

 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Virgilio Miranda	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
	Dependencia	Aprobado		Pág.
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(103)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	RICHARD ALSINA CHONA JUAN SEBASTIAN CLARO LAZARO		
FACULTAD	CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA AMBIENTAL		
DIRECTOR	YEENY LOZANO LAZARO		
TÍTULO DE LA TESIS	DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA PILOTO DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO PARA EL CONTROL DE CONTAMINACION DE AGUAS RESIDUALES VERTIDAS POR EL LABORATORIO DE LACTEOS Y CARNICOS DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA.		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>EL RECURSO HIDRICO HOY EN DIA SE HA VISTO AFECTADO POR VARIOS FACTORES QUE INFLUYEN DIRECTAMENTE EN LA ALTERACION DE SUS COMPONENTES FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS, QUE GENERAN DISMINUCION EN LA CALIDAD DE VIDA TANTO DE LA POBLACION COMO DEL ECOSISTEMA HIDRICO. EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO SURGE COMO UNA ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS PARA CAMBIAR SU DISPOSICION FINAL Y ASI, PERMITIR LA DESCONTAMINACION DE FUENTES HIDRICAS Y OBTENER UN REUSO PARA ACTIVIDADES NO DOMESTICAS.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 103	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DE TRATAMIENTO
BIOLÓGICO PARA EL CONTROL DE CONTAMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES
VERTIDAS POR EL LABORATORIO DE LÁCTEOS Y CÁRNICOS DE LA UNIVERSIDAD
FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

Autores:

Richard Alsina Chona

Cód.: 161444

Juan Sebastián Claro Lázaro

Cód.: 161540

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Ambiental.

Director:

Yeeny Lozano Lázaro

Ing. Ambiental y Saneamiento básico

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

INGENIERÍA AMBIENTAL

Dedicatoria

A Dios, por ser nuestro mayor guía y permitirnos seguir el camino.

A nuestros padres y familiares, por el esfuerzo, el apoyo incondicional y los buenos consejos.

A nuestros docentes, por formarnos y compartir sus conocimientos.

Agradecimientos

A todas aquellas personas que brindaron un apoyo en el desarrollo del proyecto: decano de la facultad Daniel Antonio Hernández Villamizar, Ing., esp. Eimer Amaya Amaya, por su gestión, y el apoyo.

A nuestra directora, Ing. Yenny Lozano Lázaro. Por su orientación en el desarrollo del proyecto.

A los jurados por su apoyo brindado y a la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

A ellos, a todos, las gracias.

Índice

Resumen.....	xiii
Introducción	xv
Capítulo 1. Diseño e implementación de un sistema piloto de tratamiento biológico para el control de contaminación de aguas residuales vertidas por el laboratorio de lácteos y cárnicos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.....	1
1.1. Problema de investigación	1
1.2. Descripción del problema.....	1
1.3. Formulación del problema	4
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
1.5. Justificación.....	5
1.6. Delimitaciones.....	7
1.6.1. Delimitación Temporal.....	7
1.6.2. Delimitación Geográfica.....	7
1.6.3. Delimitación Conceptual.....	7
1.6.4. Delimitación Operativa.....	7
Capítulo 2. Marco referencial	8
2.1. Antecedentes	8

2.2. Marco histórico	10
2.2.1. Plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia.	10
2.3. Marco contextual.....	13
2.3.1. Descripción Física.	16
2.3.2. Límites del municipio.....	16
2.3.3. Industrias lácteas y cárnicas.	17
2.3.4. Área de estudio.	18
2.4. Marco conceptual.....	19
2.4.1. Conceptos de las aguas residuales.....	19
2.4.2. Principales parámetros físicos del agua residual.....	20
2.4.3. Principales parámetros químicos del agua residual.	22
2.4.4. Características microbiológicas de las aguas residuales.....	23
2.4.5. Tipos de bacterias según su acción bacteriológica.	26
2.4.6. Tratamientos de aguas residuales.....	27
2.5. Marco teórico	29
2.5.1. Estudio de la problemática.	29
2.5.2. Estudio de los residuos líquidos en la Industria Láctea.....	30
2.5.3. Efectos del problema.	30
2.5.4. Sistema de tratamiento biológico.	32
2.6. Marco legal.....	34
Capítulo 3. Diseño metodológico	36
3.1. Tipo de investigación	36

3.1.1. Diseño del sistema biológico para el tratamiento de las aguas residuales.....	38
3.1.2. Fases para llevar a cabo el sistema de tratamiento biológico de agua residual.	40
3.2. Población.....	48
3.3. Muestra.....	48
3.3.1. Rotulado de las muestras.	50
3.3.2. Cuaderno de campo.	50
3.4. Recolección de información.....	53
3.5. Análisis de información	56
3.6. Administración del proyecto	56
3.7. Cronograma de actividades	58
Capítulo 4. Presentación Resultados.....	59
4.1. Antecedentes del sistema piloto, su diseño y construcción	59
4.2. Diseño propuesto por los autores	59
4.3. Desarrollo y ejecución de las actividades	60
4.3.1. Identificar los procesos que se realizan en el laboratorio.....	61
4.3.1.1. Vertimientos en las industrias de productos lácteos.....	62
4.3.2. Aforo del vertimiento puntual descargado por el laboratorio de Lácteos y cárnicos. .	64
4.3.3. Recolección de muestra de las aguas residuales vertidas por el laboratorio de lácteos y cárnicos.....	65
4.3.4. Resultado de los Análisis físicos-químicos de las aguas residuales vertidas por el laboratorio de lácteos y cárnicos de la UFPSO.	66

4.3.5. Diseño y construcción para la implementación del sistema piloto para el tratamiento de las aguas residuales.....	68
4.3.6. Conexión y puesta en marcha del sistema piloto de proceso biológico.	70
4.3.7. Recolección del agua residual y determinación de remoción del sistema biológico...	72
4.3.8. Evaluación de los resultados del agua residual antes y después de entrar al sistema de tratamiento.	73
4.3.9. Calcular los niveles de remoción por el sistema piloto, hallando el porcentaje de la carga contaminante disminuida.	76
4.3.10. Revisión bibliográfica y normativa para el reúso de aguas residuales.	77
4.3.11. Establecer alternativas de aprovechamiento de las aguas tratadas.	78
Conclusiones	80
Recomendaciones	82
Referencias.....	83

Lista de Tablas

Tabla 1. Normatividad acorde al manejo de aguas residuales en Colombia.	34
Tabla 2. Aforo No. 1 de caudal proveniente del laboratorio UFPSO.	42
Tabla 3. Aforo N°2 de caudal proveniente del laboratorio – UFPSO	42
Tabla 4. Microorganismos anaerobios encontrados en diferentes rangos de temperatura.	46
Tabla 5. Microorganismos anaerobios encontrados en diferentes rangos de pH.....	47
Tabla 6. Referencian los parámetros a analizar y el valor limite permisible establecido por la norma Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015	54
Tabla 7. Parámetros permisibles a la hora de elaborar productos lácteos, según la Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015	55
Tabla 8. Recursos financieros utilizados para el diseño, construcción y ejecución del sistema de tratamiento biológico.	57
Tabla 9. Cronograma de actividades.....	58

Lista de Figuras

Figura 1. Cobertura de la UFPSO. La figura muestra el área de la universidad correspondiente a 115,2 hectáreas a escala 1:2000. Realizado con QGIS 2.8.7 Wien; SRC: Magna Sirgas/Colombia Bogotá Zone.....	14
Figura 2. Ubicación del municipio de Ocaña, Norte de Santander.....	15
Figura 3. Delimitación del área de estudio.	18
Figura 4. Localización del Laboratorio de UFPSO.	19
Figura 5. Descripción concreta de cada fase del proyecto.....	37
Figura 6. Diseño de la Planta de Tratamiento Biológico.....	38
Figura 7. Procesos químicos de la digestión.....	44
Figura 8. Caracterización de zona de muestreo. Realizado con QGIS 2.8.7 Wien; SRC: Magna Sirgas/Colombia Bogotá Zone.....	50
Figura 9. Resultados obtenidos por el laboratorio	52
Figura 10. Diseño del sistema piloto.....	60
Figura 11. elaboración y transformación de subproductos de la leche y carne	61
Figura 12. Aforo del vertimiento puntual descargado por el laboratorio de Lácteos y cárnicos..	64
Figura 13. Recolección de muestra de las aguas residuales vertidas por el laboratorio de lácteos y cárnicos	65
Figura 14. Resultado de los Análisis físicos-químicos de las aguas residuales vertidas por el laboratorio de lácteos y cárnicos de la UFPSO.....	67
Figura 15. adecuación de los tanques para el proceso de tratamiento	68

Figura 16. conexión de cada uno de los tanques de 60 L con la tubería correspondiente de 3 pulgadas	69
Figura 17. Diseño y construcción para la implementación del sistema piloto para el tratamiento de las aguas residuales	70
Figura 18. Conexión y puesta en marcha del sistema piloto de proceso biológico.	70
Figura 19. Descomposición de la materia orgánica resultante de cada proceso	71
Figura 20. Recolección del agua residual y determinación de remoción del sistema biológico ..	72
Figura 21. Resultados obtenidos en la entrada de agua residual al sistema.....	74
Figura 22. Resultados obtenidos en la salida del sistema de tratamiento.	75
Figura 23. Diferenciación de los parámetros realizados de las aguas residuales antes y después del tratamiento biológico	76
Figura 24. Aprovechamiento de aguas tratadas para uso agrícola.....	78
Figura 24. Aprovechamiento de aguas tratadas para uso Industrial	79

Resumen

El recurso hídrico hoy en día se ha visto afectado por varios factores que influyen directamente en la alteración de sus componentes fisicoquímicos y microbiológicos, es decir, factores que afectan las propiedades organolépticas del agua y por consecuencia, molecularmente también se ve afectado. La actividad antrópica juega un papel importante en este proceso ya que la mayoría de las cosas que realizamos a diario afectan el medio que nos rodea; en este caso, el manejo inadecuado del agua potable que actualmente gran parte del mundo tiene acceso y tal es el caso, que aún no se han establecido estrategias de aprovechamiento de las aguas residuales como factor importante para la reducción de contaminantes en el agua y así mejorar el bienestar y la calidad de vida de las personas, de los animales y los hábitats en los que se encuentran. El tratamiento biológico del agua residual proveniente de actividades productivas suele ser una alternativa eficiente a corto y mediano plazo, ya que a través de los microorganismos que se desarrollan en estas condiciones, se puede obtener un agua en un 99% libre de microorganismos patógenos. El análisis de las muestras de las aguas residuales evidenció que existe alta carga contaminante (microbiológica, sólidos totales suspendidos, grasas, entre otros) obteniendo los siguientes resultados, en cuanto al porcentaje de contaminantes removidos: 83% de Demanda Química de Oxígeno (DQO), 82% de Demanda Bioquímica y un 84% de Sólidos Totales Suspendidos, pertenecientes al agua residual tratada en el sistema. Por lo tanto, los resultados obtenidos nos demuestran que el sistema de tratamiento aerobio y anaerobio de las aguas residuales es eficiente, debido a la remoción de contaminantes, sin embargo, el agua obtenida después del tratamiento debe ser empleada sólo para riego de cultivos, lavado de vías para

control de material particulado, entre otros estrictamente mencionados en la resolución 1207 de 2014.

Palabras clave: *Aguas residuales, tratamiento biológico, actividad antrópica, recurso hídrico.*

Introducción

En las últimas décadas, el mundo ha venido mostrando preocupación y ha buscado la manera de encontrarle solución a los problemas relacionados con los efluentes líquidos provenientes del uso doméstico, comercial e industrial de las aguas de abastecimiento. Por lo tanto, el uso que se le da al agua en este caso es de tipo Industrial debido a que en el laboratorio se llevan a cabo actividades de fabricación de productos lácteos y cárnicos, tales como: Helados, queso, embutidos, entre otros, por lo cual se quiere eliminar la carga contaminante (Microorganismos patógenos, materia orgánica e inorgánica) proveniente de las aguas que han sido utilizadas y que éstas son vehículo de muchas enfermedades y alteraciones para el medio ambiente.

El objeto de análisis de este trabajo se enfocó en proponer una metodología para el tratamiento biológico para las aguas residuales provenientes del laboratorio de Lácteos y Cárnicos de la Universidad Francisco de Paula Santander, el cual se encuentra cerca ubicado cerca al lago perteneciente al jardín botánico JEQA, donde son desechadas y, por lo tanto, se quiere desarrollar esta idea tratándose de una fuente hídrica que no debe recibir este tipo de aguas.

Lo que se busca con este proyecto es modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, para así evitar que su disposición cause problemas ambientales. Principalmente, se evaluó la eficiencia que tiene el sistema de tratamiento para remover la carga contaminante (DBO₅, DQO, SST) proveniente del laboratorio de Lácteos y Cárnicos de la UFPSO, teniendo en

cuenta que, para dicho proceso se tomaron muestras antes y después del tratamiento del agua residual y se pudo verificar que el sistema biológico es amigable con el medio ambiente y devuelve un agua en un 80%, aprovechable para las actividades agrícolas de la institución, entre otros usos no domésticos.

Capítulo 1. Diseño e implementación de un sistema piloto de tratamiento biológico para el control de contaminación de aguas residuales vertidas por el laboratorio de lácteos y cárnicos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

1.1. Problema de investigación

Inapropiado manejo de las aguas residuales en el Laboratorio de Lácteos y Cárnicos de la UFPSO.

1.2. Descripción del problema

El agua es uno de los recursos más fundamentales, y constituye uno de los recursos básicos en los que se apoya el desarrollo de la humanidad, a pesar de ello, la importancia del agua no ha tenido la atención que debería a pesar de su vital valor para la humanidad a lo largo de la historia, esta falta de interés fue debido a la gran cantidad de agua a disposición de ser extraído o utilizada. Hasta finales del siglo XIX no se reconoció el agua como origen de numerosas enfermedades infecciosas. Hoy en día, la importancia tanto de la cantidad como de la calidad del agua está fuera de toda duda. El agua es uno de los recursos de la naturaleza que más abunda en la tierra ocupando tres cuartas partes de la superficie del planeta. Sin embargo, la oportunidad de poder aprovechar tal cantidad de agua es problemática, hay presentes diversos factores que limitan la disponibilidad de la recogida de agua para el uso humano. Prácticamente casi toda el agua del planeta se encuentra en los océanos y otras masas salinas, debido a ello no son

aprovechables para casi ningún propósito. Del restante se encuentra en estado sólido, hielo, resultando prácticamente inaccesible, sólo resta un 0,62% aproximadamente del agua total del planeta al que podamos acceder de manera práctica, ya sea en lagos, ríos y aguas subterráneas. El uso de los recursos naturales provoca un efecto negativo en el medio ambiente sujetas siempre debido a la influencia del hombre, sobre todo en los ecosistemas donde se extrae y se utiliza, en el caso del agua es uno de los ejemplos más claros. Influyendo sobre el ciclo del agua de dos maneras, bien directamente mediante extracción de estas y posterior vertido de aguas contaminadas como se ha dicho, o bien indirectamente alterando la vegetación y la calidad de las aguas. La industrialización y el modernismo son algunos factores que ayudan a la contaminación de nuestro ambiente, sin olvidar las concentraciones de habitantes en una superficie ya que a mayor población mayor carga contaminante provocaremos en el entorno. (Estopà Consuegra, 2018)

Uno de los problemas que más preocupa a la humanidad es la gran cantidad de aguas residuales que son vertidas indiscriminadamente a los cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento. Con base a esto, el tratamiento de forma biológica de estas aguas se basa en la capacidad que tienen los microorganismos para metabolizar y convertir la materia orgánica en suspensión y ya disuelta, en tejido nuevo y diferentes gases.

El oxígeno como tal, juega un papel primordial e importante en el tratamiento biológico de las aguas residuales, eso se debe a que la ausencia o presencia de este, condiciona el tipo de microorganismos que se encargaran de degradar y eliminar la materia orgánica presente en el agua.

Las aguas residuales vertidas por el laboratorio de lácteos y cárnicos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña son los causantes de deteriorar el suelo y el subsuelo, lo cual por medio de la infiltración provocan un impacto a corto, mediano y largo plazo sobre la fuente receptora presentando de tal manera, alteraciones en las fuentes hídricas y problemas de salubridad que afectan el sistema digestivo, la presencia de vectores, muerte de fauna y flora; que en forma acumulativa se convierten en impactos significativos al estilo de vida de las comunidades aledañas, a la salud y al paisaje natural del entorno.

La generación de estos vertidos ocasiona impactos importantes al medio ambiente y a la salud humana. Si bien los impactos ambientales y sociales generados por el manejo y disposición final de este tipo de residuos dependen de las características particulares de la zona geográfica que se analice, en este documento se presenta una descripción general de los principales impactos ambientales asociados al manejo inadecuado de los vertimientos por actividades generadas en el laboratorio de Lácteos y Cárnicos de la Universidad Francisco de Pula Santander Ocaña. Esto no significa que los procesos de manejo y aprovechamiento de estos vertidos no generen impactos ambientales, positivos y negativos, sino que en estos casos se cuenta con los instrumentos y mecanismos necesarios para prevenir, mitigar, corregir o compensar los posibles impactos negativos o para potencializar los positivos.

Asimismo, se debe tener en cuenta que el manejo y elaboración de estos productos tanto lácteos como cárnicos realizados en el laboratorio de la granja de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, conllevan grandes cantidades de agua hasta obtener el producto final que se quiere comercializar. También, se emplean a la hora de hacer limpieza de las respectivas

instalaciones, además de detergentes, ácido nítrico y sosa o carbonato sódico, que al final del proceso terminan siendo vertidos a la fuente hídrica, en este caso, en la fuente hídrica “lago” aledaño al laboratorio de Lácteos y Cárnicos, perteneciente al jardín botánico de la Universidad Francisco de Paula Santander.

1.3. Formulación del problema

¿La implementación del sistema piloto servirá como mecanismo eficiente de reducción de carga contaminante en las aguas vertidas por el laboratorio de Lácteos y así reutilizarla en actividades agrícolas de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General. Diseñar e implementar un sistema de tratamiento biológico piloto para el control de contaminación por aguas residuales vertidas por el laboratorio de lácteos y cárnicos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

1.4.2. Objetivos Específicos. Analizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales generadas en el laboratorio de lácteos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Diseñar e implementar el sistema biológico para el tratamiento de las aguas residuales.

Evaluar los niveles de remoción de carga contaminante en el sistema piloto y su eficiencia del sistema de tratamiento.

Identificar alternativas de aprovechamiento y reúso de las aguas producto del sistema de tratamiento.

1.5. Justificación

Actualmente uno de los principales problemas en torno al medio ambiente y la salud de las personas está directamente relacionado a la calidad del agua que se utiliza tanto para uso doméstico, entre otras palabras, para el abastecimiento humano y en segundo lugar, para la producción de alimentos.

Con base a esto, la normativa aplicable a este caso es la resolución 631 del 2015 la que reglamenta actualmente el decreto 3930 del 2010, en la cual se establecen los parámetros y niveles máximos permisibles para vertimientos puntuales teniendo en cuenta el tipo de industria, en este caso, la industria láctica y cárnica.

Principalmente en el caso de estas industrias, enfocadas en la fabricación de productos lácteos se establece la legislación anteriormente mencionada, donde se establecen los niveles máximos permisibles de pH entre 6 y 9, DQO de 450 mg/L O₂, DBO₅ de 250 mg/L O₂ y Sólidos Suspendidos Totales con un valor máximo de 150 mg/L. (Minambiente, 2015)

Con base a todas las actividades relacionadas con el sector lácteo y cárnico, se tiene en cuenta que en la mayoría de ellas no existe aprovechamiento alguno de los residuos líquidos que son generados y de alguna u otra forma, terminan generando un impacto negativo en el ambiente y en la sociedad; Por lo tanto, en tratamientos de tipo biológico de estos residuos se busca un aprovechamiento o una disposición final adecuada, de tal forma, que estos efluentes líquidos sean reaprovechados para actividades del sector agrícola como riego de cultivos, entre otras.

Las técnicas como la del Flujo tienen el mismo propósito que aquellas técnicas de Biorremediación, en la cual se busca retornar o devolver un medio ambiente, ecosistema o corredor biológico a condiciones naturales, antes de haber sido intervenidas antrópicamente. De esta forma, con el uso de microorganismos nativos como alternativa de tratamiento, se define o se caracteriza una tecnología amigable con el medio ambiente, económica y de fácil implementación.

Por lo anteriormente dicho, se quiere devolver al medio un agua en buenas condiciones diferentes a las que se vierten actualmente por efluentes líquidos en el lago del jardín botánico correspondientes al laboratorio de Lácteos y Cárnicos de la UFPSO, con el fin de implementar un sistema piloto de carácter biológico en el cual se trabaje directamente con el vertimiento puntual y se trate de mitigar y remediar la afectación que a través de muchos años ha sufrido dicho ecosistema acuático, en donde, ocurre la alteración de la biota acuática, la fauna y las condiciones específicas medio ambientales para conservar las dinámicas naturales de este ecosistema.

1.6. Delimitaciones

1.6.1. Delimitación Temporal. La ejecución de este proyecto tendrá una duración aproximada de 8 meses

1.6.2. Delimitación Geográfica. El proyecto se desarrollará dentro del campus de la Universidad Francisco de Paula Santander - Ocaña, Norte de Santander, Colombia.

1.6.3. Delimitación Conceptual. Biorremediación, vertimiento, agua residual, anaerobio, aerobio, afluente, remoción, efluente, descontaminación de aguas residuales, sistemas biológicos

1.6.4. Delimitación Operativa. Para la realización de este proyecto se cuenta con recursos económicos gestionados por parte de colaboración de algunos profesores y con recursos propios. También se cuenta con personal idóneo y capacitado para la realización del proyecto, recursos tecnológicos como, equipos y reactivos de laboratorio y la infraestructura que nos presta el campus universitario como, los laboratorios, la biblioteca y el predio donde se construirá el sistema de tratamiento biológico.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1. Antecedentes

La industria de productos lácteos se encuentra entre una de las actividades industriales que tienen un mediano impacto ambiental, los grandes problemas ambientales asociados a este sector están concentrados básicamente en la problemática de los residuos líquidos los cuales están cargados de grasas, aceites, sólidos suspendidos y nitrógeno amoniacal; estos presentan una alta carga orgánica, fluctuaciones de PH y temperatura y altos niveles de fósforo y nitrógeno.

Este sector en Colombia se formó empíricamente, sus inicios se dieron cuando los hacendados más influyentes del país empezaron a traer bovinos especializados, esto trajo consigo un proceso de modernización en la producción lechera, debido a que, no sólo se enfocan en fabricar leche y sus derivados sino también en tratar la carne de dichos bovinos. (Isaza, 2012)

La industria alimentaria en sus procesos debe utilizar grandes cantidades de agua de buena calidad que se requiere en los procesos de lavado, limpieza y desinfección; actividades que hacen de esta industria una de las de mayor generación de aguas residuales con altas cargas de contaminantes orgánicos. (Arango, 2007)

Estas aguas de desecho dispuestas en una corriente superficial (lagos, ríos, mar) sin ningún tratamiento, ocasionan graves inconvenientes de contaminación que afectan la flora y la fauna. Estas aguas residuales, antes de ser vertidas en las masas receptoras, deben recibir un tratamiento

adecuado, capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, para evitar que su disposición cause los problemas antes mencionados. El grado de tratamiento requerido en cada caso para las aguas residuales deberá responder a las condiciones que acusen los receptores en los cuales se haya producido su vertimiento.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser diseñadas, construidas y operadas con el objetivo de convertir el líquido cloacal proveniente del uso de las aguas de abastecimiento, en un efluente final aceptable, y para disponer adecuadamente de los sólidos ofensivos que necesariamente son separados durante el proceso. Esto obliga a satisfacer ciertas normas o reglas capaces de garantizar la preservación de las aguas tratadas al límite de que su uso posterior no sea descartado. (Pimentel, 2017)

Cuando las aguas residuales presentan una elevada concentración de materia orgánica disuelta, la alternativa más competitiva es el tratamiento biológico, por su sencillez y bajos costes. Los únicos requisitos para la aplicación satisfactoria de esta tecnología es que la contaminación sea biodegradable y que no haya presencia de ningún compuesto biocida en el efluente a tratar.

Los tratamientos biológicos de las aguas residuales se basan en la capacidad de un surtido conjunto de microorganismos que son capaces de degradar la materia orgánica presente en el agua residual para su propio crecimiento. Para el crecimiento de los microorganismos es necesario que, aparte de materia orgánica, el agua contenga nutrientes, básicamente nitrógeno y fósforo. Posteriormente, la separación de estos microorganismos del agua es sencilla y

económica, por lo que los microorganismos son los encargados de eliminar la materia orgánica presente en el agua, tanto la particulada como la soluble.

El conjunto de microorganismos es muy variado y rico en especies y su composición exacta depende de las características del agua residual que se esté tratando y de las condiciones de proceso, siendo una especie de ecosistema que se adapta continuamente a las condiciones externas cambiantes.

La eliminación de la materia orgánica biodegradable, así como el nitrógeno y el fósforo, mediante tratamientos biológicos es la forma más económica y sencilla de tratar los efluentes. Es por esta razón que es el tratamiento más aplicado no sólo para el tratamiento de las aguas residuales urbanas, sino también para las industriales.

Las limitaciones de este tipo de tratamiento están relacionadas con la biodegradabilidad de la contaminación y con la presencia en el efluente a tratar de alguna sustancia inhibidora del crecimiento de los microorganismos (biocidas). (Condorchem envitech, 2020)

2.2. Marco histórico

2.2.1. Plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Actualmente en un país en desarrollo como Colombia, uno de los problemas ambientales más significativos es la generación de las aguas residuales sin ningún control ni manejo en su uso y disposición final, por

lo cual, a mediano y largo plazo, genera cambios en los ecosistemas que ocasiona problemas tanto a animales como a seres humanos.

Por lo tanto, (Ramirez, 2011), hace referencia que “En Colombia, los cauces de los afluentes y los pozos subterráneos se han convertido en las principales fuentes hídricas de abastecimiento para cultivos y poblaciones que se ubican sobre márgenes o en cercanías. Por lo tanto, la agricultura se constituye en el sector que mayor demanda hídrica tiene en el país lo cual lleva a que en un mediano o largo plazo dicho sector entre en una crisis de tipo ambiental, económico y social a causa del crecimiento poblacional que genera un acceso *per cápita* de agua cada vez menor, al aumento del área cultivada y a la prolongación de periodos secos por efecto del cambio climático; estas razones llevan a que se implementen estrategias y mecanismos encaminados a compensar la escasez del recurso por medio de una gestión integral del recurso hídrico, implementación de una mayor eficiencia en los sistemas de riego y distribución del flujo y el reúso en el sector agrícola de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales”.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se diseñan para producir efluentes que garanticen el cumplimiento de los estándares de calidad, de acuerdo con las reglamentaciones existentes y con el aprovechamiento potencial del efluente, minimizando los problemas de salud pública.

En Colombia y en general en los países de América Latina, el nivel máximo aplicado es el secundario, por costos y porque los criterios de vertimiento de efluentes en los cuerpos receptores establecidos por sus legislaciones se cumplen con este nivel; en algunos casos se

realiza desinfección como etapa final del tratamiento. Países como México usan estos efluentes para riego de jardines y con uso restringido, lo hacen en la industria o en servicios sanitarios. A escala mundial se utiliza el reúso del agua para abastecimiento de agua potable mediante tratamiento a nivel terciario, recargándola en el subsuelo y extrayéndola después de 6 meses o 2 años, según su nivel de tratamiento. (Lopera, 2011)

En Bogotá, se encuentra la PTAR salitre la cual se caracteriza por realiza un procedimiento primario en tres etapas, la primera es el tratamiento primario físico, el segundo es conocido como tratamiento secundario o biológico y el tercero implica una coloración. Esta planta capta las aguas residuales del río salitre, cuenca del humedal la conejera y humedal torca, el agua es distribuida por medio de vasos comunicantes que es el mismo sistema que se utiliza para la liberación al río Bogotá. Esta planta hace parte del programa de saneamiento del río Bogotá que es la gestión integral del agua y residuos sólidos generados por la población y que abastece a 21 municipios. (Méndez, 2019)

En el tratamiento primario, se remueven sólidos como arena, grasas, espuma y materia orgánica sedimentable; en la etapa inicial se hace un proceso de colado de residuos sólidos; luego se procede a la sedimentación en tanques diseñados para ese objetivo en donde se separan tanto los sólidos decantables como aquellos que flotan, durante la decantación las partículas forman agregados de manera controlada con químicos como cloruro férrico y polímero. Por su parte, el material orgánico que queda flotando como aceites, ceras, ácidos grasos y jabones insolubles conocidos como grasa.

El tratamiento secundario convencional consiste en la utilización de bacterias aerobias que consumen la materia orgánica presente en el agua residual, la creación de dichas bacterias se logra con la aireación consiguiendo niveles de oxígeno que permitan los microorganismos aerobios, a los lodos resultantes se les hace un tratamiento en los que se logra un porcentaje de remoción de DBO5 y sólidos suspendidos totales por encima del 80%, al momento de implementar el tratamiento secundario biológico. (Méndez, 2019).

2.3. Marco contextual

El proyecto se realizará en el lago ubicado en la granja de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, sede algodonal en el departamento de norte de Santander, con coordenadas $8^{\circ}14'08.15''$ N y $73^{\circ}19'19.86''$ O a 1.193 msnm. En la figura 1 se observa la zonificación de la institución de educación superior. Las aguas residuales a tratar son generadas en las actividades industriales como lo es el laboratorio de lácteos, siendo conducidas a un vertimiento puntual ubicado en el lago que se encuentra a pocos metros frente al laboratorio con coordenadas $8^{\circ}14'20.6592''$ y $73^{\circ}19'14.667$ O a 1195 msnm, optando por una solución efectiva mediante la biorremediación para disminuir la carga contaminante de estos residuos y posibilitando su posterior uso para el riego de uso agrícola de la granja experimental, o simplemente que dichos efluentes puedan ser vertidos con una menor carga contaminante y dentro de los valores límites máximos permisibles por la normatividad vigente.

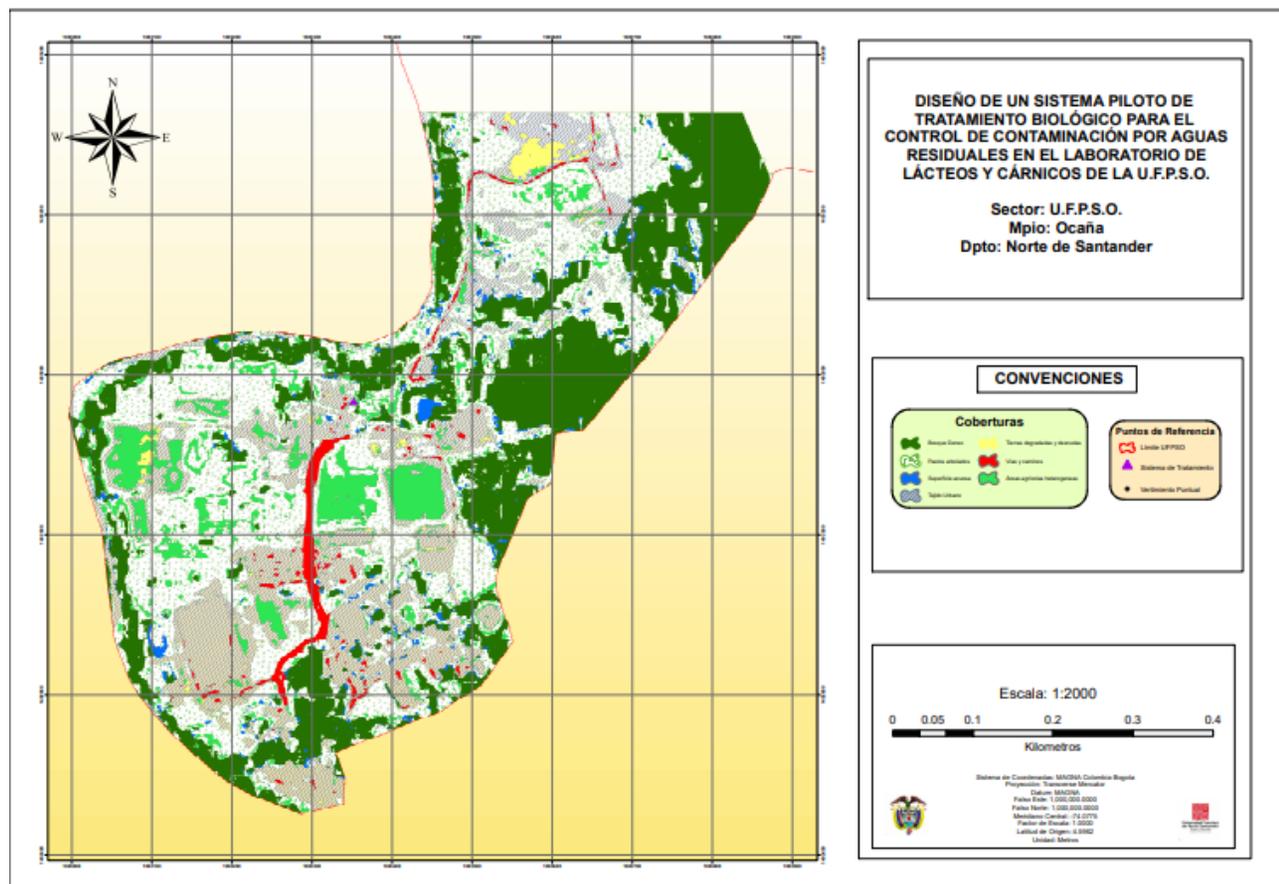


Figura 1. Cobertura de la UFPSO. La figura muestra el área de la universidad correspondiente a 115,2 hectáreas a escala 1:2000. Realizado con QGIS 2.8.7 Wien; SRC: Magna Sirgas/Colombia Bogotá Zone.
Fuente: Autores del proyecto, 2020.

Esta alternativa de tratamiento también podría ser aplicable a nivel municipal, ya que Ocaña carece de un sistema de tratamiento para sus aguas residuales, razón por la cual vierten a cuerpos hídricos que pasan dentro de la ciudad aumentando el impacto socioambiental y el problema de contaminación existente en el municipio, además de ello la empresa de servicios públicos debe pagar una tasa retributiva alta por verter.

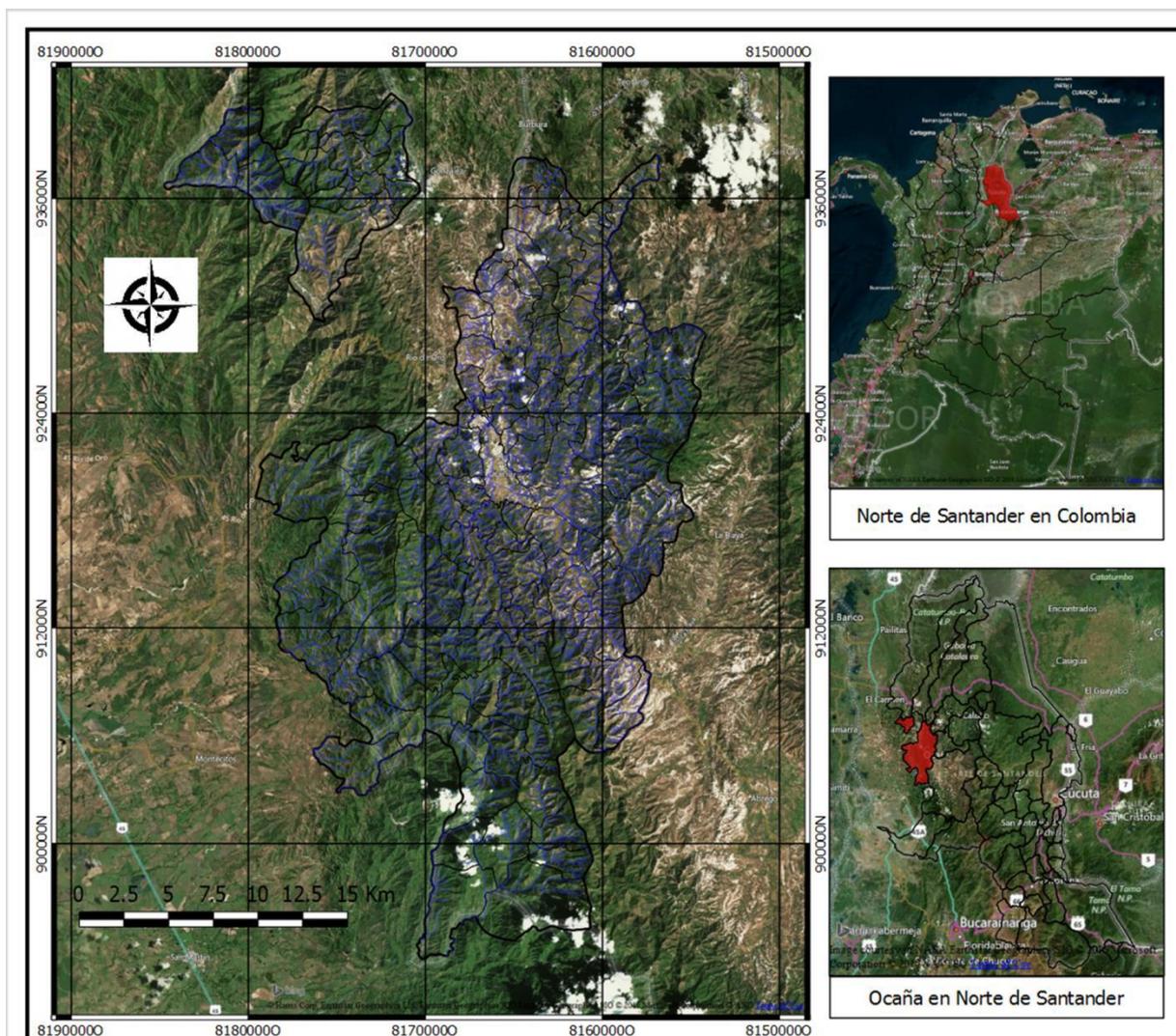


Figura 2. Ubicación del municipio de Ocaña, Norte de Santander.

Fuente: (Sánchez, 2016)

Ocaña fue fundada el 14 de diciembre de 1570. Sucedió pues, que el día 26 de julio de 1570, el capitán Francisco Fernández de Contreras, seguido de sus tenientes y soldados, entre los cuales que se distinguían Juan Lorenzo, Diego Páez de Sotomayor, Gaspar Barbosa de María y otros más que junto a él y bajo las órdenes de Don Pedro de Urzúa, habían conquistado y fundado Pamplona. En nombre de la majestad de Don Felipe II tomó posesión de las tierras de Hacaritama, cuyos habitantes avisados de la cercanía de los españoles, presentándose en paz y no poco sorprendidos del ceremonial y la pompa guerrera con la que el capitán había querido rodear

la fundación de la nueva ciudad. En el año 1573, ya por los continuos ataques indígenas, ya por el deseo de aproximar (4 kilómetros) un poco la ciudad al puerto (Gamarra), o posiblemente por las inundaciones que, en épocas de invierno sufrían aquellas tierras, se efectuó el traslado de Ocaña al sitio que actualmente ocupa, y desde entonces aquellos valles bañados por el río Algodonal o Catatumbo, fueron bautizados como " Llano de los Alcaldes". (Alcaldía de Ocaña - Norte de Santander, 2018)

2.3.1. Descripción Física. Ocaña está situada a 8° 14' 15" Latitud Norte y 73° 2' 26" Longitud Oeste y su altura sobre el nivel del mar es de 1.202 m. La superficie del municipio es 460Km², los cuales representan el 2,2% del departamento. La Provincia de Ocaña tiene un área de 8.602 km². Posee una altura máxima de 2.065 m sobre el nivel del mar y una mínima de 761 m sobre el nivel del mar. (Alcaldía de Ocaña - Norte de Santander, 2018)

2.3.2. Límites del municipio. Límites Departamentales La interacción de los aspectos ambientales, económicos y sociales del territorio constituye la base primordial para establecer el uso, ocupación y aprovechamiento del suelo; además de la caracterización y valoración de los ecosistemas como base para la zonificación ambiental y el establecimiento del uso sostenible de la tierra.

- Por el Norte. Limita con el municipio de González (Departamento del Cesar).
- Por el Occidente. Limita con el municipio de Río de Oro (Departamento del Cesar).
- Por el sur. Limita con el municipio de San Martín (Departamento del Cesar). Límites Municipales
- Por el Oriente. Limita con los municipios de San Calixto, La Playa y Abrego.

- Por el Norte. Limita con los municipios de Teorama, Convención y El Carmen.
- Por el sur. Limita con el municipio de Ábrego. (Alcaldía de Ocaña - Norte de Santander, 2018)
- Extensión total: 672.27 Km²
- Extensión área urbana: 6.96 Km²
- Extensión área rural: 620.76 Km²
- Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 1.202
- Temperatura media: 22° C.

2.3.3. Industrias lácteas y cárnicas. Las actividades realizadas por las industrias, relacionadas con el sector lácteo y cárnico son muy variadas, tanto como los productos presentes en el mercado. Debido a su complejidad, no es posible generalizar sobre la contaminación generada por los procesos de transformación de estos productos.

La Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña cuenta con laboratorio de lácteo y cárnicos que se transforman diariamente para la práctica de los estudiantes y personal autorizado, con el fin de comercializar los diferentes productos con un alto nivel de calidad como lo son el yogurt, queso, helados, cortados, manjar, ariquepe, chorizo, butifarras, entre otros.

2.3.4. Área de estudio.



Figura 3. Delimitación del área de estudio.
Fuente: Google Earth, 2019.

En el mapa se observa gran parte del territorio correspondiente a la UFPSO, principalmente se destaca un ecosistema importante el cual es el río Algodonal, fuente hídrica de vital importancia para el municipio de Ocaña y la provincia.



Figura 4. Localización del Laboratorio de UFPSO.
Fuente: Google Earth, 2019.

2.4. Marco conceptual

2.4.1. Conceptos de las aguas residuales. Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que, por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos

Dentro de este concepto se incluyen aguas con diversos orígenes:

Aguas residuales domésticas o aguas negras: proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas.

Aguas blancas: pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones

atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden de evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración.

Aguas residuales industriales: proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales.

Aguas residuales agrícolas: procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo.

Aguas residuales provenientes de la industria láctea. Los procesos de producción de quesos, yogurt y mantequilla son los procesos más significativos de la Industria Láctea que producen residuos contaminantes. Estas aguas están compuestas por suspensiones coloidales de proteínas (caseína, albuminas y globulinas), sales minerales y también incluye sustancias orgánicas disueltas como la lactosa. (Apaza, 2017)

2.4.2. Principales parámetros físicos del agua residual. Las propiedades organolépticas del agua, llamadas así porque pueden ser perceptibles por los receptores mediante el uso de los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad de esta.

Se consideran importantes las siguientes:

Turbiedad: Es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcilla, limo, tierra finamente dividida, etcétera). La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales, es decir, aquellas que, por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado.

Sólidos totales: Corresponden al residuo remanente después de secar una muestra de agua. Equivalen a la suma del residuo disuelto y suspendido. El residuo total del agua se determina a 103-105°C.

$$\text{Sólidos totales} = \text{Sólidos suspendidos} + \text{sólidos disueltos.}$$

Sólidos disueltos: Mejor conocidos como sólidos filtrables, son lo que se obtienen después de la evaporación de una muestra previamente filtrada.

Sólidos en suspensión: Corresponden a los sólidos presentes en un agua residual, aquellos que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio.

Color: Esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella. Se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, entre otros.

- El color natural del agua puede originarse por las siguientes causas:

- La extracción acuosa de sustancias de origen vegetal,
- La descomposición de la materia,
- La materia orgánica del suelo,
- Presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos.

Olor y sabor: El sabor y el olor están estrechamente relacionados; por eso es común decir que “A lo que huele, sabe el agua”. Estas características constituyen el motivo principal de rechazo por parte del consumidor. La falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos. (Pulido, 2018)

Temperatura: Es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. Este factor está relacionado al Oxígeno Disuelto; El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales, a su vez aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. (Minaya, 2017).

2.4.3. Principales parámetros químicos del agua residual. Aceites y grasas. Los aceites y grasas son difíciles de metabolizar por las bacterias y flotan sobre el agua causando daños a los seres vivos al ser consumidos. Los fenoles pueden estar en el agua como resultado de contaminación industrial (alimenticios, automóviles, lubricantes, etc.) y cuando reaccionan con el cloro que se añade como desinfectante, forman clorofenoles que son un serio problema porque dan al agua muy mal olor y sabor. (Tenelema, 2019)

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). DBO₅ o demanda biológica de oxígeno, determina la cantidad de materia orgánica biodegradable que posee un cuerpo de agua, y la cantidad de oxígeno necesario para su descomposición. Para la determinación de este parámetro es necesario 5 días y las unidades de medición son mg de DBO₅ por litro de agua residual. (Tenelema, 2019)

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Equivale a la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en un agua sin la intervención de los organismos vivos. La eliminación de la materia orgánica se lleva a cabo mediante la coagulación-floculación, la sedimentación y la filtración. (Pulido, 2018)

pH. Medida de la concentración de ion hidrógeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar del ion hidrógeno. Aguas residuales en concentraciones adversas del ion hidrógeno son difíciles de tratar biológicamente, alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos. El valor de pH adecuado para diferentes procesos de tratamiento y para la existencia de la mayoría de la vida biológica puede ser muy restrictivo y crítico, pero generalmente es de 6,5 a 8,5. (Passos, 2016)

2.4.4. Características microbiológicas de las aguas residuales. La presencia de organismos patógenos, provenientes en su mayoría del tracto intestinal, hace que estas aguas sean consideradas como extremadamente peligrosas, sobre todo al ser descargadas en la superficie de la tierra, subsuelo o en cuerpos de agua. Es el caso con la presencia de bacterias del grupo entérico que producen enfermedades de origen hídrico como: fiebre tifoidea, paratifoidea,

disentería, cólera, entre otras. Entre las principales enfermedades causadas por virus presentes en las aguas residuales están: poliomielitis, hepatitis infecciosa, entre otras, y la presencia de microorganismos producen enfermedades como disentería amebiana, bilharziasis, entre otras. (Pimentel, 2017)

Según (Apella, 2015), Los microorganismos indicadores. De contaminación deben cumplir los siguientes requisitos: fáciles de aislar y crecer en el laboratorio; ser relativamente inocuos para el hombre y animales; y presencia en agua relacionada, cualitativa y cuantitativamente con la de otros microorganismos patógenos de aislamiento más difícil. Tres tipos de bacterias califican a tal fin:

- Coliformes fecales: indican contaminación fecal.
- Aerobias mesófilas: determinan efectividad del tratamiento de aguas.
- Pseudomonas: señalan deterioro en la calidad del agua.

Bacterias en las aguas residuales. La presencia de organismos patógenos, provenientes en su mayoría del tracto intestinal, hace que estas aguas sean consideradas como extremadamente peligrosas, sobre todo al ser descargadas en la superficie de la tierra, subsuelo o en cuerpos de agua. Es el caso con la presencia de bacterias del grupo entérico que producen enfermedades de origen hídrico como: fiebre tifoidea, paratifoidea, disentería, cólera, entre otras. Entre las principales enfermedades causadas por virus presentes en las aguas residuales están: poliomielitis, hepatitis infecciosa, entre otras, y la presencia de microorganismos producen enfermedades como disentería amebiana, bilharziasis, entre otras. (Pimentel, 2017)

Malos olores: Consecuencia de las sustancias extrañas que contiene y los compuestos provenientes de estas materias, con el desdoblamiento anaeróbico de sus complejos orgánicos que generan gases resultados de la descomposición.

Acción tóxica: Que muchos de los compuestos minerales y orgánicos que contienen esas aguas residuales provoca sobre la flora y la fauna natural de los cuerpos receptores y sobre los consumidores que utilizan estas aguas.

Potencialidad infectiva: Contenida en las aguas receptoras y que permite transmitir enfermedades y se convierten en peligro para las comunidades expuestas. El riego de plantas alimenticias con estas aguas ha motivado epidemias de amebiasis, y su vertido al mar contaminación en criaderos de ostras y de peces.

Modificación de la apariencia física: La modificación estética en áreas recreativas donde se descargan efluentes contaminados.

Polución térmica: Generada por ciertos residuos líquidos industriales que poseen altas temperaturas.

La materia orgánica presente en las aguas residuales está sometida a cambios por acción química y bacterias para llegar a su oxidación y reducción de la materia orgánica en un porcentaje del 25 al 50% en pocas horas; el resto requiere de días o semanas.

Las aguas residuales normalmente en su origen, cuando están frescas, no presentan olores desagradables a temperaturas entre 20 y 25 grados centígrados. La descomposición inicia al cabo de dos horas, cuando comienzan a enturbiarse y a cambian de color, transformándose en aguas color marrón y al cabo de 6 a 8 horas se produce el desprendimiento de gases, luego tomarán color más oscuro, con producción de malos olores, y se convierten en aguas ácidas, se produce la estabilización y se convierten nuevamente en aguas sin olor, color ni sabor, obteniéndose materia estable como dióxido de carbono (CO₂), óxido de nitrógeno (NO₃), y sulfatos (SO₄).

2.4.5. Tipos de bacterias según su acción bacteriológica. Aerobias (requieren oxígeno para subsistir).

Anaerobias (viven en ausencia de oxígeno).

Facultativas (subsisten en presencia o ausencia de oxígeno).

Con 2 a 5 mg/ lts de oxígeno disuelto se inicia el proceso de oxidación de la materia orgánica por acción bacteriana; este oxígeno disuelto se consume rápidamente y cuando esto ocurre solo las bacterias anaeróbicas y facultativas actuarán sobre la materia orgánica, dando origen a su putrefacción y a gases mal olientes, luego ocurre la oxidación, etapa final en el tratamiento de aguas residuales. (Pimentel, 2017)

2.4.6. Tratamientos de aguas residuales. Explicado los conceptos el cual están relacionadas con las aguas residuales, se busca plantear temas relacionados con los tratamientos de las aguas residuales y los sistemas de depuración a utilizar.

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reúso. Es muy común llamarlo depuración de aguas residuales para distinguirlo del tratamiento de aguas potables. (Ecured, Historial de revisiones de «Aguas residuales», s.f.)

En el tratamiento de aguas residuales se pueden distinguir hasta cuatro etapas que comprenden procesos químicos, físicos y biológicos:

Tratamiento preliminar, destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables y en algunos casos un proceso de pre-aireación.

Tratamiento primario que comprende procesos de sedimentación y tamizado.

Tratamiento secundario que comprende procesos biológicos aerobios y anaerobios y fisicoquímicos (floculación) para reducir la mayor parte de la DBO.

Tratamiento terciario o avanzado que está dirigido a la reducción final de la DBO, metales pesados y/o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos.

Sistemas de tratamiento biológico: Los objetivos del tratamiento biológico son tres: (1°) reducir el contenido en materia orgánica de las aguas, (2°) reducir su contenido en nutrientes, y (3°) eliminar los patógenos y parásitos.

Estos objetivos se logran por medio de procesos aeróbicos y anaeróbicos, en los cuales la materia orgánica es metabolizada por diferentes cepas bacterianas.

Estanques de lodos activos: El tratamiento se proporciona mediante difusión de aire por medios mecánicos en el interior de tanques. Durante el tratamiento los microorganismos forman flóculos que, posteriormente, se dejan sedimentar en un tanque, denominado tanque de clarificación. El sistema básico comprende, pues, un tanque de aireación y un tanque de clarificación por los que se hace pasar los lodos varias veces.

Los dos objetivos principales del sistema de lodos activados son (1°) la oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación y (2°) la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado. Este sistema permite una remoción de hasta un 90% de la carga orgánica.

Tratamiento anaerobio. Consiste en una serie de procesos microbiológicos, dentro de un recipiente hermético, dirigidos a la digestión de la materia orgánica con producción de metano. Es un proceso en el que pueden intervenir diferentes tipos de microorganismos pero que está dirigido principalmente por bacterias. Presenta una serie de ventajas frente a la digestión aerobia: generalmente requiere de instalaciones menos costosas, no hay necesidad de suministrar oxígeno por lo que el proceso es más barato y el requerimiento energético es menor. (Marsilli, 2012)

2.5. Marco teórico

2.5.1. Estudio de la problemática. En las últimas décadas el mundo ha venido mostrando preocupación y está tratando de resolver los problemas relacionados con la disposición de los efluentes líquidos provenientes del uso doméstico, comercial e industrial de las aguas de abastecimiento.

Las fuentes de agua (ríos, acuíferos, lagos, mar), han sido incapaces por sí mismas para absorber y neutralizar esta carga contaminante, y por ello estas masas de agua han perdido sus condiciones naturales de apariencia física y su capacidad para sustentar una vida acuática adecuada, que responda al equilibrio ecológico que de ellas se espera para preservar los cuerpos de agua. Como resultado, pierden aquellas condiciones mínimas que les son exigidas para su racional y adecuado aprovechamiento como fuentes de abastecimiento de agua, como vías de transporte o fuentes de energía. (Pimentel, 2017)

El Gran número de países desarrollados y en vía de desarrollo han adoptado, o están en proceso de implementación, de ambiciosos programas para el tratamiento y disposición final de las aguas servidas, especialmente para las grandes ciudades. Esto con el fin de mantener como mínimo los criterios de calidad del recurso para los diferentes usos y el equilibrio del sistema natural basado en la capacidad de asimilación. (Pérez S. S., MINISTERIO DE AMBIENTE, 2004)

En Colombia el 50% de las PTAR presentan mala operación a causa por el origen técnico, financiero, ambiental, y político. El municipio de Ocaña no cuenta con planta de tratamiento para aguas residuales, lo que se propone la implementación de un sistema piloto de tratamiento biológico para el control de contaminación por aguas residuales en el laboratorio de lácteos y cárnicos de la universidad francisco de paula Santander Ocaña, mediante un proceso de flujo vertical por laberinto, y la importancia de utilizar bacterias aerobias, anaerobias y lodos activados.

2.5.2. Estudio de los residuos líquidos en la Industria Láctea. La leche diluida, crema y suero, incluyendo grasas, leche separada, nitrógeno, aceites y sólidos suspendidos son residuos líquidos que genera la Industria Láctea a grandes escalas.

La industria Láctea tiene como problema ambiental más significativo la generación de aguas residuales, fundamentalmente de carácter orgánico, tanto por su carga contaminante asociada como por su volumen, fundamentalmente de carácter orgánico, donde finalmente en el proceso productivo la mayor parte se convierte en agua residual. (Apaza, 2017)

2.5.3. Efectos del problema. Una mala operación y tratamiento de las aguas residuales incide negativamente en muchos aspectos medioambientales especialmente en las matrices de agua, suelo, flora, fauna y componente social. A continuación, se nombran las principales afectaciones que trae consigo el vertimiento de aguas contaminadas al ambiente. La generación de olores ofensivos es una situación que afecta al componente aire, disminuye la calidad de vida de la población y desvaloriza terrenos donde se presenta dicha problemática. Por otra parte, se

deteriora la calidad del recurso hídrico, ya que se transfiere al agua una gran cantidad de nutrientes como nitrógeno, fósforo, entre otros, causando eutrofización y con ello un crecimiento exagerado de algas, plantas acuáticas y fitotoxinas, disminuyendo el oxígeno del cuerpo acuático y asfixiando la biota acuática. También existen compuestos orgánicos, metales, y químicos que afectan en la calidad y cantidad de alimento de los seres vivos, alterando la flora y fauna circundante con la proliferación de parásitos, reducción en la talla de crecimiento de las especies y muerte de organismos más sensibles. (Sánchez, 2016)

Las sustancias residuales que aparecen formando parte de los líquidos cloacales pueden estar presentes como disueltas, suspendidas o en estado intermedio denominado coloidal. Estas sustancias pueden ser de naturaleza mineral u orgánica. En el caso de las minerales, estas sustancias provienen de los mismos minerales que formaron parte integral de las aguas abastecidas; en el caso de sustancias orgánicas, le comunican propiedades indeseables al líquido residual cuando los microorganismos asociados con estas aguas, alimentándose sobre materia orgánica muerta, atacan esos complejos orgánicos destruyéndolos o estabilizándolos parcialmente a través de una serie de descomposiciones, con la aparición de malos olores y apariencia física objetable.

Las sustancias minerales y orgánicas suspendidas en estas aguas, arenas, aceites, grasas y sólidos de variada procedencia interfieren con los sistemas de recolección y transporte de estas aguas que los contienen, además de la apariencia de los sitios de descarga. La materia orgánica será descompuesta por la acción bacteriana, dando esta descomposición origen a continuos cambios en las características del agua. Entre las sustancias biodegradables presentes en las

aguas residuales se encuentran los compuestos nitrogenados tales como proteínas, urea, aminoácidos, aminos en un 40%; compuestos no nitrogenados como grasas y jabones en un 10%, y carbohidratos en un 50%. Las proteínas son extremadamente complejas y se encuentran en toda materia viviente animal o vegetal, los hidratos de carbono se encuentran formando azúcar, almidón, algodón, celulosas y fibras vegetales; los hidratos de carbono en el papel higiénico y el algodón son altamente resistentes a la descomposición, las grasas también son difícil de descomponer. (Pimentel, 2017)

2.5.4. Sistema de tratamiento biológico. El tratamiento biológico de aguas residuales se lleva a cabo mediante una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (entre los que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de componentes solubles en el agua. Estos procesos aprovechan la capacidad de los microorganismos de asimilar la materia orgánica y los nutrientes (nitrógeno y fósforo) disueltos en el agua residual para su propio crecimiento. Cuando se reproducen, se agregan entre ellos y forman unos flóculos macroscópicos con suficiente masa crítica como para decantar en un tiempo razonable.

La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen nitrógeno y fósforo. Es uno de los tratamientos más habituales, no solo en el caso de aguas residuales urbanas, sino en buena parte de las aguas industriales, por su sencillez y su bajo coste económico de operación.

En la mayor parte de los casos, la materia orgánica constituye la fuente de energía y de carbono que necesitan los microorganismos para su crecimiento. Además, también es necesaria la presencia de nutrientes, que contengan los elementos esenciales para el crecimiento, especialmente nitrógeno y fósforo, y por último, en el caso de sistemas aerobios, la presencia de oxígeno disuelto en el agua. El oxígeno no es imprescindible, ya que los microorganismos son capaces de degradar la materia orgánica también en condiciones anaerobias. Este aspecto será clave a la hora de elegir el proceso biológico más conveniente.

En el metabolismo celular, juega un papel fundamental el aceptor final de electrones en los procesos de oxidación de la materia orgánica. Este aspecto, además, tiene una importante incidencia en las posibilidades de aplicación al tratamiento de aguas residuales. Atendiendo a cuál es dicho aceptor final de electrones se distinguen tres casos:

Sistemas aerobios: el oxígeno es el aceptor final de electrones preferido por cualquier célula. Si existe oxígeno en el medio, éste será el aceptor final de electrones, lo que conlleva que se obtengan rendimientos energéticos elevados y una importante generación de fangos, debido al alto crecimiento de las bacterias en condiciones aerobias.

Sistemas anaerobios: en este caso el aceptor final de electrones es la propia materia orgánica que actúa como fuente de carbono. Como resultado de este metabolismo, la mayor parte del carbono se destina a la formación de subproductos del crecimiento (biogás, que es CO₂ y metano) mientras que la fracción de carbono utilizada para la síntesis celular es baja. De cara al tratamiento, este hecho supone una doble ventaja: se produce poca cantidad de lodos a la vez que

se produce biogás, el cual puede ser revalorizado. Normalmente se aprovecha para producir energía eléctrica, la cual se autoconsume en la propia instalación.

Sistemas anóxicos: Se denominan así los sistemas en los que el aceptor final de electrones no es el oxígeno ni tampoco la materia orgánica. En condiciones anóxicas el aceptor final de electrones suelen ser los nitratos, los sulfatos, el hidrógeno, etc. Cuando el aceptor final de electrones es el nitrato, como resultado del proceso metabólico, el nitrógeno de la molécula de nitrato es transformado en nitrógeno gas. Así pues, este metabolismo permite la eliminación biológica del nitrógeno del agua residual (desnitrificación). (Envitech, 2019)

2.6. Marco legal

Para este marco legal pudimos encontrar la siguiente normatividad haciendo referencia a los residuos líquidos en Colombia basándonos en la Constitución Política de 1991, haciendo referencia a los artículos 8,40, 79, 80 y 81 en donde se responsabiliza al Estado y a las personas de la obligación de proteger las riquezas culturales y naturales del país.

Tabla 1.

Normatividad acorde al manejo de aguas residuales en Colombia.

Normatividad acorde al manejo de aguas residuales	
Decreto 2811 de 1974	“Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”
Ley 9 de 1979	“Por el cual se dictan medidas sanitarias”
Ley 142 de 1992	“Por el cual se establece el régimen de servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones”
Decreto 3075 de 1997	Art. 9 habla de las condiciones específicas de las áreas de preparación de alimentos y menciona el uso de trampas de grasa y sólidos de fácil limpieza para proteger tuberías y drenajes que recolectan las aguas residuales”
Decreto 3100 de 2003	“Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones”

Continuación, Tabla 1. Normatividad acorde al manejo de aguas residuales en Colombia.

Decreto 3440 de 2004	“Por el cual se modifica el decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones”
Decreto 3039 de 2010	"Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11I- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones"
Resolución 1207 de 2014	“Por el cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas”.
Resolución 631 de 2015	“Por el cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”
Decreto 1076 de 2015	"Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible"

Fuente: Autores del proyecto, 2020

Capítulo 3. Diseño metodológico

Teniendo en cuenta el ambiente en el que se desarrolla esta propuesta, es muy importante hacer referencia a que en la actualidad toda industria, es decir, la industria láctea, necesita o debe contemplar como obligación el medio ambiente desde una percepción amplia de su problemática.

Por lo tanto, se deberá tener en cuenta el cumplimiento de una legislación ambiental y un enfoque relacionado al respecto por los recursos naturales y el desarrollo socioeconómico del ser humano.

3.1. Tipo de investigación

El proyecto por establecer tendrá un enfoque investigativo de carácter cuantitativo, debido a que, gran parte de la investigación estará basada en la toma de datos de laboratorio con respecto al agua o efluente líquidos resultante del tratamiento biológico anteriormente descrito.

A través de la metodología cuantitativa, se generan y analizan datos cuantitativos sobre variables, con el fin de estudiar la asociación o relación entre estas, intentando determinar su fuerza de asociación o correlación y la generalización de resultados para inferir una causalidad que explique los fenómenos. (Carmona, 2015)

Por ende, la investigación cuantitativa está ligada a la búsqueda y análisis de propiedades, características y especificaciones con base en la toma de datos, determinando de tal forma que se observe la eficiencia de la planta de tratamiento.

El diseño metodológico acoge la investigación descriptiva, debido a nuestro interés en caracterizar situaciones o eventos indicando ciertos rasgos distintivos. Según (Mousalli-Kayat, 2015), se hace referencia que los estudios descriptivos buscan especificar propiedades, características y perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se somete a un análisis. Es decir, únicamente se pretende medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o variables a las que se refieren.

A continuación, se describen las fases en las cuales se desarrollará el trabajo de campo necesario para el desarrollo del proyecto.



Figura 5. Descripción concreta de cada fase del proyecto.
Fuente: Autores del proyecto, 2020.

3.1.1. Diseño del sistema biológico para el tratamiento de las aguas residuales.

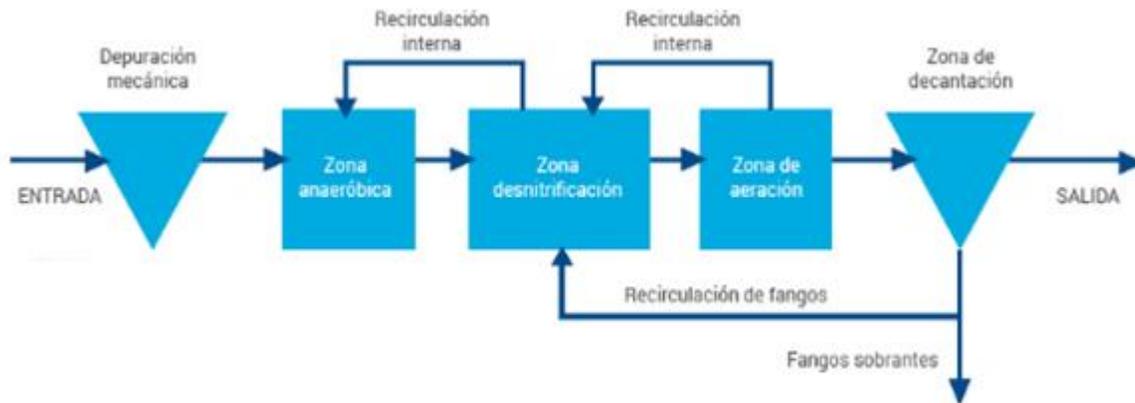


Figura 6. Diseño de la Planta de Tratamiento Biológico.
Fuente: (VERITAS, 2015)

Descripción del proceso.

- Depuración mecánica
- Zona anaerobia
- Zona desnitrificación
- Zona de aireación
- Zona de decantación
- Almacenamiento

¿Cómo funciona el sistema?. Cuenta con un conjunto de procesos biológicos que trabaja con un flujo vertical el cual tiene unos principios donde se mezclan los procesos anaerobios y aerobio, donde proceso lo realizan las bacterias descomponedor de la materia orgánica.

Contiene una parte aeróbica a base de oxigenación de las aguas residuales para la eliminación de los gases contaminantes de las aguas residuales como, metano, el fosforo y el CO_2 y como el nitrógeno principalmente.

Esta planta está diseñada según el caudal obtenido del vertimiento el cual se utilizamos el método de aforo volumétrico.

El cual el tiempo de retención es de 30 horas, en ese tiempo los procesos de las bacterias anaerobia y aerobias ya las aguas estarán clarificadas.

La planta contiene ciertos tipos de equipos para la recirculación y aireadores de las aguas residuales, lo cual es necesario de la energía eléctrica de 110v para el funcionamiento, además de esto contiene una bomba y un temporizador, el cual permite de que el sistema no funcione todo el día lo que lo hace muy bajo de consumo.

Procesos.

- En la primera sección las aguas residuales ingresan con impurezas gruesas donde se le da el pretratamiento mecánico donde se coloca una rejilla para los residuos inorgánicos que puedan llegar a tapar el sistema. Este también Contienen una salida de aire para la ruptura de los residuos orgánicos en pequeñas, el cual pueden llegar a tapar la bomba.

- En la segunda sección, las aguas residuales, previamente tratadas mecánicamente, llegan a la cámara el cual cumple con la recogida de lodos no aireados del sistema, el cual se encuentran conectadas de manera en que el agua fluye de manera vertical.
- En esta tercera sección hay una salida de aire, donde las bacterias aeróbicas a base de la oxigenación eliminan los gases contaminantes de las aguas residuales como, metano, el fosforo y el CO_2 y como el nitrógeno principalmente.
- En esta sección el lodo fluye a la cámara de clarificación final, donde el lodo activo se separa de las aguas residuales tratadas. Una parte de los lodos activos es bombeada para el proceso de recirculación.
- En este último proceso se almacenan las aguas, que a su vez fueron removidas en el sistema, lo cual este tanque contiene en su salida un tipo de sifón que permite que el agua salga gradualmente sin ningún tipo de materia orgánica.

3.1.2. Fases para llevar a cabo el sistema de tratamiento biológico de agua residual.

Primera fase. Para el diseño e implementación del Sistema biológico de Tratamiento de aguas residuales generadas en el Laboratorio de Lácteos y Cárnicos, deberá recogerse información acerca del sistema de descarga de aguas residuales, ya que en este caso este efluente líquido es vertido directamente a la fuente hídrica (lago), a través de una tubería PVC.

Por consiguiente, se realizará un trabajo de campo en el cual se aforará el vertimiento puntual descargado por el laboratorio de Lácteos y cárnicos con el fin de obtener el caudal vertido, así mismo se realizará las muestras para analizar las características fisicoquímicas y microbiológicos del vertimiento.

Antes de definir el método de aforo, debemos saber que, para desarrollar cualquier tipo de medición de caudal, primero se requiere establecer la finalidad del monitoreo, la facilidad de acceso o tiempo y las características de la fuente superficial que se pretenda medir; De la misma forma, las características del sitio y las condiciones ambientales son fundamentales a la hora de definir cómo se realizará la medición de caudal en determinado tiempo y momento.

Cabe destacar que el método de aforo a utilizar en el presente estudio será el del método volumétrico, este aplicado cuando la corriente presenta una caída de agua y se pueda implementar la medición a través de un recipiente con volumen conocido (balde el más recurrente) ya que, por ser un vertimiento puntual, es el método indicado para medir el caudal.

Además, el procedimiento es muy práctico debido a que sólo se requiere de unas cuantas herramientas de trabajo para desarrollar la medición, en este caso, de un cronómetro, un respectivo balde o recipiente cilíndrico y llegado el caso de utilizar alguna bolsa, tubo o lámina de zinc para encausar el agua proveniente del laboratorio de Lácteos y Cárnicos de la UFPSO.

El recipiente se coloca bajo la corriente de tal manera que reciba todo el flujo de agua; al mismo tiempo se activa el cronómetro. En este proceso el cronómetro inicia en el instante en que el recipiente se introduce a la corriente y se detiene en el momento en que se retira de ella, o el balde se llena. Es importante cronometrar varios tiempos de llenado, para estimar un valor promedio.

Tabla 2.

Aforo No. 1 de caudal proveniente del laboratorio UFPSO.

Fecha: 11/10/19					
Lugar: Lago aledaño al laboratorio de Lácteos y Cárnicos – UFPSO					
Tiempo: Jornada Mañana y Jornada Tarde					
Jornada Mañana					
Muestra	Hora Inicial	Hora Final	Volumen	Tiempo	Observación
1	9:42 a.m.	9:52 a.m.	850 mL	10 min	Vertimiento sin actividad de producción.
2	10:00:0 a.m.	10:08 a.m.	1000 mL	8 min	Sin actividad
3	10:15 a.m.	10:36 a.m.	2000 mL	20:45 min	Sin actividad
Jornada Tarde					
1	2:07 p.m.	2:12 p.m.	7000 mL	5 min	Limpieza de instrumentos

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

Tabla 3.

Aforo N°2 de caudal proveniente del laboratorio – UFPSO

Fecha: 20/10/19					
Lugar: Lago aledaño al laboratorio de Lácteos y Cárnicos – UFPSO					
Tiempo: Jornada Mañana					
Aforo	Hora Inicial	Hora Final	Volumen	Tiempo	Observación
1	9:19 a.m.	9:29 a.m.	9000 mL	8 min	Actividad de productos cárnicos
2	9:30 a.m.	9:40 a.m.	10500 mL	10 min	
3	9:42 a.m.	10:00 a.m.	10000 mL	8 min	
4	10:02 a.m.	10:13 a.m.	9000 mL	11 min	

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

El caudal se calcula de la siguiente manera.

Q = Caudal en litros por segundo, l/s

El caudal se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Caudal} = \frac{\text{Volumen de agua capturado (en litros)}}{\text{Tiempo de llenado del balde (en segundos)}} = \left[\frac{\text{L}}{\text{S}} \right]$$

$$Q = V / t$$

V = Volumen en litros, l

T = Tiempo en segundos, s (Valencia, 2014)

Posteriormente, se analizarán las características fisicoquímicas y microbiológicas del vertimiento proveniente del laboratorio, de igual manera se analizará la calidad de agua del

cuerpo hídrico receptor del vertimiento, y las aguas resultantes del sistema piloto a implementar, de tal forma que se conozca el nivel de cumplimiento con los parámetros establecidos por la normativa ambiental vigente.

Segunda fase. Considerando el análisis hecho, se tendrá conocimiento de los elementos biológicos y químicos presentes, por ende, en función a esta información, se diseñará el sistema biológico piloto encargado del control y descontaminación de las aguas residuales vertidas por el laboratorio de lácteos, tratándose de este modo, de un proceso de flujo vertical, el cual tiene dos partes importantes:

Proceso anaerobio. Encargada de la descomposición de la materia orgánica a través de la Digestión Anaerobia el cual es el proceso fermentativo que ocurre en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales. El proceso se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y de CO₂, en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas.

Procesos metabólicos de las bacterias anaerobias El proceso fermentativo de las bacterias anaerobias comprende una serie de procesos, que interactúan entre sí, en una serie de reacciones metabólicas complejas en ausencia de oxígeno, haciendo parte importante de los ciclos biogeoquímicos del carbono, nitrógeno y azufre, entre otros. Estos procesos metabólicos se han dividido en 3 grupos o etapas principales:

- hidrólisis y fermentación
- acetogénesis
- metalogénesis

La primera etapa del proceso involucra la hidrólisis de sólidos insolubles, es decir partículas orgánicas (celulosa o hemicelulosa) o coloides orgánicos (proteínas), en compuestos solubles simples que pueden ser absorbidos a través de la pared celular, para que posteriormente, dichas moléculas hidrolizadas sean catalizadas por bacterias fermentativas en alcoholes y ácidos grasos, teniendo como resultado de este proceso, la producción de hidrógeno y dióxido de carbono.

Luego, durante la acetogénesis, se produce ácido acético a través de la oxidación de ácidos grasos de cadena corta o alcoholes o a través de la reducción del CO_2 usando hidrógeno como donador de electrones para la reacción.

El último paso que corresponde a la metanogénesis es llevado a cabo por arqueas, las cuales obtienen su energía de la conversión de un número restringido de sustratos a metano.

Proceso aerobio. Encargada de la eliminación de gases contaminantes de las aguas como: metano, fósforo, CO_2 y nitrógeno) a base de aireación y oxigenación.

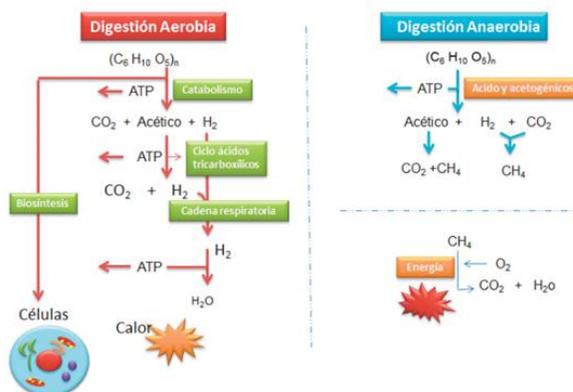


Figura 7. Procesos químicos de la digestión
Fuente: (Corrales, 2015)

Esto significa, que las bacterias dependen del oxígeno para convertir los contaminantes del agua. Las bacterias aerobias solo pueden convertir compuestos cuando hay mucho oxígeno presente, porque lo necesitan para realizar cualquier clase de conversión química.

Elementos en la digestión. Se realiza una revisión sobre los aspectos degradativos de materia orgánica, obtención de energía y nutrientes de las bacterias anaerobias. La importancia de estos microorganismos es el papel que desempeñan en los procesos que contribuyen al mantenimiento de la vida misma. Dentro del metabolismo para la descomposición de macromoléculas, estos microorganismos realizan varios procesos: **hidrólisis, acetogénesis y metanogénesis**, entre otros, cubren reacciones que se realizan dependiendo de las características particulares de la bacteria y de las funciones que cumplen dentro del ciclo degradativo, para la obtención de nuevos productos dependiendo de las rutas bioquímicas o procesos fermentativos que allí se desarrollan.

Las bacterias, en la realización de estos procesos, se ven condicionadas por algunos factores físicos y químicos, que posibilitan su adecuado desarrollo, estos factores son: cargas de materia orgánica, ácidos grasos volátiles, temperatura, alcalinidad, nutrientes y presencia de N y P, entre otros.

La presencia de materia orgánica y la temperatura son fundamentales para el metabolismo de las bacterias, este último aspecto es un factor condicionante en las interacciones biológicas y de supervivencia que desarrollan las bacterias.

En la siguiente tabla, se muestra los diferentes rangos de temperatura y algunos microorganismos anaerobios facultativos y anaerobios estrictos que hacen parte en cada uno de éstos.

Tabla 4.

Microorganismos anaerobios encontrados en diferentes rangos de temperatura.

Rango de temperatura en °C T	Tipo de microorganismo	Microorganismos encontrados
10 a 15	Psicrófilos	Bacillus spp
20 a 30	Psicrótrofos	Clostridium spp
30 a 37	Mesófilos	Clostridium spp Methanococcus spp Methanobacterium spp
42 a 46	Termótrofos	Methanococcus spp Methanobacterium spp
50 a 80	Termófilos	Clostridium spp Lactobacillus spp Thermus spp Thermococcus spp

Fuente: Autores del Proyecto, 2020.

Por otro lado, el pH influye en el crecimiento bacteriano, casi todas las bacterias muestran un crecimiento óptimo en un intervalo de pH de 6.5 – 7.5, en la Tabla 2. Se muestran las escalas de pH y algunos microorganismos anaerobios asociados a estos.

Tabla 5.

Microorganismos anaerobios encontrados en diferentes rangos de pH.

pH	Tipo de microorganismo	Microorganismos encontrados
1.1 a 5.5	Acidófilos	Lactobacillus spp Bifidobacterium bifidum
5.5 a 8.0	Neutrófilos	Clostridium perfringes Methanococcus sp Methanobacterium sp Propionibacterium acidipropionici
8.5 a 11.5	Alcalonófilos	Clostridium botulinum Clostridium sporogenes Clostridium tetani Fusobacterium spp Micrococcus spp

Fuente: Autores del Proyecto, 2020.

Tercera fase. Es de aclarar que en esta fase se analizará el agua después del proceso de tratamiento biológico y desinfección, por tanto, para este proyecto se deben definir primero que todo el tipo de variables a utilizar o manejar, entre las más importantes está el porcentaje de remoción del sistema piloto utilizando el tipo de lodo activado (bacterias); Por otro lado, tenemos las variables independientes que se caracterizan como: la fuente del agua residual, el tiempo de retención dentro del sistema piloto y el volumen de agua manejado en el tratamiento.

Con respecto a las distintas mediciones tomadas, se deben analizar los diferentes resultados comprobando así un porcentaje de remoción significativo por el sistema; arrojados los resultados se pueden observar con qué características se presenta una remoción mejor de los contaminantes en el agua residual, así mismo afirmar con que tiempo y volumen trabaja mejor el sistema piloto.

Por último, se calculan los niveles de remoción de contaminantes en el agua residual que sale del sistema piloto teniendo en cuenta los resultados obtenidos del análisis de las muestras. De tal forma que, basándonos en el decreto 0631 de 2015 se evalúa la efectividad del sistema

teniendo en cuenta los parámetros permisibles de vertimientos puntuales con base a las actividades realizadas.

3.2. Población

Con respecto a esta investigación se definen los efluentes líquidos vertidos como factor determinante de análisis. En este caso, la población es delimitada por todas aquellas aguas residuales provenientes del laboratorio de Lácteos y Cárnicos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, las cuales se vierten sin ningún tratamiento.

El enfoque de análisis son las aguas residuales lácteas vertidas, generando de tal forma, alteraciones en el ecosistema. Por lo tanto, se deben caracterizar de forma detallada sabiendo los materiales o insumos con los cuales se trabaja en el laboratorio, y así saber qué efectos negativos o qué tipo de vertidos están siendo arrojados al lago.

Actualmente, la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña cuenta con un número calculable de pozos sépticos abandonados o que ya cumplieron su ciclo y en este caso, el laboratorio no cuenta con un tratamiento de estas aguas.

3.3. Muestra

Es esencial en este tipo de metodologías, la determinación del origen del agua residual que proviene del laboratorio de Lácteos y Cárnicos que va directamente relacionada con los

productos o materia prima que se trabaja en ese sector de la Universidad. La población a muestrear en este caso son los vertidos puntuales ubicados en la parte de la Granja experimental.

Para esta investigación el tipo de muestreo a utilizar es el muestreo compuesto, ya que, al tratarse de un laboratorio característico de productos lácteos, este generará todo tipo de residuos sólidos y líquidos por lo cual, se harán combinaciones de muestras puntuales tomadas en el mismo sitio durante un tiempo determinado. Este método se utiliza para observar concentraciones promedio, usadas para calcular las respectivas cargas o la eficiencia del sistema biológico de tratamiento.

Una vez tomadas las muestras en el punto específico de vertido, serán llevadas al laboratorio para ser examinadas físicoquímica y microbiológicamente, agua residual con la que entra al sistema. De igual forma, se tomarán muestras del agua que ha pasado por el sistema piloto de tratamiento de aguas y así, analizar la capacidad de remoción con respecto a cada parámetro.

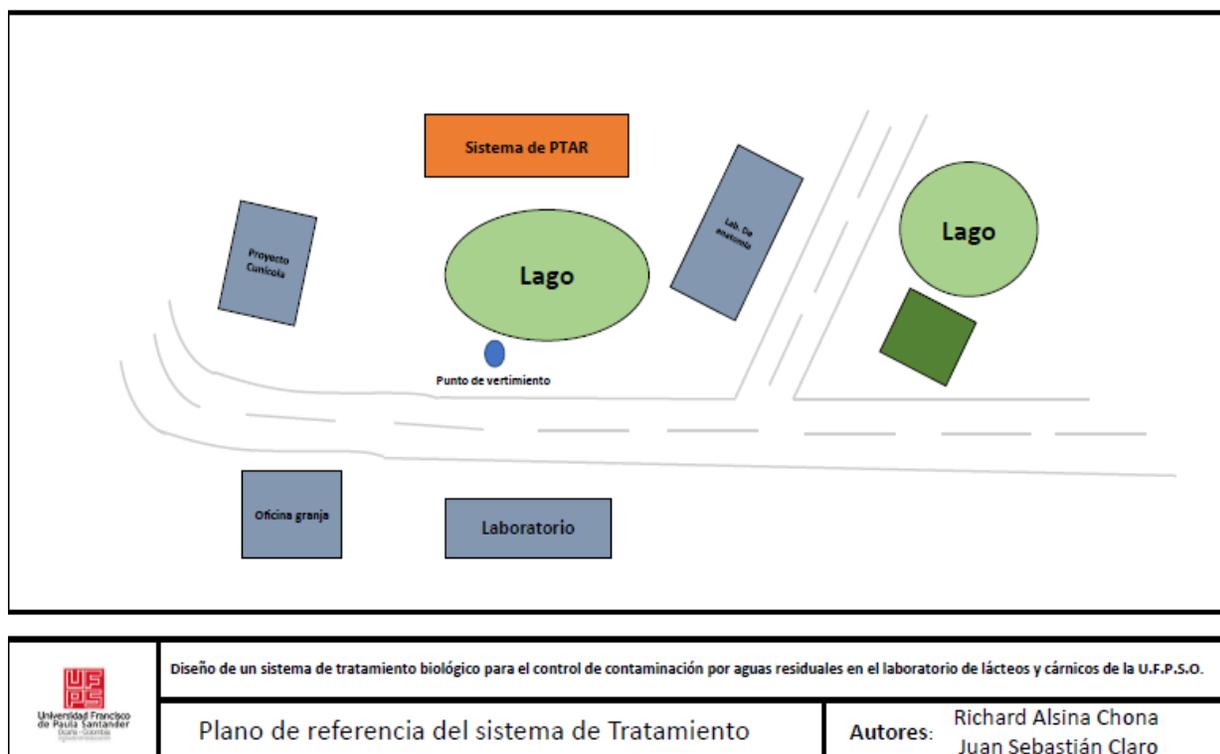


Figura 8. Caracterización de zona de muestreo. Realizado con QGIS 2.8.7 Wien; SRC: Magna Sirgas/Colombia Bogotá Zone.

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

3.3.1. Rotulado de las muestras. Para llevar un buen manejo de las muestras tomadas en campo, se determina que datos específicos de cada muestra deben ser los siguientes:

- Tipo de muestra
- N° de la muestra
- Fecha y hora de recolección
- Persona encargada de la toma de muestra
- Lugar de muestreo
- Observaciones

3.3.2. Cuaderno de campo. Se tendrá en cuenta que, para la toma de datos exacta, para lo cual se anotarán todos los datos en un cuaderno y así obtener una mejor interpretación de resultados y llevará consigo los siguientes datos:

- Tipo de muestra
- N° de la muestra
- Fecha y hora
- Persona encargada de la toma de muestra
- Procedencia o sitio de muestreo
- Tipo de análisis
- Volumen de muestra recogido
- Parámetros determinados en campo (pH, T°, conductividad, turbidez, etc).

Teniendo en cuenta el procedimiento anterior se procede a una primera muestra del vertimiento puntual. Fue tomada directamente del efluente, teniendo principalmente el recipiente correspondiente, esterilizado, para obtener un análisis preciso.

Una vez tomadas las muestras en el punto específico de vertimiento, serán llevadas al laboratorio de calidad de agua perteneciente a la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, para ser examinados los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual.

A continuación, en la siguiente figura se observan los resultados obtenidos por el laboratorio:

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua.

TIPO DE MUESTRA: Puntual.

LUGAR DE MUESTRA: Laboratorio de Lácteos y Cármicos UFPSO.

TOMADA POR: Juan Sebastián Claro.

HORA: 12:00 p.m.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 04 de Diciembre del 2019.

FECHA ENTREGA AL LABORATORIO: 04 de Diciembre del 2019. **HORA:** 12:15 p.m.

ANALISIS SOLICITADOS: Potencial de hidrogeno, DQO, DBO₅, Solidos suspendidos totales, Fosfato, Nitrógeno amoniacal, Nitritos, Nitratos, Hierro, Sulfatos, Cobre, Acidez, Alcalinidad, Dureza, Color real.

OBSERVACIONES: Ninguna.

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
pH	pH	6.90
DQO	mg/L O ₂	448
DBO ₅	mg/L O ₂	50
SST	mg/L	250
Fosfato	mg/L	6.0
Nitrógeno amoniacal	mg/L	4.7
Nitritos	mg/L	2.244
Nitratos	mg/L	466.4
Hierro	mg/L	5.1
Sulfatos	mg/L	150
Cobre	mg/L	2.90
Acidez	mg/L CaCO ₃	100
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	100
Dureza	mg/L CaCO ₃	60
Color real	NTU	773

M^a Alejandra Vergel

María Alejandra Vergel Bermúdez
Coordinador Laboratorio de Aguas



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88 - Fax: Ext. 104
info@ufps.edu.co - www.ufps.edu.co

Figura 9. Resultados obtenidos por el laboratorio
Fuente: Autores del proyecto, 2020.

Basados en los resultados, ésta muestra fue tomada sin actividad de transformación de productos en el laboratorio de Lácteos y Cárnicos, para la cual, en la fecha estipulada de muestreo sólo se realizó limpieza de equipos e instrumentos de trabajo.

3.4. Recolección de información

Toda investigación requiere de una toma de datos o información y existen dos tipos de información: Información primaria e Información Secundaria. Para definirle correctamente, existen algunos aspectos importantes de cada una de ellas, en los cuales resalta que, la información primaria es aquella que se obtiene mediante el contacto directo con el objeto de estudio; En el sistema piloto se tendrá alcance con el objeto tangible de importante estudio como son las aguas residuales lácteas o efluentes líquidos.

Como el tipo de muestra en este proyecto será compuesto, la toma de muestras se ejecutará en intervalos de una hora durante toda la jornada de trabajo, desde las 08:00 hasta las 15:00. Para dicha actividad, se utilizarán botellas de 1,25 L y un balde de 20 litros.

Cada una de las muestras que se tomen en períodos de 1 hora serán colocadas en cavas con hielo en sus respectivas botellas, con el fin de preservar la calidad de la misma, una vez obtenida el agua residual de la jornada de trabajo, se procederá a realizar una muestra compuesta homogeneizada para los análisis correspondientes. La muestra debe mantenerse y ser transportada a temperaturas bajas hasta el laboratorio

A continuación, en la Tabla 6 se referenciarán los parámetros a analizar y el valor límite permisible establecido por la norma:

Tabla 6.

Referencian los parámetros a analizar y el valor límite permisible establecido por la norma Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015

RESOLUCIÓN 0631 DEL 17 DE MARZO DE 2015		"Actividades de elaboración de productos alimenticios y bebidas".
PARÁMETRO	UNIDADES	VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
GENERALES		
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	600
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L O ₂	400
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	200
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	2
Grasas y Aceites	mg/L	20
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte
COMPUESTOS DE FÓSFORO		
Ortofosfatos	mg/L	Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte
COMPUESTOS DE NITRÓGENO		
Nitratos	mg/L	Análisis y Reporte
Nitritos	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total	mg/L	Análisis y Reporte
IONES		
Cianuro Total	mg/L	0,5
Cloruros	mg/L	250
Sulfatos	mg/L	250
Sulfuros	mg/L	
METALES Y METALOIDES		
Cadmio	mg/L	0,05
Cinc	mg/L	3
Cobre	mg/L	1
Cromo	mg/L	0,5
Mercurio	mg/L	0,01
Níquel	mg/L	0,5
Plomo	mg/L	0,2
OTROS PARÁMETROS PARA ANÁLISIS Y REPORTE		
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Dureza Cálctica	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Color Real	m ⁻¹	Análisis y Reporte

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

Interpretando la tabla anterior, podemos observar los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales no

Doméstica – ArnD para las actividades de producción de alimentos con vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

En la siguiente tabla se especifica un poco los parámetros permisibles a la hora de elaborar productos lácteos:

Tabla 7.

Parámetros permisibles a la hora de elaborar productos lácteos, según la Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015

RESOLUCIÓN 0631 DEL 17 DE MARZO DE 2015		"Actividades de elaboración de productos alimenticios y bebidas".	
PARÁMETRO	UNIDADES	VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	
GENERALES			
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	450	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L O ₂	250	
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	150	
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	2	
Grasas y Aceites	mg/L	20	
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	
HIDROCARBUROS			
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	0	
COMPUESTOS DE FÓSFORO			
Ortofosfatos	mg/L	Análisis y Reporte	
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	
COMPUESTOS DE NITRÓGENO			
Nitratos	mg/L	Análisis y Reporte	
Nitritos	mg/L	Análisis y Reporte	
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	Análisis y Reporte	
Nitrógeno Total	mg/L	Análisis y Reporte	
IONES			
Cloruros	mg/L	500	
Sulfatos	mg/L	500	
Sulfuros	mg/L		
OTROS PARÁMETROS PARA ANÁLISIS Y REPORTE			
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	
Dureza Cálrica	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

3.5. Análisis de información

A partir del análisis, la determinación de los contaminantes orgánicos en aguas residuales presenta ciertas dificultades, entre esas está el valor elevado de sustancias potencialmente peligrosas provenientes de cada una de las actividades del proceso de producción y producto final.

Con base en los resultados se puede conocer el comportamiento del sistema piloto, de tal manera que todos los datos que se obtuvieron fueron tabulados y procesados a través del software de Office (Excel). Finalmente fueron analizados y se concluyó sobre la viabilidad del sistema piloto y eficiencia.

Por otro lado, la comprobación del sistema piloto a través de los resultados obtenidos tiene que ver con el porcentaje de remoción de contaminantes y en qué límite permisible pueden ser vertidos según la normatividad ambiental.

3.6. Administración del proyecto

Recursos Humanos. Para el desarrollo de la presente investigación intervendrán las siguientes personas:

- Richard Alsina Chona, estudiante de decimo semestre de Ingeniería ambiental.
- Juan Sebastián Claro Lázaro, estudiante de decimo semestre de Ingeniería ambiental.
- Yeeny Lozano Lázaro, Especialista en Gestión Ambiental, Ingeniera Ambiental y Saneamiento – director del trabajo de grado.

Recursos Institucionales. Las instituciones que facilitarán la información relacionada con el tema de investigación son: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, apoyará mediante la prestación de su campus universitario, el predio donde se ubicará el sistema piloto, los laboratorios de aguas, biotecnología, química y biología, y la biblioteca Argemiro Bayona Portillo.

Recursos Financieros. Para la ejecución de este proyecto se hizo necesario gestionar algunos materiales para la fase de construcción del sistema biológico, los cuales se demostrará en la siguiente tabla de los elementos utilizados.

Tabla 8.

Recursos financieros utilizados para el diseño, construcción y ejecución del sistema de tratamiento biológico.

RUBRO	UFPSO Efectivo	CONTRAPARTIDA		TOTAL
		Efectivo	Especie	
PERSONAL	-	-	100.000	100.000
AIREADOR	-	40.000	-	40.000
ACCESORIOS PVC 3"	-	-	60.000	60.000
TANQUES DE 60 LITROS	-	300.000	-	300.000
TUBO PVC 3"	-	-	30.000	30.000
PEGANTE "SIKAFLEX"	-	30.000	-	30.000
TANQUE 1000 LITROS	-	-	500.000	500.000
CABLE DUPLEX	60.000	-	-	60.000
ANALISIS Y PRUEBAS DE LABORATORIO	-	200.000	-	-
TRABAJO DE CAMPO	-	-	-	-
DOCUMENTACION Y BIBLIOGRAFIA	-	-	-	-
TOTAL	60.000	530.000	590.000	1.120.000

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

3.7. Cronograma de actividades

Tabla 9.

Cronograma de actividades

ACTIVIDADES DEL PROYECTO	MESES																
	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				
	SEMANAS																
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Identificar los procesos que se realizan en el laboratorio.	X	X															
Aforo del vertimiento puntual descargado por el laboratorio de Lácteos y cárnicos de la UFPSO.		X	X	X													
Recolección de muestra de las aguas residuales vertidas por el laboratorio de lácteos y cárnicos.			X	X	X												
Análisis de parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales					X	X	X										
Diseño y construcción del sistema biológico para el tratamiento de agua residual del laboratorio de lácteos de la UFPSO.							X	X	X	X							
Conexión y puesta en marcha del sistema piloto de proceso biológico.		X	X														
Recolección de muestras de las aguas tratadas en el Sistema.							X	X	X	X							
Evaluación de los resultados del agua residual antes y después de entrar al sistema de tratamiento.									X	X							
Calcular los niveles de remoción por el sistema piloto, hallando el porcentaje de la carga contaminante disminuida.											X	X	X				
Revisión bibliográfica y normativa para el reúso de aguas residuales.											X	X					
Establecer alternativas de aprovechamiento de las aguas tratadas.											X	X					
Entrega del informe final del proyecto.											X	X	X	X			

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

Capítulo 4. Presentación Resultados

4.1. Antecedentes del sistema piloto, su diseño y construcción

Principalmente, el diseño y construcción del sistema piloto se basa en antecedentes referidos al tratamiento biológico de aguas residuales, porcentaje de remoción, dimensiones y materiales, entre otras características evaluadas en trabajos anteriormente ejecutados y que han obtenido buenos resultados.

Con el cumplimiento de estas actividades expuestas, se requiere cumplir con los objetivos específicos, con el fin de Diseñar e implementar un sistema de tratamiento biológico piloto para el control de contaminación por aguas residuales vertidas por el laboratorio de lácteos y cárnicos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

4.2. Diseño propuesto por los autores

En el diseño del sistema piloto se tuvieron en cuenta, primero que todo, las referencias bibliográficas de estudios y trabajos realizados anteriormente sobre la implementación de tratamientos biológicos a las aguas residuales; De tal forma, se buscó implementar un sistema piloto de flujo vertical, teniendo en cuenta el espacio a utilizar para su construcción y puesta en marcha, para que así sea mejor el análisis de cada uno de los procesos que se llevan a cabo en dicho sistema.

Como se observa en la siguiente figura, el sistema piloto consta de 5 tanques cilíndricos en los cuáles se ejecuta cada uno de los procesos claves del tratamiento biológico, cada uno de ellos está hecho de polipropileno con un volumen aproximado de 60 Litros ($0,06 \text{ m}^3$) y por último un tanque de almacenamiento de 1000 Litros (1 m^3). El sistema principalmente va conectado a la tubería principal (3 pulgadas) que proviene del laboratorio de Lácteos y Cárnicos y para un mejor flujo del agua en el sistema, las conexiones entre tanques también son de 3 pulgadas.

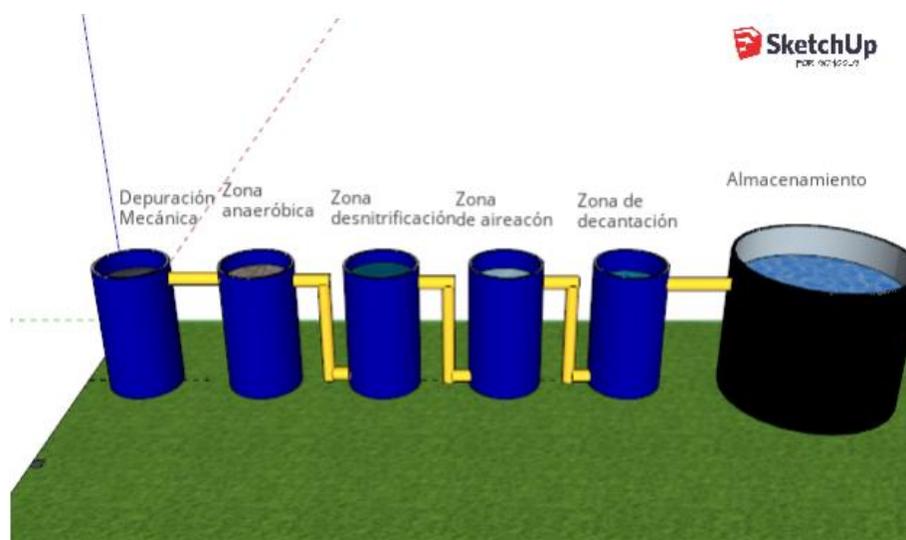


Figura 10. Diseño del sistema piloto.
Fuente: Autores del proyecto, 2020.

4.3. Desarrollo y ejecución de las actividades

Las realización de estas actividades, se buscara llegar a una solución socio ambiental viable que lleve a la mitigación del impacto generado por los efluentes que son vertidos directamente por el laboratorio de lácteos de la universidad francisco de paula Santander seccional Ocaña, cumpliendo con la resolución, 631 del 2015 “Por el cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.”

4.3.1. Identificar los procesos que se realizan en el laboratorio. El laboratorio de lácteos y cárnicos de la universidad francisco de paula Santander seccional Ocaña, En ella, se generan ciertas actividades de transformación de productos, la cual tiene como importancia la en la carrera de zootecnia donde los estudiantes ponen en práctica la elaboración y transformación de subproductos de la leche y carne.



Figura 11. elaboración y transformación de subproductos de la leche y carne
Fuente: Autores del proyecto, 2020

4.3.1.1. Vertimientos en las industrias de productos lácteos. En las plantas medianas y pequeñas de productos lácteos y las plantas de leche fresca; el procesamiento de la leche que se recibe en la mañana se limita a unas cuantas horas, por lo tanto, los vertimientos son descargados por lotes. Las aguas residuales de las industrias lácteas se pueden clasificar en tres secciones:

- Aguas de procesos de enfriamiento, calentamiento y refrigeración. Esta agua circula por tuberías y equipos sin entrar en contacto directo con los productos. Por ello su contaminación no es significativa. Se deben volver a utilizar para Disminuir el consumo de agua, así como el consumo energético.
- Aguas sanitarias procedentes de lavabos, retretes, cocinas, etc., que se envían al sistema de alcantarillado o directamente a los cuerpos de agua.
- Aguas industriales procedentes del lavado de depósitos, de equipos con soluciones de limpieza, etc., por lo que llevan residuos de productos (leche, suero, etc.) y están contaminadas además por soluciones ácidas y de desinfectantes.

Desde el punto de vista del tratamiento de las aguas residuales de una industria láctea, la leche es un líquido que tiene una composición media de 3.5% de proteínas, 3.5% de grasa, 4.7% de lactosa, 0.8% de sales minerales y 87.5% de agua.

Otro líquido en las industrias lácteas es el suero, subproducto resultante de la fabricación de queso y mantequilla que por su contenido de lactosa se convierte en un producto altamente contaminante: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) 40.000 mg/l.

La leche es rica en materias orgánicas con una alta demanda de oxígeno. Una leche con el 3.5% de grasa tienen una DBO de aproximadamente 100.000 mg/l. Si se trata de leche desnatada su DBO, es de 70.000mg/l. La nata con un 40% de grasa tiene una DBO de 40000mg/l.

Los vertimientos se caracterizan por su bajo contenido de sólidos suspendidos, excepto las partículas de cuajo que puedan encontrarse en las aguas residuales de la producción de queso, una moderada demanda de oxígeno y fuerte olor a ácido butírico originado por la descomposición de la caseína. El Ph (grado de acidez) es neutro o ligeramente alcalino, pero tiende a acidificarse rápidamente a causa de fermentación de la lactosa y posterior conversión a ácido láctico.

La demanda de oxígeno del proceso de fabricación de queso y mantequilla puede llegar a ser muy elevada cuando el suero no es aprovechado y es vertido directamente al alcantarillado.

“En una industria láctea las pérdidas de producto pueden oscilar entre el 1 y el 5%, que van en su mayoría a las aguas residuales. Los productos lácteos ácidos (yogur), son más viscosos y se pegan más a las paredes y tuberías, por lo que las pérdidas son mayores y la contaminación del agua aumenta. (LANCHEROS., 2010)

4.3.2. Aforo del vertimiento puntual descargado por el laboratorio de Lácteos y cárnicos.



Figura 12. Aforo del vertimiento puntual descargado por el laboratorio de Lácteos y cárnicos.
Fuente: Autores del proyecto, 2020.

El método de aforo llevado a cabo en esta actividad fue el método volumétrico, el cual consiste en tomar el tiempo que demora en llenarse un recipiente de volumen conocido, en este

caso, el balde que se observa en las imágenes. El color del agua proveniente del laboratorio nos indica que tipo de producto se realiza, por lo tanto, el color rojo nos indica la producción de alimentos provenientes de la carne como chorizos, entre otros, y el color blanco la producción de alimentos lácteos tales como: helados, arequipe, etc. En la Figura anterior, se describe el procedimiento llevado a cabo anteriormente, tomado los datos en fechas diferentes y con actividades productivas diferentes.

4.3.3. Recolección de muestra de las aguas residuales vertidas por el laboratorio de lácteos y cárnicos.



Figura 13. Recolección de muestra de las aguas residuales vertidas por el laboratorio de lácteos y cárnicos
Fuente: Autores del proyecto, 2020.

Las muestras realizadas en cada uno de los casos fueron tomadas en recipientes de polietileno para así, no afectar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas que trae el agua residual antes del tratamiento y después de éste. Se buscó la forma de tomar muestras cuando se estaba realizando la transformación de la materia prima en productos terminados, debido a que el primer análisis hecho, nos indica la poca inclusión de los residuos sólidos provenientes del laboratorio de Lácteos y Cárnicos de la UFPSO.

4.3.4. Resultado de los Análisis físicos-químicos de las aguas residuales vertidas por el laboratorio de lácteos y cárnicos de la UFPSO.

Para el análisis de las muestras de agua residual proveniente de actividades productivas se tiene como referencia el decreto 0631 de 2015, el cual establece los parámetros y los valores permisibles máximos de aquellos vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y sistemas de alcantarillado, con base a esto, el primer análisis del agua residual nos muestra que infiere en gran parte la actividad que se lleve a cabo para obtener resultados significativos.

Por lo tanto, tenemos parámetros como DQO, DBO₅, SST, en los límites permisibles, el color perteneciente a un agua proveniente de actividades de limpieza y un pH óptimo de 6,90, referentes a una muestra de agua sin actividad productiva.

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua.

TIPO DE MUESTRA: Puntual.

LUGAR DE MUESTRA: Laboratorio de Lácteos y Cárnicos UFPSO.

TOMADA POR: Juan Sebastián Claro.

HORA: 12:00 p.m.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 04 de Diciembre del 2019.

FECHA ENTREGA AL LABORATORIO: 04 de Diciembre del 2019. **HORA:** 12:15 p.m.

ANALISIS SOLICITADOS: Potencial de hidrogeno, DQO, DBO₅, Solidos suspendidos totales, Fosfato, Nitrógeno amoniacal, Nitritos, Nitratos, Hierro, Sulfatos, Cobre, Acidez, Alcalinidad, Dureza, Color real.

OBSERVACIONES: Ninguna.

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
pH	pH	6.90
DQO	mg/L O ₂	448
DBO ₅	mg/L O ₂	50
SST	mg/L	250
Fosfato	mg/L	6.0
Nitrógeno amoniacal	mg/L	4.7
Nitritos	mg/L	2.244
Nitratos	mg/L	466.4
Hierro	mg/L	5.1
Sulfatos	mg/L	150
Cobre	mg/L	2.90
Acidez	mg/L CaCO ₃	100
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	100
Dureza	mg/L CaCO ₃	60
Color real	NTU	773

M^a Alejandra Vergel

María Alejandra Vergel Bermúdez
Coordinador Laboratorio de Aguas



Via Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88 - Fax: Ext. 104
 info@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

Figura 14. Resultado de los Análisis físicos-químicos de las aguas residuales vertidas por el laboratorio de lácteos y cárnicos de la UFPSO.

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

4.3.5. Diseño y construcción para la implementación del sistema piloto para el tratamiento de las aguas residuales. En esta etapa del proyecto realizamos el diseño respecto al presupuesto que teníamos, buscamos reducir costos y obtener un buen resultado de los análisis de las muestras luego del tratamiento biológico.

Principalmente, antes de llevar todo el material al lugar establecido para la construcción del sistema, se optó por adecuar dicho lugar, ya que este contaba con vegetación y no hacía posible la implementación del proyecto.



Figura 15. adecuación de los tanques para el proceso de tratamiento
Fuente: Autores del proyecto, 2020.

En las imágenes anteriores, se puede observar cómo fue la adecuación de los tanques para el proceso de tratamiento, uniones, codos, pegando para tuberías, son algunos de los materiales utilizados para llevar a cabo la construcción del sistema. Además, los tanques utilizados para la construcción del sistema son termosellados lo cual brinda las condiciones necesarias para que las bacterias realicen su proceso anaerobio y aerobio.



Figura 16. conexión de cada uno de los tanques de 60 L con la tubería correspondiente de 3 pulgadas
Fuente: Autores de la investigación, 2020.

Se pudo observar la conexión de cada uno de los tanques de 60 L con la tubería correspondiente de 3 pulgadas para facilitar el paso del agua residual que en este caso contiene muchos sólidos suspendidos, de lo contrario, si se hubiese utilizado menos diámetro en la tubería se presentarían taponamientos en el sistema, afectando así las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua a tratar.



Figura 17. Diseño y construcción para la implementación del sistema piloto para el tratamiento de las aguas residuales

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

4.3.6. Conexión y puesta en marcha del sistema piloto de proceso biológico.



Figura 18. Conexión y puesta en marcha del sistema piloto de proceso biológico.

Fuente: Autores de proyecto, 2020.

El sistema ya conectado y puesto en marcha, nos indica cada uno de las funciones y procesos diferentes que se llevan a cabo en cada uno de los tanques (60 L); En el diseño del sistema se indicó principalmente un pretratamiento mecánico, que consiste en la entrada del agua residual al sistema piloto, luego el proceso de almacenamiento de lodo, para así liberar el agua residual de los sólidos suspendidos. Por consiguiente, podemos observar que las propiedades del agua cambian a partir del tercer tanque, debido a que todos los sólidos quedan retenidos; En el cuarto tanque se utiliza un método de aireación que consta de una bomba de 12 V que comúnmente se utiliza para la crianza de peces, este ayuda al condicionamiento de las bacterias aerobias y así poder descomponer la materia orgánica resultante de los anteriores procesos.



Figura 19. Descomposición de la materia orgánica resultante de cada proceso
Fuente: Autores del proyecto, 2020.

4.3.7. Recolección del agua residual y determinación de remoción del sistema biológico.



Figura 20. Recolección del agua residual y determinación de remoción del sistema biológico
Fuente: Autores del proyecto, 2020.

En cuanto a la determinación del porcentaje de remoción por el sistema, observamos que las propiedades organolépticas del agua residual tratada son totalmente diferentes a cómo entra al sistema piloto. De tal forma a simple vista se observa una buena remoción de carga orgánica y contaminante del agua residual proveniente del laboratorio.

Luego, los análisis en el laboratorio nos ayudarán a confirmar más a fondo el porcentaje de remoción y eficiencia que tiene el sistema piloto en cuanto al tratamiento de aguas residuales de este tipo.

4.3.8. Evaluación de los resultados del agua residual antes y después de entrar al sistema de tratamiento. Luego del diseño y construcción del sistema, se procedió a la toma de muestras de agua residual con el fin de determinar la eficiencia en porcentaje de remoción mediante los análisis fisicoquímicos y microbiológicos; Por lo tanto, se tomaron dos muestras: la primera, correspondiente al vertimiento puntual del laboratorio de Lácteos y Cárnicos y la segunda, al agua después de haber sido tratada a través del sistema biológico. Luego, fueron llevadas al laboratorio, donde el resultado fue positivo en comparación a los parámetros analizados inicialmente antes de la construcción del sistema, destacando así el gran porcentaje de remoción que se obtuvo con la puesta en marcha del proyecto. A continuación, se anexarán las muestras entregadas por el laboratorio.



ServiAnalítica Profesional SAS
NIT. 900 476 024 -4

Ocaña 26 de Agosto 2020

RESULTADOS ANALISIS FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLOGICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua residual.

TIPO DE MUESTRA: Puntual **LUGAR:** Laboratorio de lácteos UFPSO

TOMADA POR: Sr. Richard Alsina

HORA TOMA DE MUESTRA: 8:00 am **FECHA TOMA DE MUESTRA:** 20/Agosto/2020

SITIO: Entrada al Sistema

SOLICITANTE: Sr. Richard Alsina

ANALISIS SOLICITADOS: Ver tabla

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	METODO
POTENCIAL DE H	pH	4,73	Standard Methods 4500 H +B
NITRITOS	mg/L	35,4	Standard Methods 4500 NO ₂
NITRATOS	mg/L	85,8	Standard Methods 4500 NO ₃
COLOR	UFC	> 500	Standard Methods 2120 A
OXIGENO DISUELTO	mg/L O ₂	0,3	Standard Methods 4500 - O B
DBO ₅	mg/L O ₂	2100	Standard Methods 5220 C
DQO	mg/L O ₂	3300	Standard Methods 5220
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	1040	Standard Methods

Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de aguas


CARLOS ALBERTO PATIÑO P.
Químico

ServiAnalítica Profesionales SAS
NIT 900.476.024-4
Dirección calle 12 A N° 8 - 30
Celular 314 8673957

CS Escaneado con CamScanner

Figura 21. Resultados obtenidos en la entrada de agua residual al sistema.
Fuente: Autores del proyecto, 2020.



ServiAnalítica Profesional SAS
NIT. 900 476 024 -4

Ocaña 26 de Agosto 2020

RESULTADOS ANALISIS FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua residual.

TIPO DE MUESTRA: Puntual **LUGAR:** Laboratorio de lácteos UFPSO

TOMADA POR: Sr. Richard Alsina

HORA TOMA DE MUESTRA: 8:00 am **FECHA TOMA DE MUESTRA:** 20/Agosto/2020

SITIO: Salida del Sistema

SOLICITANTE: Sr. Richard Alsina

ANALISIS SOLICITADOS: Ver tabla

Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de aguas

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	METODO
POTENCIAL DE H	pH	5,82	Standard Methods 4500 H + B
NITRITOS	mg/L	17,2	Standard Methods 4500 NO ₂
NITRATOS	mg/L	37,8	Standard Methods 4500 NO ₃
COLOR	UPC	467	Standard Methods 2120 A
OXIGENO DISUELTO	mg/L O ₂	5,2	Standard Methods 4500 - O B
DBO ₅	mg/L O ₂	375	Standard Methods 5220 C
DQO	mg/L O ₂	561	Standard Methods 5220
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	166	Standard Methods


CARLOS ALBERTO PATIÑO P.
Químico

ServiAnalítica Profesionales SAS
NIT 900.476.024-4
Dirección calle 12 A N° 8 - 30
Celular 314 8673957

CS Escaneado con CamScanner

Figura 22. Resultados obtenidos en la salida del sistema de tratamiento.
Fuente: Autores del proyecto, 2020.

4.3.9. Calcular los niveles de remoción por el sistema piloto, hallando el porcentaje de la carga contaminante disminuida. En las siguientes figuras se logra diferenciar los parámetros realizados de las aguas residuales antes y después del tratamiento biológico.



Figura 23. Diferenciación de los parámetros realizados de las aguas residuales antes y después del tratamiento biológico

Fuente: Autores del proyecto, 2020.

Esta grafica muestra las comparaciones entre, los análisis tomados antes, y después de la muestra lo cual se hace la valorización mediante la resolución 631 del 2015 que habla de los parámetros máximos permisibles de vertimientos de aguas provenientes de industrias de alimentos.

- La barra color azul, muestra los datos microbiológicos de las aguas vertidas
- La barra color naranja, se muestra los análisis de las aguas tratadas con el sistema
- La barra color gris, son los parámetros máximos permisibles según la resolución 631 del 2015

4.3.10. Revisión bibliográfica y normativa para el reúso de aguas residuales. Con base en los resultados obtenidos de las muestras, pudimos observar que el sistema de tratamiento biológico llevado a cabo en el lago aledaño de la UFPSO cuenta con un porcentaje de remoción suficiente para que dicha agua sea aprovechada para varias actividades del sector agropecuario dentro de la institución.

Por lo anteriormente dicho, podemos referirnos al reúso del agua residual tratada a través de la resolución N° 1207 de 2014, la cual nos indica los diferentes usos que se le puede dar a dicho efluente que ha sido tratado biológicamente y que no presenta ningún peligro para el medio ambiente.

Considerando de tal manera que, se realiza un uso eficiente del agua ya que es fundamental para la preservación del recurso hídrico y el desarrollo sostenible; El sistema de tratamiento biológico viene siendo una tecnología empleada al ahorro y uso eficiente del recurso hídrico con el cual se busca reducir los impactos negativos asociados con la extracción y descarga a cuerpos de agua naturales.

4.3.11. Establecer alternativas de aprovechamiento de las aguas tratadas. Dichas alternativas van encaminadas al uso de las aguas residuales tratadas y que con respecto a la Resolución N° 1207 de 2014 en el artículo 6 se establecen los tipos de actividades que podrán llevarse a cabo:

Uso Agrícola: Para el riego de:

- Cultivos de pastos y forrajes para consumo animal.
- Cultivos no alimenticios para humanos o animales.
- Cultivos de fibras de celulósicas y derivados.
- Cultivos para la obtención de biocombustibles.
- Cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles.
- Áreas verdes en parques y campos deportivos en actividades de ornato y mantenimiento.



Figura 24. Aprovechamiento de aguas tratadas para uso agrícola
Fuente: Autores del proyecto

Uso Industrial: En actividades de:

- Intercambio de calor en torres de enfriamiento y en calderas.
- Descarga de aparatos sanitarios.
- Limpieza mecánica de vías.
- Riego de vías para el control de material particulado.
- Sistemas de redes contraincendios.



Figura 25. Aprovechamiento de aguas tratadas para uso Industrial
Fuente: Autores del proyecto

Conclusiones

La fase de determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos fue crucial para la evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento biológico del agua residual llevado a cabo. Se observó que el efluente líquido procedente del laboratorio de Lácteos y Cárnicos ubicado en la granja experimental es un agua con una carga contaminante alta en cuanto a DBO_5 con 2100 mg/L, DQO con 3300 mg/L y SST con 1040 mg/L con respecto a las concentraciones presentadas en los vertimientos provenientes de dicho laboratorio, así mismo, se identifica que en el vertimiento presenta un pH ácido lo que presenta un limitante para lograr una mayor eficiencia en el tratamiento.

Con base en la caracterización de las aguas residuales objeto de estudio, así como la literatura encontrada referente a los sistemas de tratamientos biológicos se logró diseñar un sistema con una capacidad de 1000 L/día, para el cual las bacterias utilizadas fueron de tipo ácido lácticas (*Clostridium* sp), el cual remueve principalmente los parámetros anteriormente mencionados, además de eliminar el nitrógeno, el fósforo y el amoníaco causantes de olores ofensivos. El sistema de tratamiento biológico consiste en la remoción de carga contaminante a través del flujo vertical del agua residual que entra al sistema, mediante la combinación de los procesos aerobio y anaerobio.

El análisis de los resultados del comportamiento del efluente en el sistema permitió concluir que el tiempo de retención es una variable sumamente importante en la eliminación de los contaminantes. Además, que los procesos biológicos que se llevan a cabo en este sistema,

lograron una remoción del 82% de DBO₅, un 83% de DQO, así mismo los SST presentaron una disminución del 84%, lo que generó resultados satisfactorios con respecto al porcentaje de remoción y el cumplimiento con los parámetros establecidos por la resolución 0631 de 2015, sin embargo se identificó que el pH es una característica importante en el proceso el cual requiere una estabilización permanente por recirculación del agua, de igual forma, el color fue otra característica que no tuvo resultado positivo debido a la presencia de grasas lo que amerita continuar profundizando en la operación de este sistema para mejorar su eficiencia.

Teniendo en cuenta los altos porcentajes de remoción logrado por el sistema, se establece que una de las alternativas de aprovechamiento es el reúso de estas aguas para riego de cultivos de pastos y forrajes para consumo animal, entre otros tal como lo indica la resolución 1207 de 2014, debido a la alta concentración de nutrientes y pH básico que favorecen a su aprovechamiento.

Recomendaciones

Con respecto a los resultados que se obtuvieron de los análisis de las muestras se pudo concluir las siguientes recomendaciones:

Realizar su respectivo mantenimiento al sistema piloto para mayor eficiencia en su funcionamiento, de tal forma que se busquen mejores resultados en cuento a la remoción de cargas contaminantes.

Investigación continua sobre este sistema piloto y buscar mejoras para mejorar la eficiencia del proceso de tratamiento biológico, con base al control de pH, color del efluente y así lograr proponer este tratamiento a una escala real y tratar las aguas residuales de los proyectos llevados a cabo en la granja.

Vincular a más estudiantes del programa de Ingeniería Ambiental en la solución de los problemas ambientales que se presentan actualmente en el campus de la UFPSO.

Referencias

Alcaldía de Ocaña - Norte de Santander. (11 de mayo de 2018). Recuperado el 17 de mayo de 2018, de Alcaldía de Ocaña - Norte de Santander: http://www.ocana-nortedesantander.gov.co/informacion_general.shtml#arriba

Apaza, A. O. (Enero de 2017). UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO. Obtenido de ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL :
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/18627/Apaza_SA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Apella, M. C. (2 de febrero de 2015). normativa . Obtenido de ine.es:
https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/02_Capitulo_02.pdf

Arango, A. &. (2007). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea .

Autores. (2020). Aforo de Caudal proveniente del laboratorio de Lácteos y Cárnicos de la UFPSO.

Autores. (2020). Delimitación UFPSO. Ocaña, Norte de Santander, Colombia.

Carmona, J. C. (2015). APROVECHAMIENTO DE CROMO ELIMINADO EN AGUAS RESIDUALES . Obtenido de UNIVERSIDAD DE CALDAS:
<https://www.redalyc.org/pdf/3217/321733015009.pdf>

Condorchem envitech. (2020). Obtenido de <https://condorchem.com/es/tratamiento-biologico-aguas-residuales/>

Corrales, L. C. (2015). Scielo. Obtenido de
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702015000200007

Ecured. (s.f.). Historial de revisiones de «Aguas residuales». Obtenido de
https://www.ecured.cu/index.php?title=Aguas_residuales&action=history

- Envitech, C. (9 de abril de 2019). tratamiento biologico de aguas residuales. Obtenido de ingenieria ambiental: <https://blog.condorchem.com/tratamiento-biologico-de-aguas-residuales/>
- Estopà Consuegra, S. (7 de agosto de 2018). ETS INGENIEROS DE CAMINOS,. Obtenido de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/109253/00_Memoria.docx.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Isaza, M. F. (2012). Compromiso Ambiental y Sustentabilidad de la Industria de alimentos lacteos en Colombia . Obtenido de Unimilitar: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/10498/?sequence=1>
- LANCHEROS., O. I. (11 de mayo de 2010). ANALISIS SOBRE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10729/PROYECTO%20DE%20GRADO%20%20OSCAR.pdf>
- Lopera, M. J. (31 de 09 de 2011). Desarrollo de capacidades en el uso seguro de aguas residuales para agricultura . Obtenido de Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural : https://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/356/mod_page/content/128/Colombia_Informe%20Nacional.pdf
- Luisa Fernanda Sánchez . (2016). Diseño y evaluación de un sistema piloto para la descontaminación de aguas residuales.
- Marsilli, A. (24 de marzo de 2012). tratamiento de aguas residuales. Obtenido de tierramor: <http://www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm>
- Méndez, M. C. (2019). Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23287/1/Propuesta%20de%20mejora>

%20de%20la%20planta%20de%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20de%20Oarbelaez%20a%20partir%20del%20sistema%20de%20Deer%20Island%20Waste%20Water%20Treatment%20Plant.pdf

Minambiente. (2015). Resolución 631 de 2015.

Minaya, R. J. (2017). PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL AGUA. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA:

http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4690/Reynaldo_Tesis_Titulo_2017.pdf?sequence=1

Mousalli-Kayat, G. (2015). Métodos y Diseños de Investigación Cuantitativa. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/303895876_Metodos_y_Disenos_de_Investigacion_Cuantitativa

Passos, K. H. (2016). ANÁLISIS DE LA REMOCIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES A TRAVÉS DE FILTRO BIOLÓGICO. Obtenido de UNIVERSIDAD DE MANIZALES :

http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/3045/Katherine%20Huetio_%20%20Mauricio%20Ortiz_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pérez, S. S. (junio de 2004). MINISTERIO DE AMBIENTE. Obtenido de PLAN DE MANEJO DE AGUAS RESIDUALES:

http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/plan_nacional_de_manejo_de_aguas_residuales_municipales_en_colombia.pdf

Pimentel, H. R. (22 de MARZO de 2017). iAGUA. Obtenido de CONECTADOS CONTIGO:

<https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>

Pulido, A. M. (2018). EVALUACIÓN DE UN INÓCULO MICROBIANO COMERCIAL.

Obtenido de UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA:

http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/6934/1/Evaluaci%C3%B3n%20in%C3%B3culo%20microbiano_Yesmin%20Carrillo%20C_2018.pdf

Ramirez, J. L. (Enero de 2011). Redalyc . Obtenido de EL hombre y la máquina :

<https://www.redalyc.org/pdf/478/47821598009.pdf>

Richard Alsina & Sebastián Claro . (2020). Autores. Leyes y Decretos.

Richard Alsina & Sebastián Claro . (2020). Autores. Microorganismos anaerobios . Ocaña, Norte de Santander , Colombia .

Richard Alsina & Sebastián Claro . (2020). Autores. Muestra N° 1 del agua residual. Ocaña, Norte de Santander , Colombia : Análisis de Agua residual .

Richard Alsina & Sebastián Claro . (2020). Autores. Cronograma de Actividades . Ocaña, Norte de Santander , Ocaña: Actividades .

Richard Alsina & Sebastián Claro. (2020). Autores.

Richard Alsina & Sebastián Claro. (2020). Autores. Parámetros. Ocaña, Norte de Santander, Colombia: Resolución 631 de 2015 .

Richard Alsina & Sebastián Claro. (2020). Autores. Rubro. Ocaña, Norte de Santander, Colombia: Costos, presupuestos.

Sánchez, L. F. (24 de OCTUBRE de 2016). DISEÑO Y EVALUACION DE UN SISTEMA PILOTO. Obtenido de REPOSITORIO:

<http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/handle/123456789/1340>

Tenelema, S. E. (22 de Enero de 2019). DISEÑO DE UN ELECTROCOAGULADOR PARA

EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES . Obtenido de ESCUELA SUPERIOR

POLITÉCNICA DE CHOMBORAZO:

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10573/1/96T00523.pdf>

Valencia, A. G. (2014). Medición de Caudal . Obtenido de

[http://www.piraguacorantioquia.com.co/wp-](http://www.piraguacorantioquia.com.co/wp-content/uploads/2016/11/3.Manual_Medici%C3%B3n_de_Caudal.pdf)

[content/uploads/2016/11/3.Manual_Medici%C3%B3n_de_Caudal.pdf](http://www.piraguacorantioquia.com.co/wp-content/uploads/2016/11/3.Manual_Medici%C3%B3n_de_Caudal.pdf)

VERITAS, B. (AGOSTO de 2015). avankita. Obtenido de ISO.