análisis de Calidad del Agua
- Monitoreo de Calidad del Aire y Ruido
- Caracterización de Residuos Sólidos

2019-08-26
FT-VT-004-537-LB

FT-LS-003
Página 1 de 1

CERTIFICADO DE ANÁLISIS

No. de Laboratorio/No. de Informe R19-0594
Solicitado por
Procedencia
Dirección
Municipio
Localización Geodésica
Clase de Agua RESIDUAL NO DOMESTICA
Punto de Muestreo PUNTO 1: SALIDA CAJA DE NEUTRALIZACIÓN CENTRAL DE GASES
Fecha de Muestreo 2019-07-30
Fecha de Recepción 2019-07-30
Responsable del Muestreo Hidroambiental S.A.S.
Fecha de Análisis Desde: 2019-07-30 Hasta: 2019-08-06

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

Parámetro Analizado	Unidades	Método Utilizado	Resultado	Res 0631 de 2015 Art. 15 Alcantarillado
Sulfuros (SUB)	mg S- /L	SM 4500-S-2 F Iodometrico	< 1	0 - 1.00
AC Temperatura (Campo)	°C	SM 2550 B. Metodos de Laboratorio y de Campo	25.0	--- - ---
AC pH (Campo)	Unidades de pH	SM 4500-H+ B. Método Electrométrico	6.20	5.00 - 9.00

AC = Parámetro acreditado Res. 1818 Agosto de 2018 (SUB) = Parámetro subcontratado

Revisó

Claudia Patricia Herrera Chate
Química P.Q. 5477
Directora Técnica

Los anteriores resultados son válidos únicamente para la muestra analizada
Este informe no puede reproducirse sin la aprobación de Hidroambiental S.A.S.

Fin del Documento

Aprobó

Ing. Claudia Jimena Cabrera N
Ingeniera Sanitaria y Ambiental (Esp)
Gerente Técnico



Laboratorio Acreditado
Res. 1818 Agosto 2018



HIDROAMBIENTAL LTDA.
Ingeniería y Laboratorio de Aguas

- Redes Hidrosanitarias
- Acueductos y Alcantarillados
- Sistema de Tratamiento de Agua
- Consultoría Ambiental

- Laboratorio Ambiental
- Análisis de Calidad del Agua
- Monitoreo de Calidad del Aire y Ruido
- Caracterización de Residuos Sólidos

Fecha de Elaboración:
Orden de Servicio No:

2019-08-13
FT-VT-004-513-LB

FT-LS-003
Página 1 de 1

CERTIFICADO DE ANÁLISIS

No. de Laboratorio/No. de Informe R19-0551

Solicitado por

Procedencia

Dirección

Municipio

Localización Geodésica

Clase de Agua

Punto de Muestreo

Fecha de Muestreo

Fecha de Recepción

Responsable del Muestreo

Fecha de Análisis

RESIDUAL NO DOMESTICA

PUNTO 2: SALIDA CAJA DE NEUTRALIZACION FRENTE A PLAZOLETA

2019-07-18

2019-07-18

Hidroambiental Ltda

Desde: 2019-07-18

Hasta: 2019-08-08

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

Parámetro Analizado	Unidades	Método Utilizado	Resultado	Res 0631 de 2015 Art. 15 Alcantarillado
Sulfuros (SUB)	mg S- /L	SM 4500-S-2 F Iodométrico	< 1	0 - 1.00
AC Temperatura (Campo)	°C	SM 2550 B. Metodos de Laboratorio y de Campo	26.0	— - —
AC pH (Campo)	Unidades de pH	SM 4500-H+ B. Método Electrométrico	6.30	5.00 - 9.00

AC = Parámetro acreditado Res. 1818 Agosto de 2018 (SUB) = Parámetro subcontratado

Revisó

Claudia Patricia Herrera Chate
Claudia Patricia Herrera Chate
Química P.Q. 5477
Directora Técnica

Los anteriores resultados son válidos únicamente para la muestra analizada
Este informe no puede reproducirse sin la aprobación de Hidroambiental Ltda

Fin del Documento

Aprobó

Claudia Ximena Cabrera N
Ing. Claudia Ximena Cabrera N
Ingeniera Sanitaria y Ambiental (Esp)
Gerente Técnico



Laboratorio Acreditado
Res. 1818 Agosto 2018



HIDROAMBIENTAL S.A.S.

Ingeniería y Laboratorio de Aguas

- Redes Hidrosanitarias
- Acueductos y Alcantarillados
- Sistema de Tratamiento de Agua
- Consultoría Ambiental

- Laboratorio Ambiental
- Análisis de Calidad del Agua
- Monitoreo de Calidad del Aire y Ruido
- Caracterización de Residuos Sólidos

Fecha de Elaboración:
Orden de Servicio No:

2019-08-26
FT-VT-004-537-LB

FT-LS-003
Página 1 de 1

CERTIFICADO DE ANÁLISIS

No. de Laboratorio/No. de Informe R19-0595

Solicitado por

Procedencia

Dirección

Municipio

Localización Geodésica

Clase de Agua

RESIDUAL NO DOMESTICA

Punto de Muestreo

PUNTO 2: SALIDA CAJA DE NEUTRALIZACION FRENTE A PLAZOLETA

Fecha de Muestreo

2019-07-30

Fecha de Recepción

2019-07-30

Responsable del Muestreo

Hidroambiental S.A.S

Fecha de Análisis

Desde: 2019-07-30

Hasta: 2019-08-06

RESULTADOS DE ANÁLISIS FISIQUÍMICOS

Parámetro Analizado	Unidades	Método Utilizado	Resultado	Res 0631 de 2015 Art. 15 Alcantarillado
Sulfuros (SUB)	mg S- /L	SM 4500-S-2 F Iodométrico	< 1	0 - 1.00
^{AC} Temperatura (Campo)	°C	SM 2550 B. Métodos de Laboratorio y de Campo	25.6	— - —
^{AC} pH (Campo)	Unidades de pH	SM 4500-H+ B. Método Electrométrico	5.77	5.00 - 9.00

AC = Parámetro acreditado Res. 1818 Agosto de 2018 (SUB) = Parámetro subcontratado

Revisó

Claudia Patricia Herrera Chate
Química P.Q. 5477
Directora Técnica

Los anteriores resultados son válidos únicamente para la muestra analizada
Este informe no puede reproducirse sin la aprobación de Hidroambiental S.A.S

Fin del Documento

Aprobó

Ing. Claudia Ximena Cabrera N
Ingeniera Sanitaria y Ambiental (Esp)
Gerente Técnico

Anexo D. Listado de fuentes generadoras de residuos químicos

Programa académico	Laboratorio de docencia
Química	Análisis Instrumental I y II Análisis Químico Bioquímica CN Bioquímica Avanzada Enzimología Fisicoquímica I y II Química Orgánica I Química Orgánica II Química Orgánica III Química Inorgánica Química General I Química General II
Química Farmacéutica	Control Fisicoquímico y Microbiológico Fitoquímica Farmacotecnia y Farmacotecnia II Cosmética Biofarmacia Toxicología Nutrición Farmacia Industrial
Biología	Biotecnología Biología general Biología celular Microbiología Botánica Fisiología Animal Genética Fisiología Vegetal
Medicina	Microbiología medica

	Bioquímica I y II
Ingeniería Bioquímica	Microbiología Industrial Bioanálisis Química General Ingeniería Bioquímica
Electivas	Hagamos Química en el Laboratorio Química de Aromas y Sabores
Ingeniería Industrial	Química General Ingeniería industrial

Fuente: Gutierrez (2018)

Anexo E. Resultados de análisis de sulfuros obtenidos en las cajas de docencia e investigación del edificio L de la IES.

ANALISIS DE SULFURO EN AGUA POR VOLUMETRIA, METODO TOMADO DEL IDEAM.

(Código: TP 0153 Fecha de elaboración: 10/07/2007 Versión: 02 Página 1)

REALIZADO POR:			
Nombre	Cargo	Firma	Fecha
Jhonner Gutierrez	Asistente docente		24/07/2019
John Jairo Urbano	Asistente docente		24/07/2019

1. INFORMACION GENERAL

Número de Muestras:	4
Nombre y dirección de muestras	

2. RESULTADOS DE SULFITO OBTENIDOS

Medición de pH

Caja de muestreo	pH
Docencia	6.6
Investigación	6.29

Tabla # 1: Resultados obtenidos del pH en las cajas de neutralización.

Medición de ion sulfuro

Caja de muestreo	Resultados
Docencia	1.1 mg S ²⁻ Docencia caja/ L
Investigación	1.9 mg S ²⁻ Investigación caja/ L

Tabla # 2: Resultados obtenidos de la concentración de ion sulfuro en las muestras.

ANALISIS DE SULFURO EN AGUA POR VOLUMETRIA, METODO TOMADO DEL IDEAM.

(Código: TP 0153 Fecha de elaboración: 10/07/2007 Versión: 02 Página 1)

REALIZADO POR:			
Nombre	Cargo	Firma	Fecha
Jhonner Gutierrez	Asistente docente		30/07/2019
John Jairo Urbano	Asistente docente		30/07/2019

1. INFORMACION GENERAL

Número de Muestras:	6
Nombre y dirección de muestras	

2. RESULTADOS DE SULFURO OBTENIDOS

Medición de pH

Caja de muestreo	pH	Temperatura
Docencia	8.3	25.5
Investigación	7.47	25

Medición del ion sulfuro

Caja de muestreo	Resultados
Docencia	1.1 mg S ⁼ Docencia caja/ L
Investigación	1.7 mg S ⁼ Docencia caja/ L

Tabla 1. Resultados de concentración de ion sulfuro antes del dragado

Caja de muestreo	Resultados
Docencia	1.3 mg S ⁼ Docencia caja/ L
Investigación	3.3 mg S ⁼ Docencia caja/ L

Tabla 2. Resultados de concentración de ion sulfuro después del dragado

ANALISIS DE SULFURO EN AGUA POR VOLUMETRIA, METODO TOMADO DEL IDEAM.

(Código: TP 0153 Fecha de elaboración: 10/07/2007 Versión: 02 Página 1)

REALIZADO POR:			
Nombre	Cargo	Firma	Fecha
Jhonner Gutierrez	Asistente docente		23/01/2020
John Jairo Urbano	Asistente docente		23/01/2020

1. INFORMACION GENERAL

Número de Muestras:	6
Nombre y dirección de muestras	

2. RESULTADOS

Medición de pH

Lugar de muestreo	pH	Temperatura
Docencia	7.9	26
Investigación	7.5	25.3

Tabla # 1: Resultados obtenidos del pH en las cajas de neutralización.

Medición de ion sulfuro

Caja de muestreo	Resultados
Docencia	0 mg/L S ⁼ Docencia
Investigación	0.6 mg/L S ⁼ Investigación

Tabla # 2: Resultados obtenidos de la concentración de ion sulfuro en las muestras.

ANALISIS DE SULFURO EN AGUA POR VOLUMETRIA, METODO TOMADO DEL IDEAM.

(Código: TP 0153 Fecha de elaboración: 10/07/2007 Versión: 02 Página 1)

REALIZADO POR:			
Nombre	Cargo	Firma	Fecha
Jhonner Gutierrez	Asistente docente		27/01/2020
John Jairo Urbano	Asistente docente		27/01/2020

1. INFORMACION GENERAL

Número de Muestras:	6
Nombre y dirección de muestras	

2. RESULTADOS DE SULFURO OBTENIDOS

Medición de pH

Lugar de muestreo	pH	Temperatura
Docencia	7.74	25.1
Investigación	8.0	25.4

Tabla # 1: Resultados obtenidos del pH en las cajas de neutralización.

Medición de ion sulfuro

Caja de muestreo	Resultados
Docencia	0.0 mg/L S ⁼ Docencia
Investigación	0.35 mg/L S ⁼ Investigación

Tabla # 2: Resultados obtenidos de la concentración de ion sulfuro en las muestras.

ANALISIS DE SULFURO EN AGUA POR VOLUMETRIA, METODO TOMADO DEL IDEAM.

(Código: TP 0153 Fecha de elaboración: 10/07/2007 Versión: 02 Página 1)

REALIZADO POR:			
Nombre	Cargo	Firma	Fecha
Jhonner Gutierrez	Asistente docente	<i>Jhonner A. Gutierrez P.</i>	19/03/2020
John Jairo Urbano	Asistente docente	<i>John Jairo Urbano</i>	19/03/2020

1. INFORMACION GENERAL

Número de Muestras:	6
Nombre y dirección de muestras	

2. RESULTADOS OBTENIDOS

Medición de pH

Lugar de muestreo	pH	Temperatura
Docencia	7.0	25.1
Investigación	8.0	26

Tabla # 1: Resultados obtenidos del pH en las cajas de neutralización.

Medición de ion sulfuro

Caja de muestreo	Resultados
Docencia	2,8 mg/L S ⁻ Docencia
Investigación	0.8 mg/L S ⁻ Investigación

Tabla # 2: Resultados obtenidos de la concentración de sulfuros en las muestras.

Verificación de datos docencia con toma de muestra y análisis el mismo día.

Muestreo	Resultados
Docencia	2,5 mg/L S ⁻ Docencia
Bianco (muestra agua potable)	0.0 mg/L S ⁻ Investigación

Tabla # 3: Resultados obtenidos de la concentración de sulfuros en las muestras.

ANALISIS DE SULFURO EN AGUA POR VOLUMETRIA, METODO TOMADO DEL IDEAM.

(Código: TP 0153 Fecha de elaboración: 10/07/2007 Versión: 02 Página 1 - 5)

REALIZADO POR:			
Nombre	Cargo	Firma	Fecha
Jhonner Gutierrez	Asistente docente	<i>Jhonner A. Gutierrez P.</i>	2/06/2020
John Jairo Urbano	Asistente docente	<i>John Jairo Urbano</i>	2/06/2020

1. INFORMACION GENERAL

Número de Muestras:	6
Nombre y dirección de muestras	

2. RESULTADOS OBTENIDOS

Medición de pH

Caja de muestreo	pH	Temperatura °C
Docencia	7.38	22.1
Investigación	7.37	22

Tabla # 1: Resultados obtenidos del pH y temperatura en las cajas de neutralización.

Medición de ion sulfuro

Caja de muestreo	Resultados
Docencia	0.65 mg/L S ²⁻ Docencia
Investigación	0.47 mg/L S ²⁻ Investigación

Tabla # 2: Promedio de los resultados obtenidos de la concentración del ion sulfuro en las muestras.

Caudal Docencia: 0,024 L/s aproximado.

ANALISIS DE SULFURO EN AGUA POR VOLUMETRIA, METODO TOMADO DEL IDEAM.

(Código: TP 0153 Fecha de elaboración: 10/07/2007 Versión: 02 Página 1 - 5)

REALIZADO POR:

Nombre	Cargo	Firma	Fecha
Jhonner Gutierrez	Asistente docente		21/07/2020
John Jairo Urbano	Asistente docente		21/07/2020

1. INFORMACION GENERAL

Número de Muestras:	6
Nombre y dirección de muestras	

2. RESULTADOS OBTENIDOS

Medición de pH

Caja de muestreo	pH	Temperatura °C
Docencia	6.76	24.8
Investigación	7.3	25.2

Tabla # 1: Resultados obtenidos del pH y temperatura en las cajas de neutralización.

Medición de ion sulfuro

Caja de muestreo	Resultados
Docencia	0.38 mg/L S ⁼ Docencia
Investigación	0.0 mg/L S ⁼ Investigación

Tabla # 2: Promedio de los resultados obtenidos de la concentración del ion sulfuro en las muestras.