



Propuesta de diseño de un sistema de tratamiento, recirculación de agua y recuperación de lodo residual proveniente de un proceso de lavado de *Papa (Solanum tuberosum)* caso de estudio planta Provimercado.

David Armando Galeano Vargas

**Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 4 de abril de 2019**

Propuesta de diseño de un sistema de tratamiento, recirculación de agua y recuperación de lodo residual proveniente de un proceso de lavado de *Papa (Solanum tuberosum)* caso de estudio planta Provimercado.

David Armando Galeano Vargas

**Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental**

**Director (a):
Edgar Orlando Ladino Moreno**

**Línea de Investigación:
Salud y medio ambiente**

**Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2019**

Contenido

1.	RESUMEN	1
2.	ABSTRACT	1
3.	INTRODUCCIÓN	2
4.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
5.	JUSTIFICACIÓN.....	4
6.	OBJETIVO GENERAL.....	5
7.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
8.	ANTECEDENTES	5
9.	MARCO CONCEPTUAL.....	7
10.	MARCO TEÓRICO.....	9
10.1	Tratamiento de agua residual.....	9
10.2	Sedimentador Convencional.....	10
11.	MARCO NORMATIVO.....	13
12.	MARCO GEOGRÁFICO.....	14
13.	MARCO INSTITUCIONAL	15
14.	METODOLOGÍA.....	21
14.1	Diagrama de flujo metodológico	23
14.2	Enfoque de la investigación	24
15.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	29
15.1	Análisis caracterización del agua	29
15.2	Método de tratamiento.....	33
15.3	Diseño de unidades	35
15.3.1	Tanque Colector	35
15.3.2	Sedimentador	41
15.3.3	Filtro de Arena - Grava lento	46
15.3.4	Tanque de almacenamiento	53
16.	CONCLUSIONES	58
17.	RECOMENDACIONES	59
18.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	60
19.	ANEXOS	67

Ilustraciones

Ilustración 1, Árbol de problemas	4
Ilustración 2 Localización Planta.....	14
Ilustración 3 Organigrama	15
Ilustración 4 Almacenamiento.....	16
Ilustración 5 Lavado.....	16
Ilustración 7 Secado	17
Ilustración 6 Ecurrido	17
Ilustración 9 Embolsado	18
Ilustración 8 Selección.....	18
Ilustración 10 Sellado	19
Ilustración 11 Pesaje.....	19
Ilustración 13 Transporte	20
Ilustración 12 Embultado	20
Ilustración 14 Relaciones volumétricas	35
Ilustración 15 Tanque colector	37
Ilustración 16 Volumen sección cilíndrica	37
Ilustración 17 Volumen sección cono truncado	38
Ilustración 18 Dimensiones tanque colector.....	39
Ilustración 19 Diseño 3d tanque colector	40
Ilustración 20 Esquema de flujo entre etapas	41
Ilustración 21 Dimensiones Sedimentador	44
Ilustración 22 Diseño 3D sedimentador	45
Ilustración 23 Dimensiones del filtro	47
Ilustración 24 Plano del filtro	51
Ilustración 25 Imagen 3D del filtro	52
Ilustración 26 Dimensiones tanque de almacenamiento	53
Ilustración 27 Diseño 3D del tanque de almacenamiento	54

Tablas

Tabla 1 Marco normativo	13
Tabla 2 Metodología e instrumentos de muestreo	26
Tabla 3 Matriz metodológica.....	28
Tabla 4 Resultado de muestreo 1	30
Tabla 5 Valoración de presencia de nitrógeno en suelos	33
Tabla 6 Resultados segundo muestreo.....	48
Tabla 7 Costos de construcción	55
Tabla 8 Costos de operación	56

1. RESUMEN

El proceso de lavado de papa tiene como objetivo brindarle una mejor presentación al producto además de facilitar su preparación al consumidor. Sin embargo, dicho proceso realiza importantes vertimientos sin tratamiento previo sobre cuerpos de agua y alcantarillado distrital, los cuales presentan una alta cantidad de contaminantes sólidos y líquidos que resultan en diferentes afectaciones al ser humano y al medio ambiente. Se presenta a continuación una propuesta de mejora tecnológica al proceso mediante el diseño de un sistema de tratamiento y recirculación del agua utilizada en el proceso de lavado que reduce dichos impactos y que recupera los lodos residuales para posterior venta y aprovechamiento en el proceso de cultivo. Para realizar este proyecto, se tomó como referencia la planta de lavado de la microempresa Provimercado, en donde en primer lugar se realizó una caracterización del agua residual del proceso para de esta manera realizar el diseño de planta de tratamiento más adecuado, construir un modelo a escala del mismo y finalmente analizar la viabilidad de su implementación. Como resultados más relevantes tenemos que la metodología de tratamiento presentó resultados positivos en cuanto a la mejoría de los parámetros de calidad del agua vertida, y se concluyó que existe una viabilidad positiva de implementación del proyecto en zonas donde exista la disponibilidad de espacio requerida.

Palabras clave: Lavado de papa, Recirculación de aguas, Lodos residuales

2. ABSTRACT

The potato washing process aims to provide a better presentation of the product as well as facilitate its preparation to the consumer. However, this process makes significant discharges of settleable solids without prior treatment on bodies of water and district sewage, which have a high amount of solid and liquid pollutants that result in different effects on humans and the environment. A proposal for technological improvement to the process is presented in this document by designing a water treatment and recirculation system used in the washing process to mitigate impacts on water quality and to recover residual sludge for subsequent sale and use in the cultivation process. To carry out this project, the washing plant of the Provimercado microenterprise was taken as a reference. In the first place a characterization of the wastewater of the process was carried out in order to find the most appropriate treatment plant design, build a model of it and finally analyze the viability of its implementation. As the most relevant results we found out that the treatment methodology presented positive results regarding the improvement of the quality parameters of the water discharged, and it was concluded that there is a positive viability of project implementation in areas with enough space needed.

Keywords: Potato washing, Water recirculation, Residual sludge

3. INTRODUCCIÓN

En diversos países, la papa es considerada como uno de los alimentos diarios básicos más importantes gracias a su aporte nutricional y su versatilidad de preparación. Se ha convertido en un alimento primordial en términos de seguridad alimentaria que así mismo constituye una fuente de ingresos para aquel sector poblacional que se dedica a su producción, transformación y/o comercialización. De acuerdo a (IPC, s.f.) Alrededor de 1.4 mil millones de personas consumen este alimento como alimento básico diario, posicionándose como el tercer cultivo alimenticio más importante del mundo con más de 300 millones de toneladas métricas de producción total.

El cultivo de la papa en Colombia tiene gran relevancia debido a que genera empleo en el sector rural, especialmente para las familias que se dedican a su producción y comercialización. De acuerdo a la Federación Colombiana de Productores de Papa en Colombia existen aproximadamente unas 130.000 hectáreas de área cultivada (FEDEPAPA, 2018) con unas 250 variedades de papa diferentes (Gómez, 2015) produciendo 2,8 millones de toneladas al año obteniendo así, el segundo lugar en importancia como producto alimenticio (El Espectador, 2018). Así mismo, según el Ministerio de agricultura y desarrollo rural la producción de papa aporta el 3,3 por ciento del producto interno bruto agricultor en Colombia, generando cerca de 265 mil empleos al año (La Nota Económica, 2018) contribuyendo así al desarrollo del sector comercial, productivo y agrícola del país. El buen panorama del sector es debido a que según Limitada et al. (2018) citado en (Buitrago & Peñuela, 2018) “existe una cadena productiva que genera estructura y solidez en el proceso de producir papa, con ingresos que incentivan el empleo en el sector productivo y comercializador, tanto en el área urbana como en la rural” (p.183)

Para el departamento de Cundinamarca la producción de papa es entre otros, una de las principales actividades agrícolas debido al tipo de clima, posición altitudinal y tipo de suelo, lo que constituye condiciones favorables que posibilitan el desarrollo del tubérculo. Así mismo en el departamento el cultivo predominante es la papa siendo el que tiene mayor número de hectáreas sembradas en el territorio nacional a causa de que presenta un potencial de aprovechamiento agropecuario y agroforestal del 44% (981.121 Ha) de su territorio. (FEDEPAPA, 2018)

Ahora bien, la actividad del lavado de papa se realiza con el objetivo de eliminar la capa de tierra que cubre al alimento propio de su cosecha para que de esta manera el consumidor adquiera un producto con mejor presentación y con mayor facilidad de preparación. Las plantas que realizan esta labor se pueden clasificar en aquellas que tienen un proceso tecnificado con maquinaria especializada en cada etapa de lavado y aquellas que realizan un lavado artesanal con una tecnificación baja y una producción menor. Dichas plantas, dependiendo de la cantidad de producto lavado, utilizan una mayor o menor cantidad de agua, realizando los vertimientos sobre cuerpos de agua y redes de drenaje

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

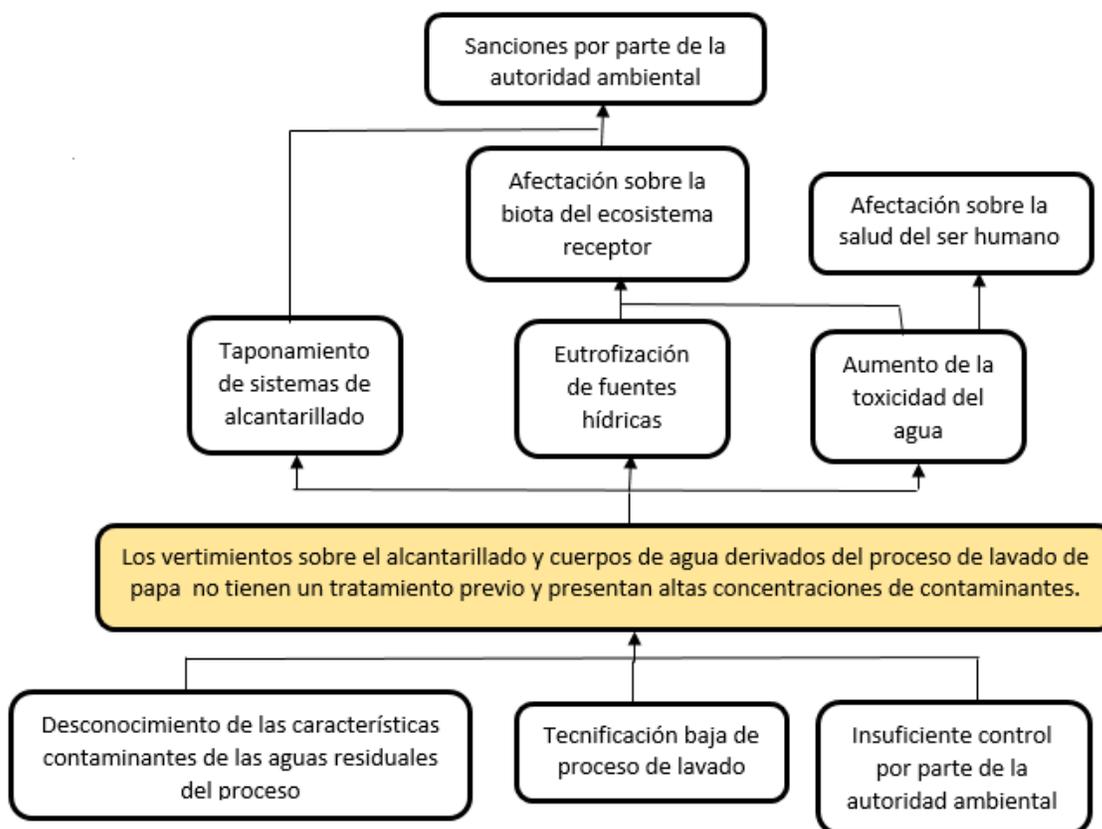
Para determinar de manera general la problemática abordada en este trabajo de investigación se debe tener en cuenta la incidencia de las actividades agroindustriales sobre el medio ambiente. De acuerdo con el banco mundial el 70% del agua que se extrae en el mundo es destinada a actividades agrícolas (Banco Mundial, s.f.). Si bien no existen datos específicos acerca del uso del agua propio del sector agroindustrial, el consumo del recurso es mucho menor en comparación al sector agrícola. Sin embargo el agua utilizada no es despreciable y en su gran mayoría es vertida después de su uso sin un tratamiento previo con diversos contaminantes que varían según el tipo de actividad y que resultan en afectaciones sobre el medio ambiente.

Según (Espigales & Perez, 2005) los residuos agrícolas contienen altos niveles de nitratos, fosfatos, amonio y sulfuros además de altas concentraciones de fertilizantes, herbicidas, fungicidas e insecticidas. Este tipo de contaminantes derivan a largo plazo en fenómenos como la eutrofización del cuerpo de agua receptor generando una afectación sobre las dinámicas biológicas del ecosistema y por ende una mortandad de especies reforzada aún más por las concentraciones de fertilizantes y plaguicidas. De igual manera teniendo en cuenta que la localización de la mayoría de zonas de agroindustria en Colombia se encuentran en sectores rurales por su cercanía a las actividades de extracción primaria, y que de 568 municipios analizados en Colombia solo el 25% tienen cobertura de acueducto mayor al 75% de la población (UNICEF, 2015) existe una gran probabilidad que existan problemáticas de salud a consecuencia del consumo humano de este tipo de aguas.

Ahora bien, en un contexto más específico, los vertimientos ricos en sedimentos derivados de proceso de lavado de papa en la ciudad de Bogotá llegan directamente a las redes de alcantarillado distrital debido a que no existe un tratamiento previo para este tipo de aguas. Esta situación puede resultar en la obtención de multas por parte de la autoridad ambiental además de un taponamiento de las redes de drenaje lo cual puede ocasionar problemáticas asociadas a inundaciones o inclusive un paro de actividades en la planta de lavado propia del problema.

Teniendo en cuenta las problemáticas ya expuestas se plantea la implementación de una planta de tratamiento de agua residual al final de la cadena de producción, la cual generaría la posibilidad de implementar un modelo de recirculación de aguas en el proceso de lavado reduciendo el uso del agua, costos de operación, y una recuperación de lodos que dependiendo sus características podrían representar algún valor en el mercado. Por ende se plantea la pregunta de investigación de ¿Cuáles son los beneficios que le traería la implementación de la planta de tratamiento al proceso de producción?

Ilustración 1, Árbol de problemas



Fuente: Autor

5. JUSTIFICACIÓN

Mediante este proyecto se pretende dar una solución parcial a las problemáticas ambientales que genera los vertimientos derivados de esta práctica, dando un análisis general sobre todo el ciclo productivo y proponiendo cambios en las metodologías de lavado, generando una disminución de costos a las empresas dedicadas a esta labor.

Este proyecto representa un aporte a la seguridad alimentaria del país y a uno de los sectores productivos de alimentos más importantes del territorio, contribuyendo con miles de personas que producen y consumen este alimento a tener una cadena de producción más sostenible. De igual manera contribuye al desarrollo de la ingeniería ambiental como campo de investigación debido a que involucra los conceptos de tratamiento de aguas residuales, economía circular y producción más limpia mejorando un proceso que en la actualidad genera una afectación por vertimientos.

Al diseñar un sistema de tratamiento y recirculación aparte de garantizar el cumplimiento de la norma en cuanto a vertimientos, significaría una oportunidad de ahorro monetario por la disminución del consumo de agua además de la exploración de la posibilidad de recuperar los sedimentos ricos en nutrientes y venderlos como un producto extra del proceso de lavado.

6. OBJETIVO GENERAL

Proponer un diseño de cadena de lavado de papa que permita tratar, almacenar y recircular el agua utilizada, generando una disminución de costos del proceso y permitiendo recuperar los lodos de desecho.

7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una caracterización del agua residual resultante del proceso de lavado de papa
- Realizar el diseño del método de tratamiento y recirculación de las aguas.
- Determinar la viabilidad en cuanto a costos del funcionamiento de la PTAR en el proceso productivo.

8. ANTECEDENTES

Desde hace varias décadas se han venido realizando estudios con respecto a los impactos ambientales provenientes de las actividades agroindustriales. En principios de la década de los 70's entre los primeros antecedentes, Nagaraju, Narasimha, & Rangaswamy (1970) estudiaron acerca del impacto de los efluentes de la caña de azúcar sobre el suelo del algodón negro, en donde encontraron principalmente que la descarga de los efluentes de la caña de azúcar en el suelo provocó cambios en las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo. Estos cambios incluyeron una caída en el pH y un aumento en la capacidad de retención de agua. De igual manera Detroy & Hesseltine (1978) identificaron la composición y los tipos de residuos provenientes de actividades agroindustriales buscando proponer una bioconversión de estos. Encontraron que la composición principal de los residuos son los polisacáridos estructurales de la pared celular (celulosa y hemicelulosa) y concluyeron acerca de que la utilización de residuos debe ser considerada con mayor importancia debido a las grandes cantidades de residuos y subproductos disponibles para utilizarlos en otra labor.

Dichos estudios aportaron una primera visualización sobre los impactos de este tipo de actividades sobre los ecosistemas y una visión sobre el potencial de aprovechamiento de estos debido a su composición y gran cantidad.

Más adelante hacia la década de los 90' Driessen & Yspeert (1999) realizaron el diseño de tres plantas de tratamiento anaeróbico a gran escala con reactores de circulación interna en una industria láctea. Del mismo modo, Poole, Cord-Ruwisch, & Jones (1999) realizaron un estudio sobre la implementación de un tratamiento biológico en un proceso de lavado de lana el cual demostró gran eficacia debido al alto contenido orgánico del efluente. De esto es pertinente resaltar el esfuerzo de los investigadores en esta época por presentar alternativas más sostenibles en estos procesos de productivos.

Para el nuevo milenio Sun, Gray, Biddlestone, Allen, & Cooper (2003) estudiaron la recirculación de efluentes provenientes de la implementación de un biofiltro para tratar aguas residuales agrícolas. Como resultados más importantes obtuvieron que la recirculación mejoró considerablemente la eliminación de DBO5, DQO, sólidos en suspensión (SS) y el ion Amonio. Así mismo mejoró el valor del pH del agua residual ya que disminuyó gradualmente como resultado del consumo de alcalinidad durante el proceso de nitrificación.

Por otra parte (Dolgen, Alpaslan, & Delen, 2004) exploraron el uso potencial de lodos provenientes de plantas de tratamiento de actividades agroindustriales en cultivos de lechuga. Donde encontraron principalmente que el lodo tomado de procesos agroindustriales puede usarse como un sustituto parcial del fertilizante químico y como un acondicionador del suelo. De igual manera (Mendoza, Izquierdo, Martínez, Bovea, & Prats, 2010) analizaron lodos digeridos procedentes de siete distintas depuradoras de aguas residuales españolas, estudiado su viabilidad para usarse como fertilizantes, como combustible derivado de residuos o ser enviados a vertedero. Las conclusiones a la que llegan relevantes para esta investigación es que en primer lugar si la concentración de metales pesados supera los límites establecidos por la normativa, el lodo debe ser valorizado como opción energética, o contemplar su eliminación controlada en vertedero. En segundo lugar, concluyen que los lodos provenientes de la industria alimentaria tienen un alto porcentaje de cenizas, entonces su uso como fertilizante es posible pero debería ser mezclado con otro tipo de residuo para aumentar el contenido en carbono y materia orgánica asimilable.

En un contexto más local y específicamente sobre la cadena de producción de la papa se han realizado diferentes estudios sobre propuestas de implementación de un manejo integral del sistema productivo y prefactibilidad de creación de empresa. Sin embargo no se registra ningún estudio sobre los posibles efectos de estos vertimientos en un contexto colombiano.

Como ejemplos principales de trabajos realizados sobre mejoras en específico al proceso de lavado de papa está una ficha técnica publicada por la (Secretaría distrital de Ambiente, s.f.) Correspondiente al programa ACERCAR, el cual busca brindar apoyo a programas de gestión ambiental empresarial mediante la proposición de prácticas y procesos más limpios. En esta ficha técnica se muestra una descripción de la práctica, sus consideraciones ambientales, una representación gráfica de la situación típica del proceso y finalmente propone un nuevo sistema que permite un lavado a contra flujo de la papa disminuyendo el 60% del uso del agua y permitiendo la recuperación de los lodos para su disposición final.

Por otra parte, el estudio realizado por Cardozo & Pardo (2018) es la investigación con mayor similitud al presente estudio debido a que contemplaron la implementación de una planta de tratamiento fisicoquímico de agua residual para el proceso de lavado de papa en una planta localizada en el departamento de Cundinamarca. Sin embargo el estudio no contempla la recirculación del agua en el proceso a profundidad ni la recuperación de los lodos residuales como oportunidad de ingreso.

9. MARCO CONCEPTUAL

Agroindustria: Es la actividad de producción que acondiciona, conserva y/o transforma las materias primas cuyo origen es la producción agrícola, pecuaria y forestal, realizando modificaciones de sus características particulares para adaptarlos al consumo. (Flores, et. al, 1987)

Agua residual: Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas o vertidas. (OEFA, 2014)

Agua residual tratada: Es el efluente resultante de la remoción de contaminantes mediante un proceso biológico o fisicoquímico en un sistema de tratamiento de aguas residuales. (Cuidoelagua, s.f.)

Aguas Residuales industriales: Aguas que proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales, las cuales pueden contener diferentes clases de contaminantes como aceites, detergentes, antibióticos, ácidos, grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. (García & López, 2005)

Demanda Química de Oxígeno: Es el parámetro que determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. (IDEAM, 2007)

Demanda Bioquímica de Oxígeno La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable, presente en la muestra de agua, como resultado de la acción de oxidación aerobia (Ramalho, 2003). Citado en (Lecca & Lizama, 2014)

Papa (*Solanum tuberosum*): Es una herbácea anual que alcanza una altura de un metro y produce un tubérculo comestible con un abundante contenido de almidón (Funsepa, 2008)

Nitrógeno Total (N): es una medida de todas las diferentes formas de nitrógeno que se encuentran en una muestra de agua. (DANE, 2011)

Lodos residuales: Los lodos o fangos son aquellos subproductos resultantes de los procesos de tratamiento de las estaciones depuradoras de aguas residuales. (Torres, s.f.)

Recirculación de aguas: Este concepto está vinculado a volver a impulsar la circulación del agua adentro de un mismo circuito o sistema. (Barbosa, 2016)

Almidón: Es un polisacárido semicristalino compuesto por D-glucopiranosas unidas entre sí mediante enlaces glucocídicos. Se constituye como un carbohidrato de reserva, sintetizado y almacenado como fuente de energía, siendo el segundo hidrato de carbono más abundante en la biósfera. (Tovar, 2008)

Lodos activados: Es un proceso aerobio de biomasa suspendida que requiere un contacto íntimo entre el agua residual, la biomasa activa y el oxígeno. Consiste en poner en contacto, en un medio aerobio, normalmente en una balsa aireada o en un tanque de aireación, el agua residual con flóculos biológicos previamente formados, en los que se absorbe la materia orgánica y donde es degradada por las bacterias presentes. (Cyclus ID, s.f.)

Oxígeno disuelto: Es la cantidad de oxígeno gaseoso que está disuelto en el agua. (Universidad Complutense Madrid, 2015)

Sedimentación: Es un proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad. (Perez, 2005)

Pretratamiento: Implica la reducción de sólidos en suspensión o el acondicionamiento de las aguas residuales para su descarga bien en los receptores o para pasar a la siguiente etapa de tratamiento. (Ramalho, 1993)

Materia orgánica: Presencia de compuestos con una estructura química muy variable, constituida principalmente por C, H y O, y en menor medida de N, P y S. Los tres tipos fundamentales son grasas y aceites, compuestos nitrogenados y carbohidratos. (Sanchez, 2015)

Bacterias aeróbicas: Son un amplio grupo de bacterias que se caracterizan porque necesitan del oxígeno para sus procesos metabólicos. Estas bacterias emplean al oxígeno para degradar compuestos orgánicos hasta compuestos más sencillos a través de un proceso que se conoce como respiración celular. (López, s.f.)

Sólidos suspendidos totales: Hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual. Comprenden aquellos sólidos

que son retenidos en un filtro de fibra de vidrio con un poro nominal de 0.45 micras. (DANE, 2007)

Sólidos sedimentables: Es la parte de los sólidos en suspensión que por tamaño y peso pueden sedimentar al lapso de una hora en un recipiente. (UDLAP, s.f.)

Sólidos coloidales: Son aquellos sólidos en suspensión cuyo tamaño es menor a dos micras por lo tanto resulta imposible su remoción directa por medios mecánicos o físicos. Por lo tanto, su remoción debe ocurrir mediante una aglomeración química previa. (Schlumberger, s.f.)

Turbidez: Es una medida de la claridad del agua determinando el grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. (González, 2011)

10. MARCO TEÓRICO

10.1 Tratamiento de agua residual

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes en el agua derivados de su uso en actividades antrópicas. (Universidad Politécnica de Madrid, s.f.). Esto con el fin de obtener nuevamente la posibilidad de uso del recurso garantizando que los parámetros físicos, químicos y biológicos exigidos por la norma se cumplan, y de esta manera no constituyan un riesgo para la salud humana y el medio ambiente.

Tipos de tratamiento

Como fue mencionado antes existen tres tipos de tratamiento, en primer lugar, el tratamiento físico el cual busca la remoción de sólidos gruesos y material en suspensión mediante estructuras y fenómenos netamente físicos como rejillas tamices trituradores y sedimentadores. En segundo lugar, se encuentran los procesos químicos los cuales consisten en la aplicación de diferentes productos químicos que causan la eliminación y la aglomeración de los contaminantes facilitando su remoción. Finalmente existen los procesos biológicos producto de la actividad biológica aerobia y anaerobia de los microorganismos degradando sustancias orgánicas. (Lizarazo & Orjuela, 2013)

Etapas de tratamiento.

De acuerdo con el trabajo realizado en la Universidad politécnica de Madrid (s.f.) el proceso de tratamiento consta de 4 etapas principales, pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario, aunque para algunos autores como (Zapata, Hernandez, & Oliveros, s.f.) el pretratamiento va inmerso en el tratamiento primario. Sin embargo para este caso en específico se hará referencia únicamente a las dos primeras etapas.

a. Pretratamiento.

El objetivo principal de esta etapa es la remoción de sólidos gruesos mediante la implementación de rejillas o tamices que filtran las partículas de mayor tamaño permitiendo su remoción tanto manual como mecánica.

b. Tratamiento primario.

En esta etapa se busca remover una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. (RAS, 2000)

10.2 Sedimentador Convencional

Es un componente diseñado con el objetivo de remover sólidos en suspensión. Aquí el agua residual con partículas de lodo se traslada de un punto a otro con movimiento uniforme y velocidad constante. Todas las partículas presentes en el líquido con flujo constante se precipitan según la resultante de dos velocidades componentes: la velocidad horizontal del líquido y la velocidad de sedimentación de la partícula. (Maldonado, s.f.)

Para el dimensionamiento de la unidad se debe contemplar una zona de entrada de flujo la cual debe garantizar una distribución uniforme del líquido. Una zona de sedimentación la cual debe tener dimensiones adecuadas de profundidad para facilitar la sedimentación de las partículas, contando con una zona que facilite la acumulación de los lodos. Y finalmente una zona de salida del flujo que no perturbe la sedimentación de las partículas depositadas. Además para el diseño de un sedimentador simple es importante considerar distintos criterios como lo es el tiempo operación del sedimentador, el tiempo de retención hidráulico en el componente.

Ecuación de Hazen-Williams

La ecuación de Hazen-Williams, es una fórmula empírica que se utiliza para calcular la pérdida de carga en una tubería. Sin embargo, sólo es aplicable bajo condiciones de flujo turbulento del agua. (Reyna, 2012) De esta forma, la ecuación puede ser expresada en función del diámetro con un coeficiente de rozamiento conocido en determinado material para determinar el caudal entre dos diferentes tanques a diferente altura de la siguiente manera:

$$Q = 0,2787 \times C \times (D)^{2,63} \times \left(\frac{\Delta H}{L}\right)^{0,54}$$

Fuente: esacademic

Donde:

- D = Diámetro hidráulico.
- ΔH = Cambio de altura entre tanques.
- Q = Caudal ó flujo volumétrico en [m³/s].
- C = Coeficiente que depende de la rugosidad del tubo.
- L = Longitud de la tubería.

Ley de Stokes

Describe el movimiento de un cuerpo esférico de mayor densidad en un líquido con viscosidad definida, de manera que se genera una velocidad de caída llamada velocidad de sedimentación. La cual se calcula en función de la temperatura del agua y del peso específico de la partícula el cual se asume como 2.7 gr/cm^3 (RAS, 2017)

$$V_s = \frac{g D_p (\rho_l - \rho_p)}{18 \mu}$$

Fuente: RAS 2017

Donde:

g = Gravedad

D_p = Diámetro de la partícula

ρ_l = Densidad del líquido

ρ_p = Densidad de la partícula

μ = Viscosidad del líquido

Esta ecuación solamente es válida siempre y cuando el número de Reynolds de la partícula sea inferior o igual a 1.0. Y se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{V_s D_p}{\mu}$$

Donde:

V_s = Velocidad de sedimentación

D_p = Diámetro de la partícula

μ = **Viscosidad del líquido**

Ecuación de continuidad

De acuerdo con Torres (2015) es la expresión que explica el principio de conservación de la masa líquida evidenciando que el flujo de masa que pasa a través de una superficie cerrada debe ser igual a la disminución, por unidad de tiempo, de la masa de fluido contenido en su interior. De esta manera, es posible calcular el área de la superficie o en este caso el sedimentador, conociendo la velocidad de sedimentación y el volumen del flujo que pasa a través de esta en un tiempo determinado.

$$As = \frac{Q}{Vs}$$

Filtro lento de arena

El filtro de arena es un método de tratamiento sencillo y de bajo costo el cual consiste en hacer percolar el agua a través de capas de medios filtrantes de diferentes granulometrías. Los granos de arena forman una capa atravesada por el agua y que detiene por simple efecto de tamizado las partículas de tamaño superior al de los espacios existentes entre dichos granos (Wikiwater, s.f.). Además, para Carbotecnia (2004) las características más importantes de los medios filtrantes después del tamaño de la partícula deben ser su densidad específica y su dureza ya que estas determinaran la eficiencia de la filtración y la durabilidad del filtro.

Es por esto que los filtros lentos de arena son unos los procesos de tratamiento de agua más utilizados en el sector rural debido a su bajo costo económico, facilidad de construcción e innecesidad de mano de obra calificada para su operación.

El proceso de lavado de papa.

De manera artesanal la papa puede ser lavada de diferentes formas. Puede ser lavada manualmente en depósitos o tinas en donde se sumerge y se voltea el bulto con un flujo constante de agua que puede ser suministrado por una manguera. Así mismo los centros de lavado de papa utilizan mezcladoras de cemento ya que facilita el constante volcamiento de la papa y garantiza un menor uso de agua para remover la capa de tierra que recubre el alimento. Posteriormente la papa es extendida para su secado con la ayuda de ventiladores industriales.

De acuerdo con Cardozo & Pardo (2018) en el lavado de papa industrial se utiliza una máquina especializada conocida como “lavadora”, la cual consta de un motor el cual tiene la capacidad de mover una polea con correa de distribución con el fin de hacer girar el tambor. Así mismo existen maquinas especializadas que cumplen una función complementaria como lo es las máquinas de secado y el Tren de cepillos, el cual elimina partículas que quedan adheridas en los pequeños huecos propios de la forma de la papa.

11. MARCO NORMATIVO

Tabla 1 Marco normativo

Tipo de norma	Descripción
Constitución política de Colombia 1991	<p>Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.</p> <p>Artículo 366. El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua</p>
Ley 99 de 1993	<p>Artículo 31 les compete a las corporaciones autónomas regionales, fijar en el área de su jurisdicción, los límites permisibles de descarga, transporte o depósito de sustancias, productos, compuestos o cualquier otra materia que puedan afectar el ambiente o los recursos naturales.</p>
Decreto 3930 de 2010	<p>Establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.</p>
Resolución 1207 de 2014	<p>Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas</p> <p>Artículo 4. De los vertimientos. En caso que el uso del agua residual tratada dé lugar a la modificación del Permiso de Vertimientos, deberá adelantarse el trámite correspondiente ante la Autoridad Ambiental competente.</p> <p>Artículo 6. De los usos establecidos para agua residual tratada. Las aguas residuales tratadas se podrán utilizar en los siguientes usos:</p> <p>Artículo 7. Criterios de calidad. El uso de agua residual tratada deberá cumplir previamente los siguientes criterios de calidad:</p>

Resolución 631 de 2015

Artículo 9. Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas a cuerpos de aguas superficiales de actividades productivas de agroindustria y ganadería

RAS 2017

Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico Capítulo 2, 3 y 4 para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento.

12. MARCO GEOGRÁFICO

Para este caso de estudio se diseñará el sistema de tratamiento teniendo en cuenta las características de la empresa Provimercado localizada en Bogotá en la calle 66 No 123 -44 en la localidad de Engativá.

Ilustración 2 Localización Planta



Fuente: Google Earth

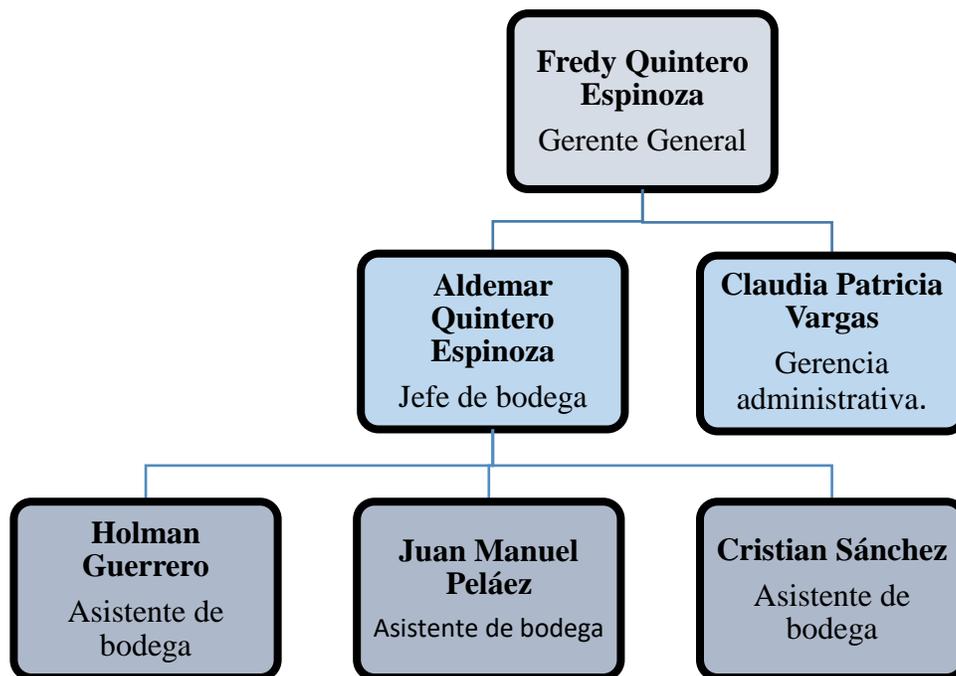
De acuerdo con la Cámara de comercio de Bogotá (2007) el sector económico en el que se encuentra la mayor cantidad de empresas es el de servicios con el 73%. Por actividades la distribución empresarial es la siguiente: comercio y reparación de vehículos (40%), industria (19%), servicios inmobiliarios y de alquiler (8%), transporte, almacenamiento y comunicaciones (8%), restaurantes y hoteles (7%), construcción (5%) y servicios

comunitarios sociales (5%); por lo tanto es posible decir que el sector se compone principalmente del desarrollo de actividades de tipo comercial e industrial, ejemplificando así el tipo de empresa objeto de este estudio.

13. MARCO INSTITUCIONAL

Provimercado es una microempresa colombiana fundada en el año 2001 dedicada a comercializar papa prelavada o en sucio al por mayor y al detal. La empresa comercializa diversas variedades y presentaciones de papa con fines específicos y de acuerdo con los requerimientos del cliente.

Ilustración 3 Organigrama



Fuente: el autor

Tipos de papa en producción.

- Papa cero lavada o en sucio destinada a restaurantes para sopas, papa a la francesa, puré y empanadas.
- Papa gruesa destinada a la venta a granel en Fruvers que finalmente llega a los hogares.

- Papa pareja en presentaciones embolsadas de varios pesos para la venta en Fruvers
- Papa Richi (pequeña) para platos especiales.
- Papa Saldo para la venta a criaderos de ganado.
- Papa R12.
- Papa Cero para restaurantes.
- Papa pareja para salar para la venta en asaderos.

En promedio se manejan 400 bultos mensuales que son distribuidos a 14 clientes aproximadamente. Cada bulto requiere de aproximadamente 38 litros de agua para ser lavado de acuerdo a estimaciones realizadas en las que se tuvo en cuenta el volumen del recipiente en donde se acumula el agua para lavar.

Etapas del proceso

1. Almacenamiento

La papa en sucio almacenada en bultos proveniente de los cultivos es apilada organizadamente en un sector específico de la bodega.

2. Lavado

Mediante el uso de una mezcladora de cemento automática, se lava por 1 minuto, medio bulto a la vez utilizando aproximadamente 5 galones de agua

Ilustración 4 Almacenamiento



Fuente el autor

Ilustración 5 Lavado



Fuente el autor

3. Escurrido

Una vez terminado el lavado, el agua resultante es almacenada en unas canecas para luego ser vertidas en el drenaje y la papa es extraída y puesta en canastillas.

4. Secado

En la etapa de secado la papa es extendida en una mesa seleccionadora en donde se encuentra instalado un ventilador de tipo industrial que se encarga de secar la papa.

Ilustración 6 Ecurrido



Fuente: El autor

Ilustración 7 Secado



Fuente: El autor

5. Selección

Luego de asegurar que la papa se encuentre seca, esta es seleccionada manualmente según su variedad estado y tamaño, separándola en canastillas diferenciadoras.

6. Embolsado

Luego de ser seleccionada, la papa destinada a la venta es empaquetada en bolsas con agujeros para garantizar la circulación del aire, estas bolsas tienen impreso el logotipo de la marca y el número de contacto de la empresa.

Ilustración 9 Selección



Fuente el autor

Ilustración 8 Embolsado



Fuente el autor

7. Pesaje

Un vez se llena manualmente de papa cada bolsa, se procede a pesar en una balanza y se completa con más papa o se saca el excedente hasta lograr un peso aproximado de 4 kilogramos.

8. Sellado

Después de ser pesadas, las bolsas son selladas a calor con ayuda de una selladora manual.

Ilustración 11 Pesaje



Fuente: El autor

Ilustración 10 Sellado



Fuente: El autor

9. Embultado

El proceso de embultado consiste en ubicar en costales las bolsas de papa que previamente se han lavado, seleccionado, pesado y sellado. Cada costal debe tener 20 bolsas de papa, de esta manera se facilita el transporte y entrega al cliente.

Adicionalmente, las papas de menor calidad que resultan del proceso de selección son ubicadas nuevamente en costales para ser vendidas como papa tipo saldo.

10. Transporte

Finalmente la papa es distribuida a los clientes en diferentes puntos en la ciudad de Bogotá.

Ilustración 13 Embultado



Fuente: El autor

Ilustración 12 Transporte



Fuente: El autor

Medidas de la planta de lavado

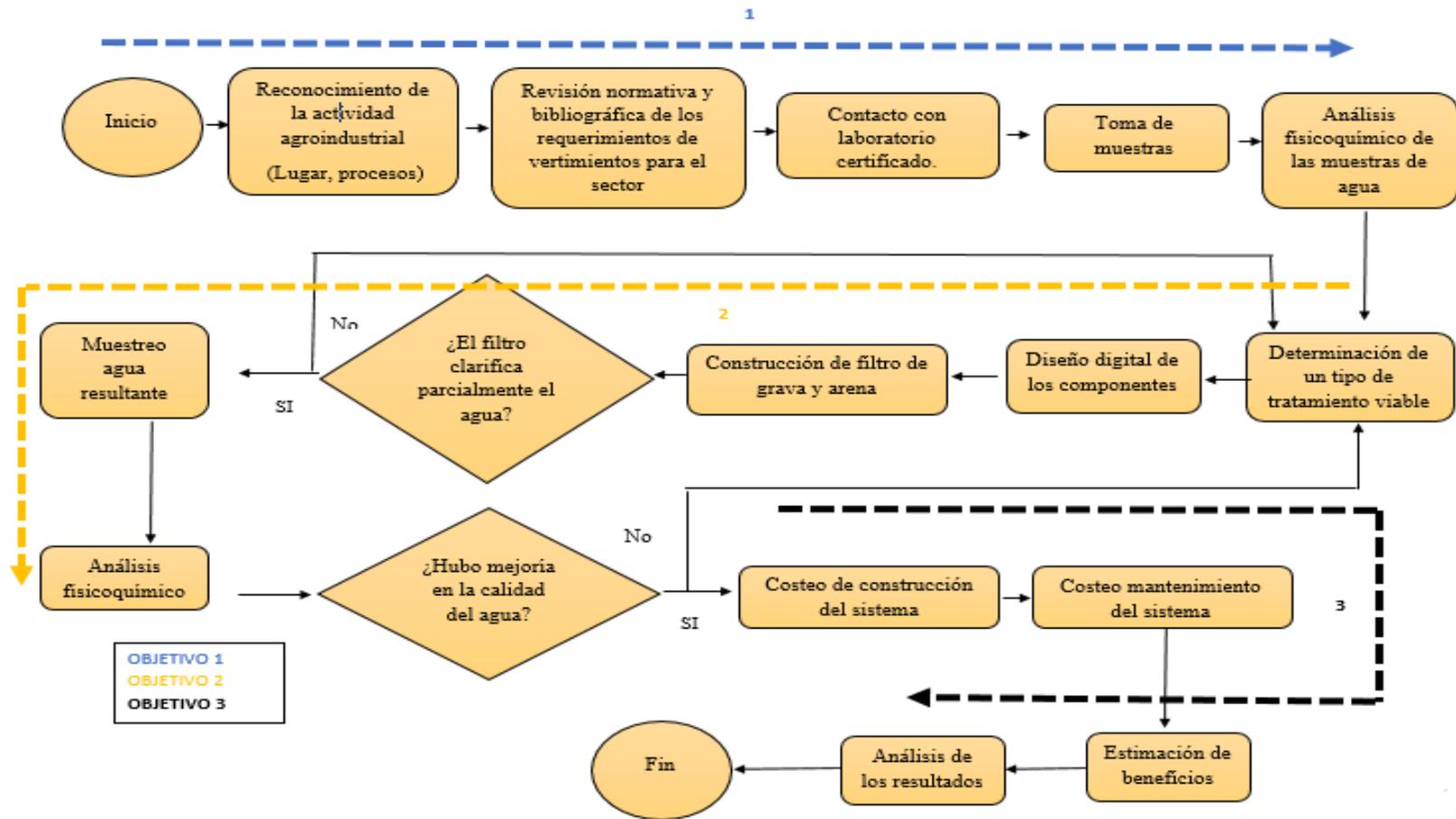


14. METODOLOGÍA

La metodología propuesta en este trabajo de investigación fue concebida con base en las ya mencionadas referencias conceptuales y en los trabajos similares que se han realizado para esta temática de estudio. Sin embargo, hay secciones específicas en donde se realizó procedimientos a criterio del investigador, como por ejemplo lo es la fase de experimentación con la construcción del filtro.

De manera general, se inició con un análisis de calidad del agua del vertimiento, luego se propuso un método de tratamiento y finalmente se evaluó su viabilidad.

14.1 Diagrama de flujo metodológico



14.2 Enfoque de la investigación

De acuerdo a Rodríguez (2011) el enfoque es la perspectiva o el horizonte de sentido desde el que se observa la realidad. Por lo tanto en éste cuentan los intereses, las intencionalidades y los conocimientos con los que el investigador percibe, categoriza y conceptualiza los fenómenos estudiados.

El enfoque metodológico de esta investigación se determinó mediante unos análisis a los procedimientos y actividades realizados en cada uno de los objetivos, abarcando cada uno de sus componentes cualitativos y cuantitativos teniendo en cuenta que los componentes cuantitativos son aquellos que presentan un valor numérico ordenable de mayor a menor y que pueden ser de carácter ordinal, intervalo lineal o de razón. (Baena, Cases, & Medina, 2005) Y que los componentes cualitativos utilizan descripciones interpretativas mediante el uso de palabras para analizar los significados subyacentes de las variables a analizar. (U.V, s.f.)

Objetivo específico 1: Realizar una caracterización del agua residual resultante del proceso de lavado de papa.

Para este objetivo específico se identificó un enfoque tanto cuantitativo como cualitativo. El enfoque cuantitativo es evidenciado con la medición de cada uno de los parámetros exigidos por la Resolución 0631 de 2015 para este tipo de vertimientos como lo es el pH, DQO, DBO5 sólidos sedimentables totales, sólidos sedimentables, grasas y aceites, fósforo total, nitrógeno total y color real aparente. De igual manera el enfoque cualitativo es evidente al realizar la comparación de los parámetros obtenidos en el laboratorio con los límites máximos permisibles estipulados en la norma. De esta manera y apoyados en las teorías de diferentes autores es posible hacer un análisis del estado de calidad del agua resultante del proceso.

Objetivo específico 2: Realizar el diseño del método de tratamiento y recirculación de las aguas.

El desarrollo del segundo objetivo tuvo un enfoque cuantitativo, debido a que se realizó el diseño del sistema de tratamiento de acuerdo con el estado físicoquímico de los parámetros obtenidos en el desarrollo del primer objetivo. Este modelo tuvo en cuenta los criterios de diseño para dichos parámetros estipulados en la norma RAS 2017.

Objetivo específico 3: Determinar la viabilidad en cuanto a costos del funcionamiento de la PTAR en el proceso productivo.

Para el desarrollo del tercer objetivo se identificó un enfoque de carácter mixto. El enfoque cualitativo es evidenciado en el análisis de viabilidad del proyecto mediante la recopilación de toda la información obtenida del desarrollo de los otros dos objetivos. De esta manera es posible determinar si la metodología de tratamiento seleccionada fue la más adecuada, así como el estado de funcionamiento de la planta.

El enfoque cuantitativo corresponde a la estimación de costos de operación y construcción del sistema de tratamiento diseñado en el segundo objetivo. Así mismo, corresponde a un análisis de los beneficios monetarios resultantes de la implementación del sistema.

14.3 Alcance de la investigación

De acuerdo con Ávila (2006) el alcance de la investigación es posible definirlo como aquel que explica los alcances del proyecto de investigación, especificando con claridad y precisión hasta qué punto se pretende profundizar en el ejercicio de investigación. De esta manera (Sampieri, Collado, & Baptista, 2010) hablan sobre 4 principales alcances, que son: exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo, los cuales determinarán la estrategia de investigación junto con el diseño y los procedimientos a llevar a cabo.

Con base en lo anterior se puede afirmar que esta investigación presenta diferentes alcances dependiendo de la fase que se entre a analizar. Al inicio de la investigación es posible decir que presentó un alcance exploratorio, debido a que si bien existen antecedentes acerca de implementación de plantas de tratamiento en el sector agroindustrial, la información específica sobre el proceso de lavado de papa y las características fisicoquímicas de este tipo de aguas son muy limitadas.

Para la primera fase la cual comprende el desarrollo del primer objetivo específico, se evidencia un alcance descriptivo debido a que se especificó sobre las características fisicoquímicas del agua residual y un alcance correlacional debido a que se realizó una comparación de los datos obtenidos con los marcos de referencia.

Para la segunda fase y el desarrollo del segundo objetivo, el alcance fue tanto descriptivo como correlacional, descriptivo porque se estableció las medidas óptimas de cada una de las partes del sistema de tratamiento, además de los detalles de cada uno de sus componentes. Y correlacional porque se tuvo en cuenta los criterios de diseño sugeridos en la norma y se estableció una relación entre los parámetros medidos en el primer objetivo y el sistema de tratamiento más acorde a dichos parámetros.

De igual manera, el adelanto del tercer objetivo supone un alcance descriptivo y correlacional. Descriptivo debido a que se realizó una especificación de las variables que mejorarían con la implementación del sistema y correlacional porque se tuvo en cuenta toda la información recolectada en el desarrollo de los dos primeros objetivos.

14.4 Técnicas e instrumentos.

Las técnicas e instrumentos implementados en esta investigación cumplen con el objetivo de garantizar una obtención de datos con la suficiente confiabilidad y suficiencia, basándose en metodologías ya aplicadas por otros autores en diferentes trabajos similares.

Para el caso del primer objetivo, el cual comprende la caracterización de las aguas residuales, se recurrió al servicio prestado por el laboratorio Quimicontrol Ltda, localizado en la ciudad de Bogotá el cual cuenta con acreditación del IDEAM bajo estándar de la NTC – ISO/BN IEC 17025 de 2005, mediante la resolución 010 de 2017 y Resolución 0459 de 2015.

El laboratorio realizó las labores de muestreo y caracterización físico-química del agua mediante las metodologías listadas en la siguiente tabla.

Tabla 2 Metodología e instrumentos de muestreo

Parámetro	Metodología	Instrumento
Ph en campo	SM 4500-H +B, Electrométrico	pH metro Hanna Instruments
Temperatura-en campo	SM 2550 B, Electrometría	pH metro Hanna Instruments
Sólidos sedimentables-en campo	SM 2540 F, Volumétrico,	Cono Imhoff
Demanda química de oxígeno, DQO	SM 5220 B, Reflujo Abierto	Termoreactor para DQO
Demanda bioquímica de oxígeno DBO5	SM 5210 B, 4500-O C Incubación Modificación de Azida	Incubadora para DBO ISE
Sólidos suspendidos totales, SST	SM 2540 D, Gravimetría, Secado	Balanza analítica digital ED 224S marca Sartorius
Grasas y aceites	SM 5520 D, Extracción Soxhlet	Balanza analítica digital ED 224S marca Sartorius
Turbidez a 25,00 °C	SM 2130 B, Nefelométrico	Turbidímetro TB 300 IR marca ORBECO HELLIGE
Nitrógeno Kjeldahl, N	SM 4500 Norg C, 4500 NH3 B, C Semi-micro- Kjeldahl	
Fósforo total, P	SM 4500-P B,C, Colorimétrico, Ácido Vanadomolibdofosfórico	Espectrofotómetro SPECORD 50 PLUS
Color Real pH: 5,65 unidades = 436 nm	ISO 7887:2011 Método B	Espectrofotómetro SPECORD 50 PLUS
Color Real pH: 5,65 unidades = 525 nm	ISO 7887:2011 Método B	Espectrofotómetro SPECORD 50 PLUS
Color Real pH: 5,65 unidades = 620 nm	ISO 7887:2011 Método B	Espectrofotómetro SPECORD 50 PLUS

En cuestión del desarrollo del segundo objetivo se utilizó la herramienta SketchUp Pro de diseño gráfico y modelación en tres dimensiones. Es utilizado para el modelado de entornos de planificación urbana, así como en el dimensionamiento de diseños profesionales arquitectónicos, de ingeniería civil y diseño industrial.

En la revisión final de viabilidad se implementó un análisis de costos y beneficios de la implementación del proyecto en donde se tuvo en cuenta sus costos de adquisición, los costos de operación, costos de mantenimiento y posibles costos escondidos

Tabla 3 Matriz metodológica

Objetivo General	Objetivos Específicos	Actividades	Técnicas	Instrumentos	Resultados esperados
Proponer un diseño de cadena de lavado de papa que permita tratar, almacenar y recircular el agua utilizada generando una disminución de costos del proceso y permitiendo recuperar los lodos de desecho.	Realizar una caracterización del agua residual resultante del proceso de lavado de papa	Revisión Normativa	Análisis documental	Resol. 0631 2015	Evidenciar una marcada diferencia entre los parámetros obtenidos en el análisis fisicoquímico y los permitidos en la normativa, esperando un resultado alto en la DBO5 Y DQO
		Revisión bibliográfica	Análisis documental	Cardozo & Pardo (2018)	
		Selección del laboratorio certificado	Búsqueda web	Computador	
		Muestreo en el punto	Muestreo puntual	Nevera polietileno expandido, envases de muestreo diferenciados por parámetro.	
		Análisis de resultados	Comparación respecto a la norma	Resol. 0631 2015	
	Realizar el diseño del método de tratamiento y recirculación de las aguas.	Revisión y selección de métodos de tratamiento	Análisis documental	Cepis (2005) Ras (2017)	Obtener una mejora significativa en los parámetros de calidad del agua implementando el diseño del método de tratamiento
		Diseño digital del tanque colector	Diseño en 3 dimensiones	Software SketchUp	
		Diseño digital del sedimentador simple	Diseño en 3 dimensiones	Software SketchUp	
		Diseño y construcción del filtro	Diseño en 3 dimensiones y Elaboración de filtro modelo	Software SketchUp	
		Diseño tanque de almacenamiento	Diseño en 3 dimensiones	Software SketchUp	
		Muestreo del agua resultante del tratamiento	Muestreo puntual	Nevera polietileno expandido, envases de muestreo diferenciados por parámetro , Hielo	
		Elaboración de análisis	Comparación respecto a los resultados del primer muestreo	Resultados primer objetivo	
	Determinar la viabilidad en cuanto a costos del funcionamiento de la PTAR en el proceso productivo.	Determinación aproximada de la cantidad de lodos aprovechables generados	Decantación secado y pesaje de lodos obtenidos en un bulto de papa	Tanque de espesamiento	Obtener un balance de costos positivo para la opción de implementación real del proyecto.
		Análisis costos de construcción	Cotización de elementos	Matriz de costos	
		Análisis de costos de operación y mantenimiento	Cotización de costos	Matriz de costos	

15. RESULTADOS Y ANÁLISIS

15.1 Análisis caracterización del agua

De acuerdo a la metodología ya planteada, el primer paso consistió en la caracterización inicial del agua residual basándose en los parámetros exigidos en la resolución 0631 de 2017, más específicamente en los artículos 9 y 16 los que se refieren a los parámetros fisicoquímicos a monitorear y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas a cuerpos de aguas superficiales y al alcantarillado público, derivados de actividades productivas de agroindustria y ganadería. Debido a que la norma no estipula específicamente los parámetros fisicoquímicos a evaluar para vertimientos puntuales al alcantarillado público de actividades agroindustriales, se tomó como referencia los parámetros listados en el artículo 9 para vertimientos puntuales en aguas superficiales del procesamiento de hortalizas, frutas, legumbres, raíces y tubérculos; teniendo en cuenta que la norma sugiere que deben aplicar las mismas exigencias establecidas para el parámetro respectivo en la actividad específica multiplicados por un factor de 1,50.

Como fue mencionado antes, para el muestreo en el punto y la caracterización del agua residual se optó por utilizar el servicio de un laboratorio Quimicontrol LTDA certificado por el IDEAM, el cual realizó el muestreo el día 4 de septiembre de 2019 en el punto fijo de vertimiento, a lo cual se obtuvieron los resultados listados en la siguiente tabla:

Tabla 4 Resultado de muestreo 1

Variable	Unidad	Resultado	Incertidumbre	Valor exigido en la norma x 1,50
pH-en campo a 25°C	N/A	6,74	N.D.	5,00 a 9,00
Temperatura-en campo	°C	18,8	N.D.	N/A
Sólidos sedimentables-en campo	mL/L	500	±17.5	7,50
Demanda química de oxígeno, DQO	mg O ₂ /L	1125,6	±38.2704	225,00
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	mg/L O ₂	488,6	±15.1466	75,00
Sólidos suspendidos totales, SST	mg/L	1930	±45.0848	150,00
Grasas y aceites	mg/L	0	±0.0000	15,00
Turbidez a 25,00 °C	NTU	174	±24.36	N/A
Nitrógeno Total, N	mg/L	62,8	±2.4512	Análisis y Reporte
Fósforo total, P	mg/L	24,5	±0.2611	Análisis y Reporte
Color Real pH: 5,65 unidades = 436 nm	m^{-1}	8,4	N.D.	Análisis y Reporte
Color Real pH: 5,65 unidades = 525 nm	m^{-1}	4,1	N.D.	Análisis y Reporte
Color Real pH: 5,65 unidades = 620 nm	m^{-1}	1,4	N.D.	Análisis y Reporte

pH

Con respecto al pH, el cual es una medida de alcalinidad o acidez que presenta la sustancia se obtuvo un valor de 6,74 lo cual nos indica que el vertimiento es prácticamente neutro con una muy ligera acidez la cual puede ser provocada por las propiedades de suelo en donde se cultivó la papa. Por ende, en lo que respecta al pH del agua residual, es posible afirmar que cumple con la normativa debido a que se encuentra en el rango de tolerancia que dicta la norma el cual está entre 5,00 a 9,00.

Temperatura

En lo que refiere a la temperatura del vertimiento, se obtuvo un valor de 18,8°C. La temperatura en los vertimientos de acuerdo con Garcia & Lopez (2005) puede afectar la actividad biológica y puede contribuir al agotamiento del oxígeno disuelto, ya que la solubilidad del oxígeno es inversamente proporcional al aumento de la temperatura. Sin embargo para este caso la temperatura es muy cercana a la considerada como temperatura ambiente y por ende no causaría ningún tipo de afectación.

Sólidos sedimentables

Teniendo en cuenta que de acuerdo con Torres (2015) los sólidos sedimentables se refieren a la cantidad de materia en suspensión que se precipita de una muestra en un periodo de tiempo, se obtuvo un valor de 500 mL/ L, lo cual significa que existe una altísima cantidad de sólidos sedimentables por cada litro de muestra del agua residual del proceso. Como es evidente, en lo que respecta a los sólidos sedimentables de la muestra, no hay cumplimiento con lo estipulado en la norma pues el límite máximo permisible es de apenas 7,50 mL/L. Sin embargo esto evidencia un alto potencial en el aprovechamiento o recuperación del material sedimentable para su posterior venta.

Demanda química de oxígeno

En lo que corresponde a la demanda química de oxígeno, es un parámetro que representa la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en disolución que puede ser químicamente oxidada, por la acción de un agente oxidante (Ramirez & Durán, 2008). Para este caso en particular se obtuvo un valor de 1125,6 mg O₂ por cada litro de muestra, lo cual quiere decir que para este tipo de agua residual se requiere una elevada cantidad de oxígeno diatómico para degradar la materia orgánica presente. Así mismo, se evidencia que para este parámetro no hay cumplimiento normativo ya que el límite máximo permisible es de 225,00 mgO₂/L.

El resultado elevado pudo haber sido ocasionado por la presencia de agentes contaminantes químicos implementados en el proceso de cultivo como pesticidas y fertilizantes los cuales al ser posiblemente de origen inorgánico también suman al valor de la demanda.

Demanda bioquímica de oxígeno

El valor obtenido para la DBO5 fue de 488,6 mg O₂/L, que al igual que la demanda química de oxígeno, constituye un valor por encima del límite normativo el cual es de 75,00 mg O₂/L. Para este valor es posible concluir que en la presencia de agentes biológicos es requerido una elevada cantidad de oxígeno para degradar la materia orgánica presente en este tipo de agua residual.

Sólidos suspendidos totales

Con respecto a la presencia de sólidos suspendidos totales, se obtuvo un valor de 1930 mg /L el cual se encuentra por encima de norma como puede ser evidenciado en la tabla# 4 La elevada cantidad de este parámetro se debe al tipo de suelo franco arcilloso del suelo en donde se cultiva la papa, el cual al combinarse con el agua para realizar el proceso, deja una alta presencia de material coloidal.

Grasas y aceites

Para este parámetro, como se esperaba, se obtuvo un valor de 0 esto debido a que en el proceso no se utiliza ninguna sustancia o material con estas características.

Turbidez

Con respecto a la turbidez del agua, donde se obtuvo un valor de 174 NTU, no es un parámetro requerido por la normativa ya mencionada; sin embargo se tomó como referencia para brindar una idea visual del tipo de agua residual que se estudió.

Nitrógeno Total

De acuerdo a la Resolución 0631 el valor del nitrógeno total debe ser reportado y analizado con el objetivo de generar una perspectiva completa del agua residual a tratar. El nitrógeno es un nutriente fundamental para el crecimiento biológico y por ende, su presencia elevada puede conllevar al avance de procesos de eutrofización en los cuerpos de agua.

Como se puede observar en la tabla # 4 se obtuvo un valor de 62,8 mg /L. Debido a que el aporte de nitrógeno al vertimiento es completamente a causa del tipo de suelo donde se sembró la papa, es posible realizar una comparación con la escala propuesta por Pellegrini (2017), sobre la calificación de cantidad de nitrógeno presente en suelos, a lo cual se concluye que este tipo de suelos presentan una cantidad moderadamente provista de nitrógeno

Tabla 5 Valoración de presencia de nitrógeno en suelos

Muy deficiente	< 20
Deficiente	20 – 39,9
Moderadamente provisto	40 - 79,9
Bien provisto	80 – 99,9
Muy bien provisto	>100

Fuente: Pellegrini (2017)

Fosforo total

El valor obtenido de fosforo total en la muestra fue de 24,5mg/L. Al igual que el nitrógeno, el fosforo es un nutriente fundamental para el desarrollo de la actividad biológica, esto es importante para entrar a analizar la implementación de un tratamiento biológico en este tipo de agua residual.

Color Real

De acuerdo a Goyenola (2007) el color del agua dependerá tanto de las sustancias que se encuentren disueltas, como de las partículas que se encuentren en suspensión. Es por esto que el color real se refiere al color exclusivamente del agua junto con las sustancias que se encuentren disueltas en ella.

En la Resolución 0631 de 2015 se encuentra estipulado que se debe hacer reporte y análisis de este parámetro en las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm a lo cual se obtuvo un valor de 8.4, 4.1 y 1.4 respectivamente. Acorde a Trujillo & Cajigas (2018) las mediciones a estas tres longitudes de onda sirven como herramienta para dar una idea del tipo de contaminante presente en el agua de acuerdo al color resultante.

15.2 Método de tratamiento

Para la selección de la metodología de tratamiento a implementar se consideró principalmente los costos de operación de los diferentes métodos de tratamiento para este tipo de aguas residuales. En el trabajo de Cardozo & Pardo (2018), en donde se propuso un sistema de tratamiento para un proceso de lavado de papa similar, se llegó a la conclusión que la implementación de una planta de tratamiento que requiera adición de reactivos químicos en los procesos de cuagulación floculación y desinfección es totalmente inviable para este caso, puesto que el costo de construcción de la planta de tratamiento ascendía a los 10 millones de pesos aproximadamente, con un costo de operación mensual de \$631.709, el cual es un valor que excede totalmente las expectativas de costos en una microempresa de este tipo.

Es por esto que se entró a analizar diferentes metodologías de tratamiento que se destacaran por sus bajos costos de construcción y de operación para determinar su viabilidad de implementación en este sistema productivo.

Relación DBO / DQO

Para determinar la biodegradabilidad del agua para este caso de estudio, se realizó el procedimiento mencionado por Martínez (2010) el cual consiste en realizar un cociente entre los valores de DBO5 y DQO para determinar la fracción de materia orgánica.

$$\frac{DBO5}{DQO} = \frac{488,6 \frac{mg\ O2}{L}}{1125,6 \frac{mg\ O2}{L}} = 0,4$$

Si la relación es menor a 0,2 se consideraría un agua de características poco biodegradables en este caso, la relación se encuentra entre 0,2 y 0,4 lo que la posiciona en un nivel intermedio de biodegradabilidad. Por lo tanto, bioquímicamente hablando, la implementación de un tratamiento biológico en este tipo de aguas sería viable; sin embargo los tratamientos biológicos a pesar de caracterizarse por un bajo costo de funcionamiento requieren inversión periódica en microorganismos, además del requerimiento de energía para el funcionamiento de los agitadores mecánicos que aseguran la presencia de oxígeno disuelto. Es por esto que se descartó la implementación de este tipo de tratamiento, puesto que los costos de operación pueden seguir siendo muy elevados para el presupuesto de inversión de la empresa.

Filtración lenta

Se determinó que la opción de tratamiento que incurría en menos costos operacionales sería aquella que no requeriría la adición de alguna sustancia o insumo costoso, así como una constante vigilancia por parte de algún operario. Es por esto que se indagó sobre metodologías de tratamiento simples y se llegó a la conclusión que un filtro de arena sería la opción más viable puesto que el agua residual no presenta un nivel alto de complejidad de tratamiento.

Propuesta de sistema de tratamiento



Fuente: Autores

15.3 Diseño de unidades

15.3.1 Tanque Colector

El tanque colector se diseñó teniendo en cuenta el caudal de entrada aproximado al sistema en donde se estimó de acuerdo al volumen de agua usada al día junto con el volumen de lodos generados.

Volumen agua utilizada al día:

$$\frac{\text{Cantidad de bultos lavados}}{1 \text{ día}} \times \frac{\text{cantidad de agua requerida para lavar}}{1 \text{ bulto}}$$

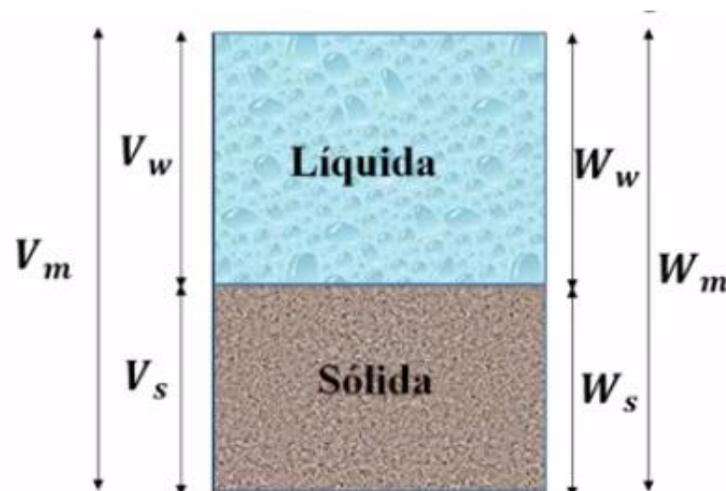
$$\frac{17 \text{ bultos}}{1 \text{ día}} \times \frac{10 \text{ gal}}{1 \text{ bulto}} \times \frac{0,00378541 \text{ m}^3}{1 \text{ gal}} = 0,6435 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Volumen sólido

Para determinar el volumen de lodos generados en un día se utilizó una relación volumétrica: Es pertinente recordar que se requiere de aproximadamente 10 gal de agua para lavar un bulto y que al día se lavan aproximadamente 17 bultos.

Se tomó como referencia el recipiente de 5 galones donde se recolecta el agua residual como se ve ejemplificado en la siguiente imagen:

Ilustración 14 Relaciones volumétricas



Fuente: (Enciclopedias, 2016)

Variables

V_m = Volumen total

V_w = Volumen Fase Líquida

V_s = Volumen fase sólida

W_w = Peso fase líquida

W_s = Peso fase solida

W_m = Peso total

Y_s = Peso específico de la partícula sólida de suelo (Asumida)

Datos conocidos:

$V_m = 0,0189271 \text{ m}^3$ (5 gal)

$W_s = 0,404 \text{ Kg}$ (Peso de lodos encontrado por caneca)

$W_m = 15 \text{ Kg}$

$Y_s = 2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 2700 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

Calculo volumen sólido:

$$V_s = \frac{W_s}{Y_s}$$

$$V_s = \frac{0,404 \text{ Kg (2)}}{2700 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 0,0002992 \text{ m}^3$$

Volumen solido generado al día:

$$\frac{0,0002992 \text{ m}^3}{\text{bulto}} \times \frac{17 \text{ bultos}}{1 \text{ día}} = 0,005087 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Caudal total:

$$C_t = \frac{\text{Volumen Agua} + \text{Volumen sólido}}{\text{día}}$$

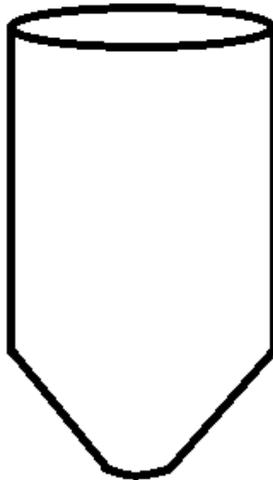
$$Ct = \frac{0,6435 \text{ m}^3 + 0,005087\text{m}^3}{\text{día}} = 0,6485 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Dimensionamiento del tanque

Teniendo en cuenta el caudal de entrada al sistema, se definió que el volumen correcto para lograr una adecuada captación del volumen de agua residual es de **1m³**. Para esto se estableció que la forma más adecuada es la de un cilindro con forma de tolva en su parte inferior, esto para asegurar la recuperación de la mayoría de los lodos.

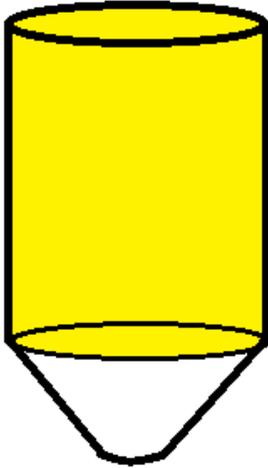
Tanque colector

Ilustración 15 Tanque colector



Fuente: Autor

Ilustración 16 Volumen sección cilíndrica



Se definió un radio de 56 cm con una altura de 1m a criterio

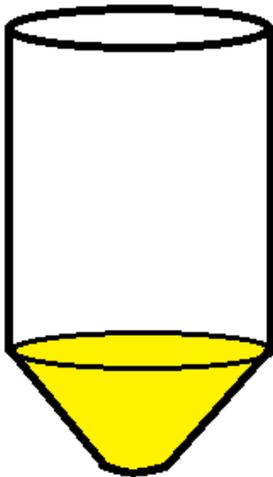
$$V_{cilindro} = \pi r^2 h$$

$$V = \pi \times (56\text{cm})^2 \times 100\text{cm}$$

$$V = 985203,45 \text{ cm}^3$$

Fuente: Autor

Ilustración 17 Volumen sección cono truncado



Se estableció que el diámetro de salida de flujo sería de 10 cm

$$V_{conotroncado} = \pi [R^2 + r^2 + (R+r) \times g]$$

$$V = \pi [(56\text{cm})^2 + (5\text{cm})^2 + (56\text{cm} + 5\text{cm}) \times 90 \text{ cm}]$$

$$V = 27177.92 \text{ cm}^3$$

Fuente: Autor

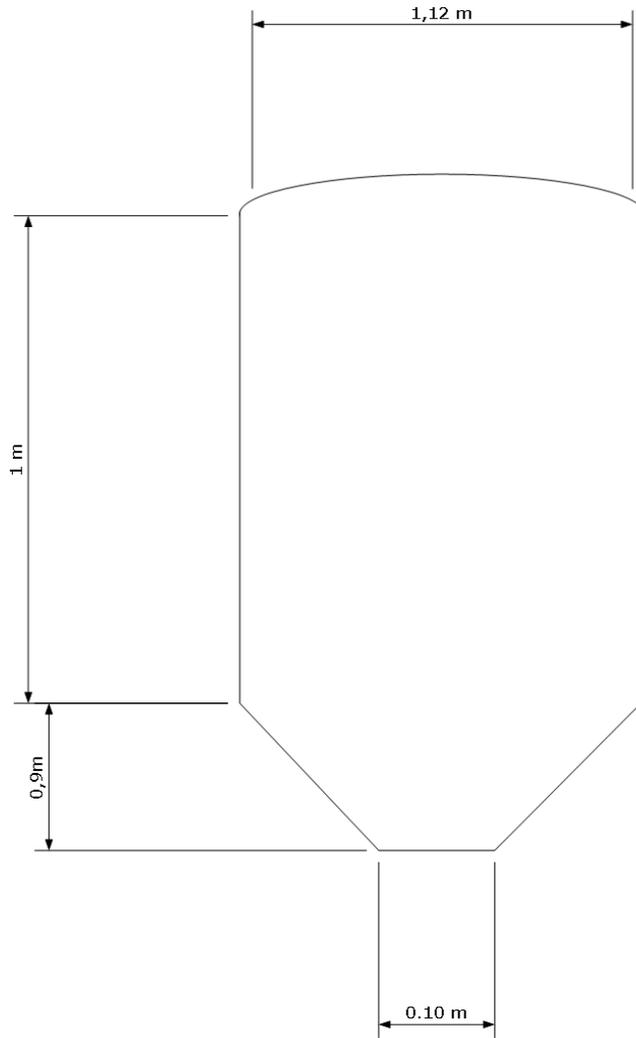
Volumen total:

$$VT = V_{cilindro} + V_{conotroncado}$$

$$VT = 985203,45 \text{ cm}^3 + 27177.92 \text{ cm}^3$$

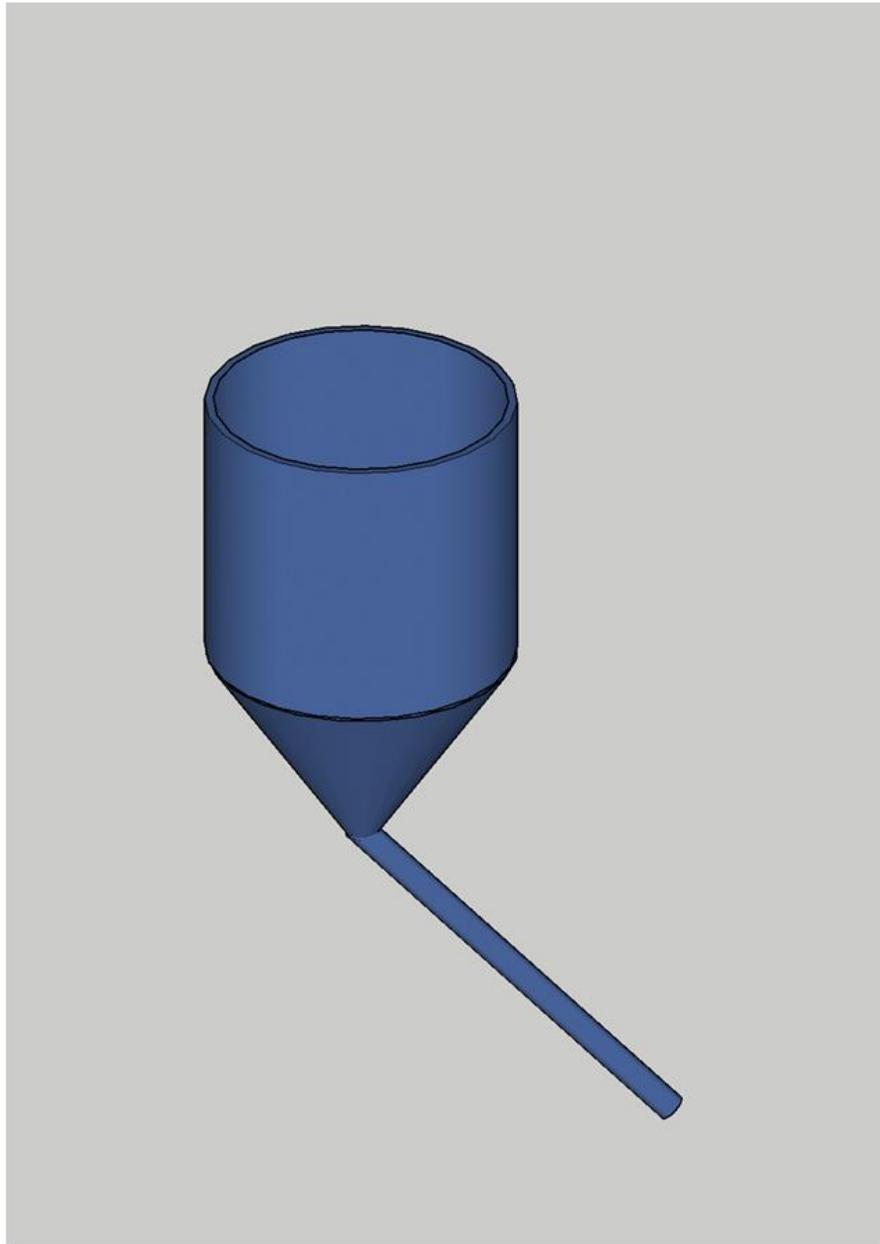
$$VT = 1012381,37 \text{ cm}^3 \cong 1\text{m}^3$$

Ilustración 18 Dimensiones tanque colector



Fuente: Autor

Ilustración 19 Diseño 3d tanque colector



Fuente: Autor

15.3.2 Sedimentador

Caudal de entrada por ecuación de Hazen-Williams en función del diámetro

$$Q = 0,2787 \times C \times (D)^{2,63} \times \left(\frac{\Delta H}{L}\right)^{0,54}$$

Donde:

C= Coeficiente de rozamiento = 150 (PVC)

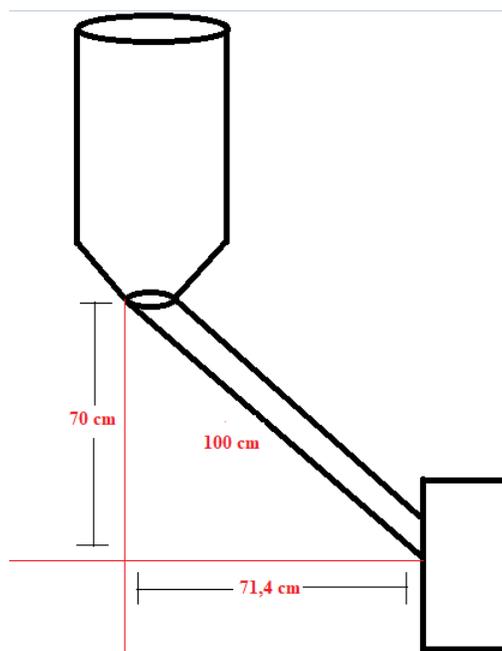
D= Diámetro de la tubería = 4 pulgadas

ΔH = Cambio de altura

L= Longitud

Teniendo en cuenta que el diámetro de salida del tanque colector es de aproximadamente 4 pulgadas se propuso una tubería de salida de un metro del mismo diámetro para establecer un flujo controlado hacia el sedimentador de la siguiente manera:

Ilustración 20 Esquema de flujo entre etapas



Fuente: Autor

Entonces:

$$\Delta H = 70 \text{ cm}$$

$$L = 71,4 \text{ cm}$$

Cálculo de caudal de entrada:

$$Q = 0,2787 \times 150 \times (10,16 \text{ cm})^{2,63} \times \left(\frac{70 \text{ cm}}{71,4 \text{ cm}}\right)^{0,54}$$

$$Q = 18536,2716 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 0,1853 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Velocidad de sedimentación ley de Stokes

$$V_s = \frac{g D_p (\rho_l - \rho_p)}{18 \mu}$$

Cálculo experimental densidad del líquido:

$$\rho_l = \frac{\text{Masa del líquido}}{\text{Volumen del líquido}}$$

Mediante un ensayo experimental se determinó la masa del líquido utilizando una probeta de 100 mL, determinando la diferencia de masa con y sin el líquido en su interior mediante una balanza, a lo cual se obtuvo que en 100 mL de muestra de agua residual se observó una masa de 100 g.

$$\rho_l = \frac{100 \text{ g}}{100 \text{ mL}} = 1 \frac{\text{g}}{\text{mL}}$$

Cálculo velocidad de sedimentación:

$$V_s = \frac{g D_p^2 (\rho_p - \rho_l)}{18 \mu}$$

$$V_s = \frac{\left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) (0.00001m)^2 \left(2700 \frac{Kg}{m^3} - 1000 \frac{Kg}{m^3}\right)}{18 \left(0.00000114 \frac{m^2}{s}\right)}$$

$$V_s = 0,0812 \frac{m}{s}$$

Cálculo número de Reynolds

$$Re = \frac{V_s d_P}{\mu}$$

$$Re = \frac{\left(0,0812 \frac{Kg}{s}\right) (0.00001m)}{0.00000114 \frac{m^2}{s}}$$

$$Re = 0.712$$

Área superficial por ecuación de continuidad

$$As = \frac{Q}{V_s}$$

$$As = \frac{0,1853 \frac{m^3}{s}}{0,0812 \frac{m}{s}} = 2.28 m^2$$

Largo (b) y ancho(a)

$$b \times a = 2.28 m^2$$

$$4b = a$$

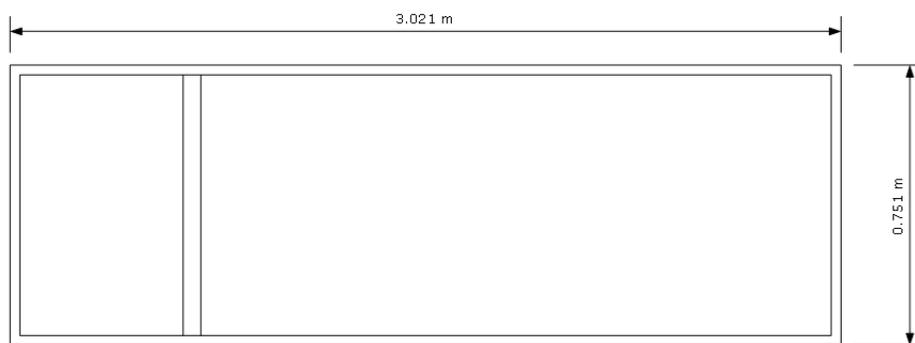
RAS (2017)

$$b \times 4b = 2.28m^2$$

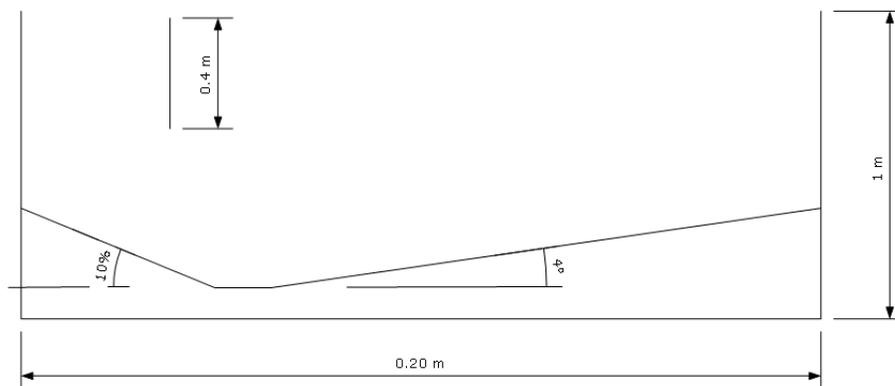
$$b = 3.021m$$

$$a = 0.755 m$$

Ilustración 21 Dimensiones Sedimentador

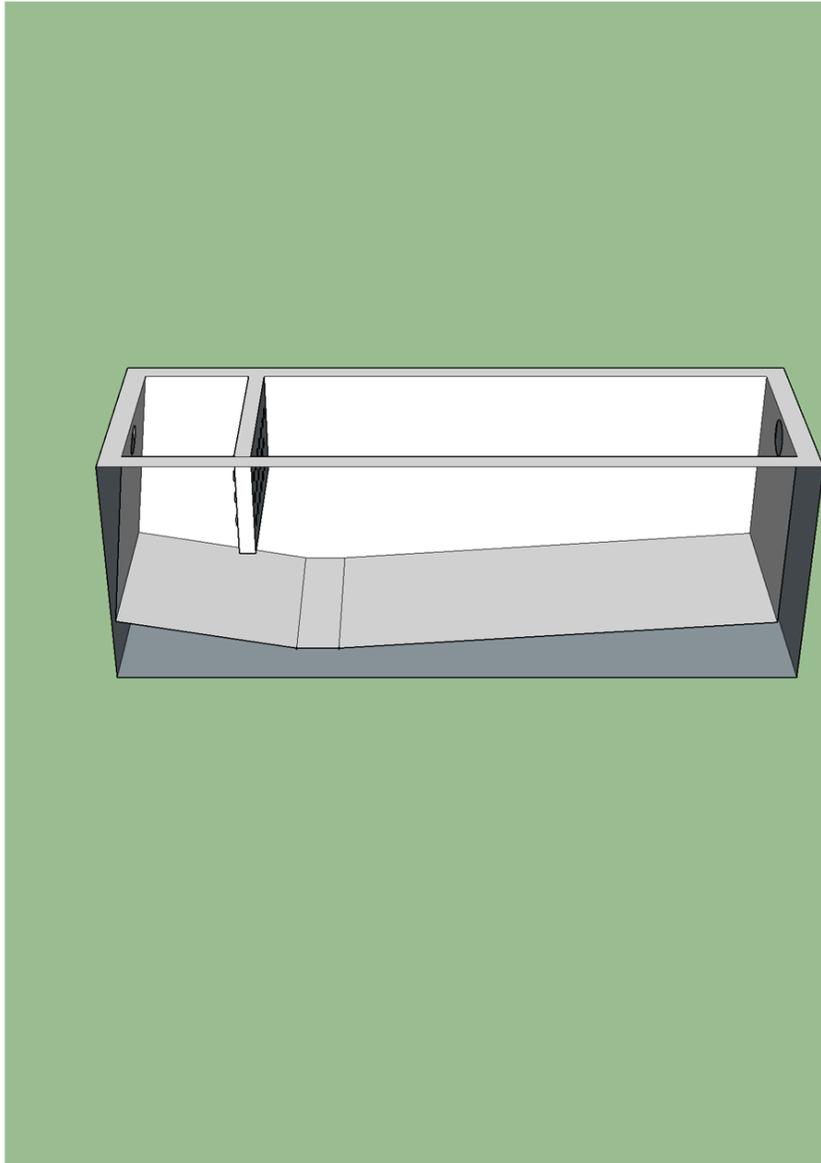


Vista superior



Vista transversal

Ilustración 22 Diseño 3D sedimentador



15.3.3 Filtro de Arena - Grava lento

Para determinar la efectividad de tratamiento de este tipo de filtro se diseñó un modelo mediante el cual se realizara una filtración de agua residual, haciéndola fluir hacia diferentes capas con materiales de diferentes granulometrías en un tubo de PVC de 4 pulgadas con un metro de largo. En primer lugar se dejó un borde libre de 5 cm para impedir desbordamiento del agua. Luego, se posicionó 40 cm de arena sílica el cual es un conocido material implementado en filtros para actividades de piscicultura y tratamiento de piscinas. Posteriormente se colocó una capa de 25 cm de arena de río el cual es un material caracterizado por presentar partículas de granulometría variable. Después de esto se colocó dos capas de gravilla de 2mm y 5mm respectivamente. Más adelante se puso una capa de 20 cm de carbón activado el cual es un material filtrante caracterizado por una alta porosidad lo cual le facilita absorber contaminantes. Y finalmente, se ubicó una capa de 10 cm de grava gruesa para culminar el filtrado. Las medidas seleccionadas para cada una de las capas filtrantes se seleccionaron a criterio del autor, sin embargo, se tuvo en cuenta recomendaciones propuestas por Ordoñez y Palacios (2011) quienes mencionan que debe considerarse una altura mínima de 0.30 m de grava dispuesta en tres capas de diferente granulometría.

Una vez finalizada la construcción se procedió a realizar un lavado del filtro haciendo fluir agua limpia con el objetivo de remover posibles partículas contaminantes que se encontraran en las diferentes capas de filtración, que pudiesen alterar de alguna manera los valores del muestreo. Una vez se observó que el agua salía sin ninguna alteración aparente, se procedió a introducir un litro del agua residual en la parte alta del filtro, la cual previamente se dejó sedimentar en un contenedor para simular los efectos de precipitación de partículas gruesas logrados en la etapa del sedimentador. Más adelante se midió el tiempo de retención hidráulico del agua residual el cual fue de 3,26 minutos y finalmente se recibió la muestra ya filtrada en la parte de abajo para luego ser introducidas en los frascos que serían llevados al laboratorio más adelante.

Mediante este modelo se pretendió evaluar la efectividad de tratamiento de cada uno de los materiales ya mencionados, analizando las características físico-químicas del agua de acuerdo a los parámetros tomados en el primer muestreo. Esto para poder hacer una comparación entre el muestreo sin tratamiento y un muestreo del agua residual pasada por el filtro previamente. Para este muestreo, se tomaron las mismas recomendaciones de muestreo dictadas por el laboratorio de análisis para toma de muestras puntuales.

Ilustración 23 Dimensiones del filtro

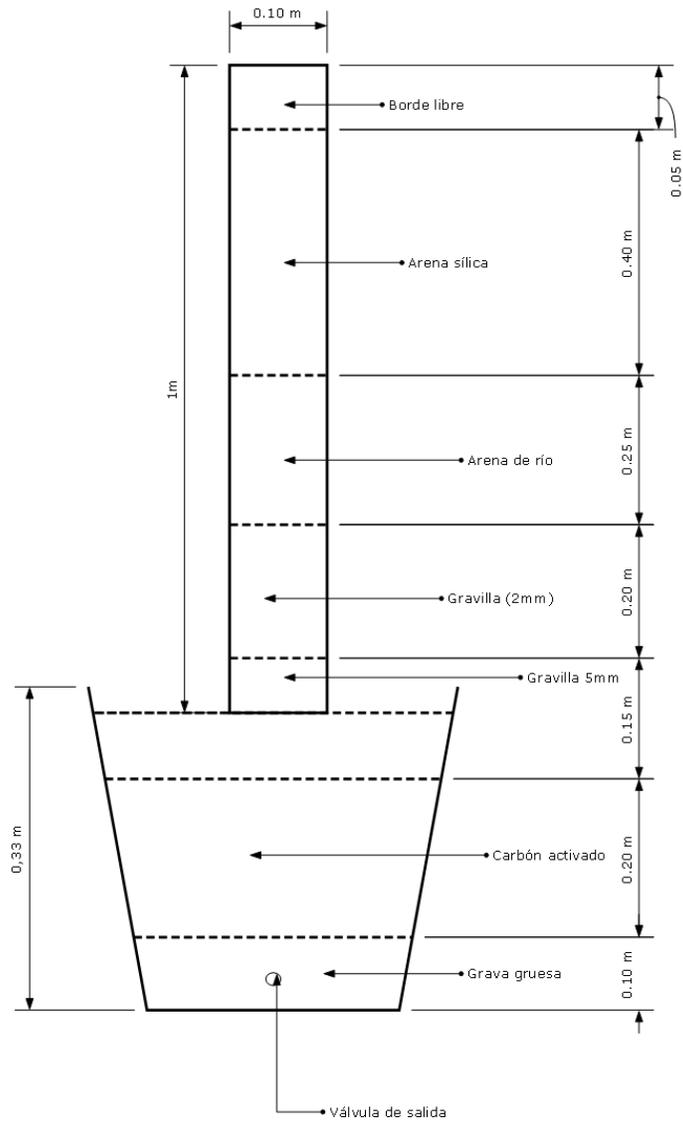


Tabla 6 Resultados segundo muestreo

Variable	Unidad	Resultado sin tratamiento	Resultado con tratamiento	Valor exigido en la norma x 1,50
pH- 25°C		6,74	6,57	5,00 a 9,00
Temperatura	°C	18,8	5,7	N/A
Sólidos sedimentables	mL/L	500	< 0,1	7,50
Demanda química de oxígeno	mg O2/L	1125,6	210,2	225,00
Demanda bioquímica de oxígeno	mg O2/L	488,6	78,4	75,00
Sólidos suspendidos totales	mg/L	1930	237,2	150,00
Grasas y aceites	mg/L	0	3,33	15,00
Turbidez a 25,00 °C	NTU	174	519,5	N/A
Nitrógeno Total, N	mg/L	62,8	8,25	Análisis y Reporte
Fósforo total, P	mg/L	24,5	7,71	Análisis y Reporte
Color Real pH: 5,65 unidades = 436 nm	m^{-1}	8,4	4,2	Análisis y Reporte
Color Real pH: 5,65 unidades = 525 nm	m^{-1}	4,1	2,8	Análisis y Reporte
Color Real pH: 5,65 unidades = 620 nm	m^{-1}	1,4	2,2	Análisis y Reporte

pH y temperatura:

Los valores correspondientes al pH y la temperatura una vez realizado el tratamiento no tuvieron cambios de relevancia. El pH tuvo una ligera variación, tendiendo un poco más a la acidez, pero sin cambiar su valor neutro. Con respecto a la temperatura se obtuvo un valor mucho más bajo debido posiblemente a la hora en que se tomó la muestra, pues era muy temprano en la mañana. Sin embargo ambos parámetros cumplieron con las expectativas de mejora de calidad del agua vertida.

Sólidos sedimentables y Sólidos suspendidos totales:

Con respecto a la presencia de sólidos en el agua se pudo determinar que hubo una mejoría muy significativa debido a que ambos parámetros disminuyeron en gran medida. Para los SST se obtuvo un valor de 237,2 mg/L lo que significa un porcentaje de remoción de aproximadamente el 88% para esta muestra, sin embargo cabe recalcar que esta medida aun no cumpliría con el límite estipulado en la resolución 0631 de 2015. En cuanto a los sólidos sedimentables se obtuvo un valor de menos de 0,1 mL/L lo cual significa una remoción casi total en lo que respecta a este parámetro, ocasionado porque aquellas partículas que podían sedimentarse en el primer muestreo fueron quedándose atrapadas en las diferentes capas del filtro.

DBO5 y DQO

En cuanto a los valores obtenidos de la DBO5 y la DQO se evidenció una alta mejoría pues se obtuvo valores de 78,4 mg O₂/L y 210,2 mg O₂/L, respectivamente. Los dos valores se encuentran muy cercanos al valor límite máximo permisible estipulado en la norma pero, sólo el valor de la DQO obtendría cumplimiento pues el valor de la DBO5 se encuentra ligeramente por encima del límite.

Grasas y aceites

Como resultado no esperado se obtuvo un aumento en el valor de grasas y aceites. Como fue mencionado antes, en el proceso de lavado no hay ninguna adición de alguna sustancia de estas características, lo que significaría que el valor debería ser de 0 mg/L como se evidenció en el primer muestreo. Sin embargo, se obtuvo un valor de 3,33 mg/L lo cual pudo haber sido ocasionado por la presencia de alguna sustancia de este tipo en alguno de los materiales de la capa filtrante, o bien, por algún error cometido por el laboratorio al momento de realizar el análisis. A pesar de esto, el valor se encuentra en el rango de tolerancia estipulado en la 0631 de 2015.

Turbidez, Nitrógeno Total y Fósforo Total

Otro valor atípico obtenido es el valor de la turbidez pues este aumentó en gran medida con respecto al primer muestreo. Una posible causa podría ser por un deficiente lavado del filtro antes de pasar la muestra por él, lo cual pudo ocasionar que partículas pequeñas que se encontraban en cada uno de los materiales del filtro cambiasen el color del agua y por ende su turbidez. En cuanto al Nitrógeno y Fosforo Total se evidenció una disminución en la presencia de estos nutrientes en el agua.

Color Real a 436 nm 525 nm y 620 nm

El color real del agua tuvo un cambio para las tres longitudes de onda medidas. Esto evidencia que hubo un cambio en la presencia de contaminantes en el agua corroborado por el cambio de los otros parámetros.

Dimensionamiento del filtro

Teniendo en cuenta que los resultados experimentales del modelo fueron favorables y se comprobó la viabilidad de implementación del filtro, se procedió a dimensionar cada uno de los componentes del filtro real.

El filtro se pensó como un cilindro de radio de 40 cm seccionado en 5 diferentes partes. Cada parte con uno de los materiales filtrantes en su interior, sostenidos arriba y abajo con una malla la cual dependerá del diámetro de la partícula del material filtrante. Las secciones serán unidas mediante acomplejos mecánicos tipo rosca los cuales tienen la función de facilitar el cambio de cualquiera de las secciones con material filtrante

Finalmente, la sección más próxima al suelo no contendrá ningún material filtrante. Esta sección tendrá una pendiente en su base la cual facilitará el flujo del agua filtrada hacia una válvula de salida localizada a un costado de la sección.

Ilustración 24 Plano del filtro

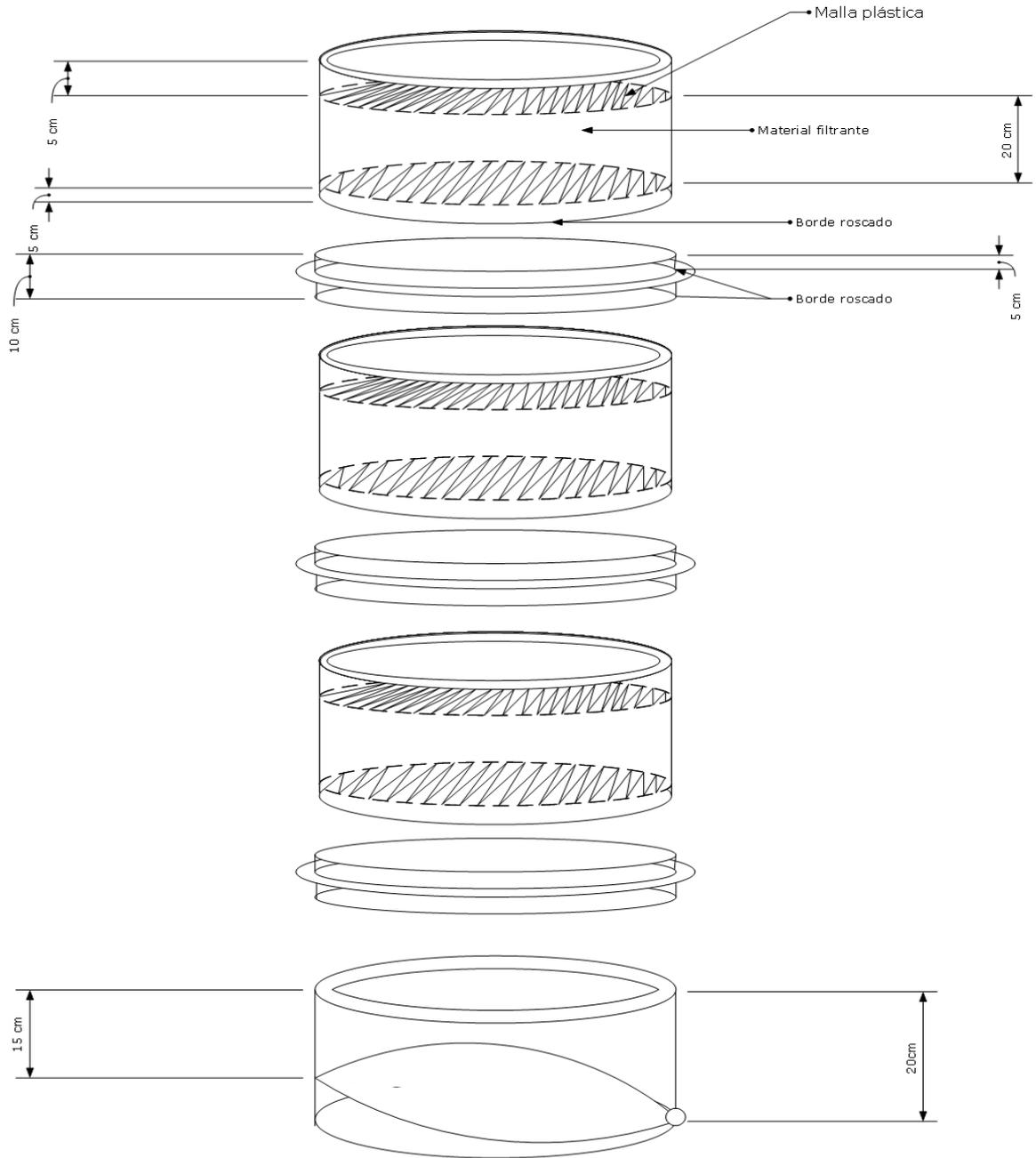
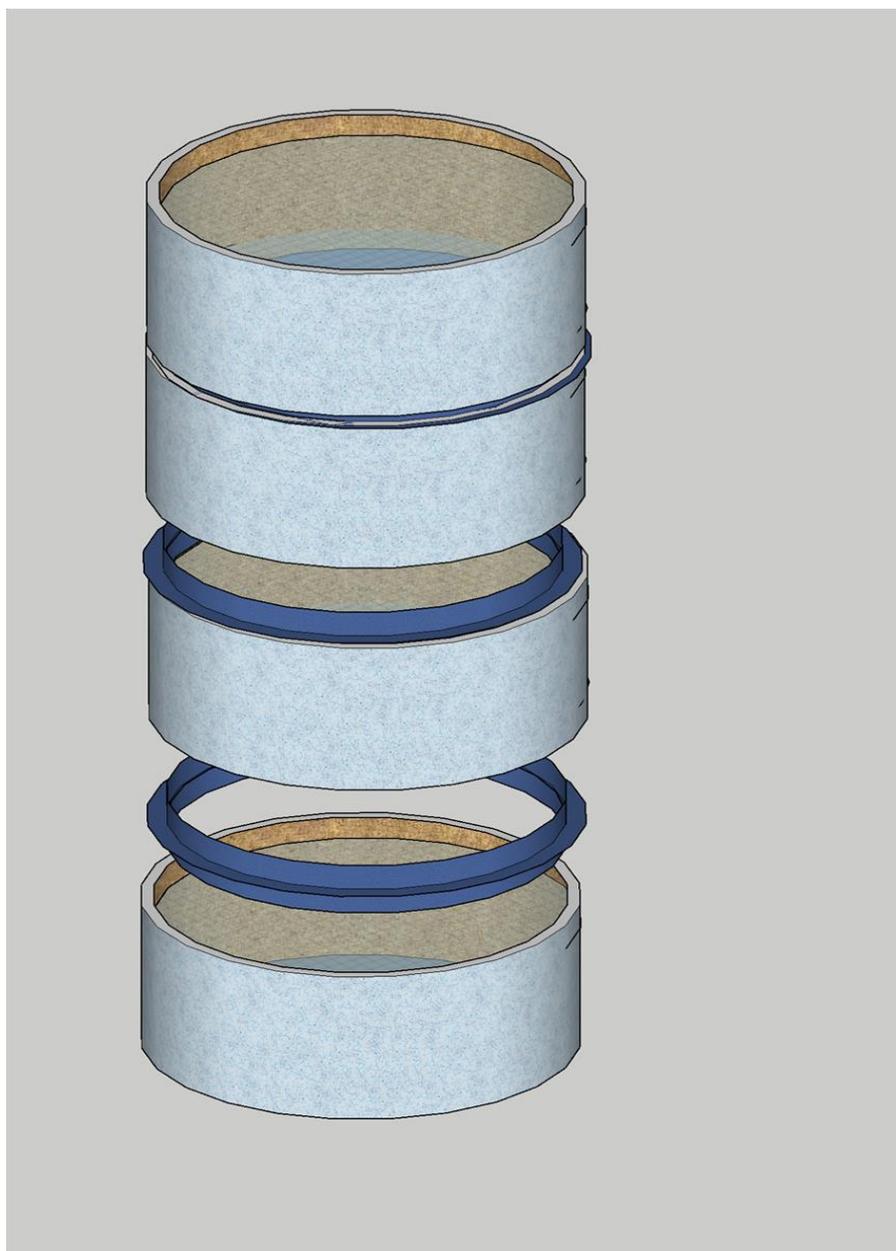


Ilustración 25 Imagen 3D del filtro



15.3.4 Tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento del agua ya tratada se diseñó teniendo en cuenta el volumen del agua tratado en las etapas previas y pensando en facilidad por parte del operador de obtener nuevamente el agua para poder reincorporarla en el proceso de lavado. Por ende se definió que el tanque debía tener un volumen de 1m^3 con la instalación de una llave

Ilustración 26 Dimensiones tanque de almacenamiento

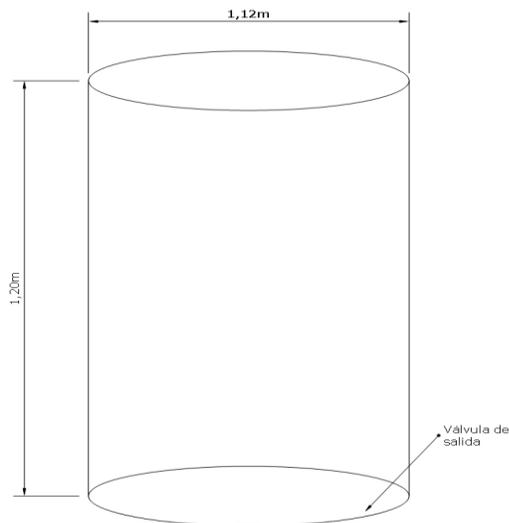


Ilustración 27 Diseño 3D del tanque de almacenamiento



Recirculación de agua y recuperación de lodos.

Debido a que el objetivo principal de la propuesta de diseño se basa en la reducción de costos, no es posible proponer un sistema de flujo de agua que lleve directamente el agua tratada devuelta a la etapa de lavado de papa. Por ende, el modelo de recirculación de agua propuesto en este trabajo de investigación se refiere a la acción manual realizada por un operario de recircular nuevamente el agua en el proceso de lavado, acción que es facilitada por el diseño descubierto del tanque de almacenamiento diseñado.

En cuanto a la recuperación de los lodos, una vez culminado el proceso de tratamiento del agua, los lodos pueden ser recogidos manualmente y ser almacenados en un espacio cercano a la etapa de escurrido. Este espacio haría la función de un lecho de secado para lograr almacenar los lodos y facilitar su recolección para venta.

ANÁLISIS DE VIABILIDAD

Tabla 7 Costos de construcción

Etapa	Unidad	Cantidad	Precio (Pesos colombianos)
Tanque colector	Tanque en fibra de vidrio de 1 metro cubico	1	\$ 496100
	Tubería PVC DE 4 pulgadas	1 metro	\$18500
	Válvula de paso	1	\$350000
Sedimentador	Tanque de sedimentación en fibra de vidrio	1	\$ 2399000
Filtro grava y arena	Tuberia PVC de 400 mm de diametro	2 metros	\$556126
	Malla plástica	30 metros	\$ 208500
	Arena silica	1 bulto	\$ 14000
	Gravilla mona	1 bulto	\$ 13000
	Arena de rio	1 bulto	\$ 30000
	Carbón activado	1 bulto	\$ 140000
	Grava	1 bulto	\$ 19300
Tanque de almacenamiento	Tanque de 1 metro cúbico	1	\$ 496100
	Tubería PVC dos pulgadas	1 metro	\$9000
	Grifo 2 mm	1	\$16500
		Total	\$ 4870126

Tabla 8 Costos de operación

Insumo	Cantidad	Costo (Pesos Colombianos)
Carbón activado	1 bulto al año	\$140000
Material filtrante	5 bultos al año	\$76301
Operario		0 \$
	Total	\$216301/Año

Discusión de resultados

Tomando como referencia el trabajo realizado por la secretaria distrital de ambiente (s.f.) es posible proponer como etapa complementaria la instalación del filtro propuesto en este trabajo porque si bien obtuvieron un ahorro en el uso del agua, no presentaba ninguna solución a la carga contaminante del vertimiento generado. De igual manera en el trabajo de Cardozo y Pardo (2018) se propuso un sistema de tratamiento adecuado para los requerimientos normativos pero los costos de construcción y operación eran muy elevados para que fuese considerado viable. Mediante este trabajo de investigación se demostró que para las aguas residuales resultantes del proceso de lavado de papa es posible proponer un método de tratamiento más económico que generará resultados positivos en los parámetros de calidad de agua requeridos.

Por otro lado, teniendo en cuenta los resultados obtenidos, al implementar el sistema de tratamiento se pueden evidenciar beneficios en cuanto al uso del agua de tal manera que si se recircula el agua, se reducirían los costos mensuales acueducto a la mitad, pasando de pagar \$65438 a solo \$32719 por el beneficio del uso del agua. Sin embargo, solo es aconsejable recircular el agua una sola vez pues de esta manera se garantiza que el agua con la cual es lavada la papa, presente una mejor calidad al momento de hacer contacto con el alimento.

Así mismo se determinó que los lodos generados tienen un valor comercial de 1250 pesos el kilo seco pues es utilizado como abono en diferentes cultivos. De acuerdo a estimaciones realizadas al día se generan aproximadamente 13,7 kilos de lodos aprovechables lo cual podría significar un beneficio económico mensual de \$411000 para la empresa.

Para determinar la viabilidad del proyecto se tuvo en cuenta 3 diferentes aspectos como lo son: efectividad del tratamiento, costos de construcción y espacio requerido. Teniendo en cuenta el resultado obtenido, el tratamiento resultó favorable para este tipo de agua residual en específico pues se obtuvo una remoción considerable de la mayoría de parámetros cumpliendo algunos con lo requerido por la normatividad. En cuanto a los costos de construcción y operación, el valor obtenido se encuentra acorde al presupuesto de inversión de la empresa. Sin embargo la instalación del sistema de tratamiento requiere un área muy

grande para garantizar un flujo adecuado del agua. Dicha situación imposibilitaría la viabilidad del proyecto pues de acuerdo a la imagen # el espacio disponible para la instalación es de 4 metros de largo por 3 metros de ancho con una altura de 4 metros, cuando el espacio requerido por el sistema completo de tratamiento es de 8 metros de largo por 1.5 metros de ancho y mínimo 5 metros de altura.

Resultados construcción operación y mantenimiento

Se realizó una cotización aproximada de los materiales requeridos para la construcción del sistema de tratamiento debido a que se propusieron componentes que no se encuentran actualmente en el mercado pero si es posible determinar un costo aproximado de acuerdo al tamaño y material de construcción como por ejemplo los acoples mecánicos en PVC. De esta manera se obtuvo un valor de construcción de \$ 4'870126. Además debido a que la mayoría de componentes están compuestos de materiales sintéticos es posible decir que el sistema de tratamiento podría ser desplazado en caso de ser requerido en algún momento.

Para el análisis de costos de operación se tuvo en cuenta los materiales requeridos para el funcionamiento del filtro como lo es la gravilla y el carbón activado granulado. De esta forma se estimó un valor aproximado de la cantidad suficiente que se necesitaría por un año y se cotizó su valor a lo cual se obtuvo un valor de \$216301 al Año

En cuanto al mantenimiento de las etapas es pertinente realizar un mantenimiento a las capas filtrantes 1 vez al mes debido a que la elevada turbidez del agua residual puede conllevar a la colmatación del filtro y a una contaminación extra del agua requerida para el lavado. De igual manera se sugiere realizar un lavado de los tanques de almacenamiento y un chequeo de válvulas de paso cada 6 meses para prevenir taponamientos del sistema.

16. CONCLUSIONES

- Se analizó la características fisicoquímicas del agua residual resultante del proceso de lavado de papa a lo cual se encontró que la mayoría de parámetros exigidos por la Resolución 0631 de 2015, estaban por encima del límite máximo permisible.
- Se diseñó un sistema de tratamiento que redujo la cantidad de carga contaminante presente en el agua generando un vertimiento de mejor calidad.
- Se encontró que es posible efectuar un tratamiento para este tipo de agua residual con menores costos en comparación a otros sistemas ya propuestos anteriormente.
- Con los materiales de construcción propuestos se podría movilizar el sistema de tratamiento si se requiere.
- Se determinó que la implementación del proyecto podría generar una reducción del consumo de agua en la planta, pasando de un gasto de \$65438 a solo \$32719 al mes.
- Se encontró un costo de ineficiencia en el sistema productivo debido al potencial de aprovechamiento comercial de los lodos generados pues podrían generar un beneficio de \$411000 pesos mensuales.
- El espacio requerido para implementación del sistema excedió el espacio disponible en la plata para su construcción. Por ende se determinó que el proyecto no es viable en esa locación.

17. RECOMENDACIONES

- Es posible proponer el sistema para lugares en donde se realice las actividades de cultivo y de lavado simultáneamente pues los residuos generados pueden ser reincorporados al cultivo y existe una amplia disponibilidad de espacio.
- Se recomienda realizar en la medida de lo posible un análisis a los lodos generados para verificar sus características y hacer una valoración de sus propiedades benéficas como abono.
- Se debe realizar un mantenimiento riguroso en las capas de material filtrante debido a que de llegarse a colmatarse puede afectar el flujo de agua residual y ocasionar situaciones no deseadas.
- El espacio requerido para un adecuado secado de los lodos debe ser amplio y en lo posible con exposición al sol.
- Al momento de recoger el agua para introducirla en el sistema de tratamiento se debe ser muy cuidadoso con asegurarse que no hayan papas que ingresen al sistema y ocasionen taponamientos.
- Para facilitar la recolección de lodos el sistema debería posicionarse en una zona con cercanía a una vía o carretera.
- Una vez el agua sea utilizada, tratada y utilizada nuevamente en el lavado de papa, es posible utilizarla como agua de uso sanitario.
- Para el caso específico de la planta de Provirmercado se debe diseñar un sistema un función del espacio disponible así se incurra en un mayor gasto.

18. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ávila, H. (2006). *INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. Edición electrónica.
- Aziz, O., & Inam, A. (Octubre de 1999). *UTILIZATION OF PETROCHEMICAL INDUSTRY WASTE WATER FOR AGRICULTURE*. Obtenido de SpringerLink: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1005162613059>
- Baena, A., Cases, M., & Medina, M. (2005). *Indicadores cuantitativos y cualitativos para la evaluación de la actividad investigadora: ¿ complementarios? ¿ contradictorios? ¿ excluyentes*. Obtenido de Universidad de Cádiz: http://www.uca.es/recursos/doc/Unidades/consejo_social/590987125_1032010104118.pdf
- Banco Mundial. (s.f.). *EL AGUA EN LA AGRICULTURA*. Obtenido de Banco Mundial: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>
- Barbosa, N. (2016). . *Evaluación del sistema de recirculación de agua de una planta de cemento de Cemex*. Obtenido de Universidad de la Salle: http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20475/41102113_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Buitrago, R., & Peñuela, L. (3 de Mayo de 2018). *Universidad de la Salle*. Obtenido de La papa: un alimento de oportunidades con opciones de comercialización internacional: <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1277&context=eq>
- Camara de comercio de Bogotá. (2007). *Perfil económico y empresarial localidad Engativá*. Obtenido de https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/2883/6227_perfil_economico_engativa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Carbotecnia. (Septiembre de 2004). *FILTROS DE GRAVA, ARENA SÍLICA Y ANTRACITA*. Obtenido de <https://www.carbotecnia.info/PDF/boletines/AG-009.pdf>
- Cardozo, M., & Pardo, J. (2018). *PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS DURANTE EL PROCESO DE LIMPIEZA DE LA PAPA; CASO DE ESTUDIO PLANTA DE LAVADO DE PASCA, CUNDINAMARCA*. Obtenido de Universidad de la Salle: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/745/
- Cuidoelagua. (s.f.). *¿Qué son las aguas residuales?* Obtenido de Cuidoelagua.org: <http://www.cuidoelagua.org/empapate/aguaresiduales/aguasresiduales.html>

- Cyclus ID. (s.f.). *Fangos Activos* . Obtenido de Ciclusid.com:
<http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-secundario/fangos-activos/>
- DANE. (2007). *FICHA TECNICA Sistema de Información del Medio Ambiente*. Obtenido de Dane.gov:
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/solidos_suspension.pdf
- DANE. (2011). *Sistema de Información del Medio Ambiente*. Obtenido de Departamento administrativo nacional de estadística :
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/Nitrogenos_totales_13.pdf
- Detroy, R., & Hesselstine, C. (1978). *Availability and Utilisation of Agricultural and Agro-industrial Wastes*. Obtenido de USDA:
<https://pubag.nal.usda.gov/pubag/downloadPDF.xhtml?id=28215&content=PDF>
- Dolgen, D., Alpaslan, M., & Delen, N. (1 de Octubre de 2004). *Use of an agro-industry treatment plant sludge on iceberg lettuce growth*. Obtenido de ScienceDirect:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857404001119>
- Driessen, W., & Yspeert, P. (1999). *Anaerobic treatment of low, medium and high strength effluent in the agro-industry*. Obtenido de sciencedirect:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273122399006290>
- El Espectador. (29 de Agosto de 2018). *La papa, el segundo alimento de los colombianos*. Obtenido de El espectador : <https://www.elespectador.com/economia/la-papa-el-segundo-alimento-de-los-colombianos-articulo-809031>
- Espigales, M., & Perez, J. (2005). *Aguas residuales composición*. Obtenido de Universidad de Salamanca:
http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- FEDEPAPA. (Abril de 2018). *BOLETÍN MENSUAL REGIONAL NO. 01*. Obtenido de FEDEPAPA: <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2017/01/BOLET%C3%8DNREGIONALCUNDINAMARCA-18.pdf>
- FEDEPAPA. (Octubre de 2018). *BOLETIN MENSUAL REGIONAL No. 08*. Obtenido de FEDEPAPA: <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2017/01/BOLETINREGIONALNACIONAL-2018.pdf>
- Flores, V., Gomez, C., Sanchez, V., Muñoz, M., Lopez, E., & Diaz, S. (1987). *Agroindustria, conceptualizacion, niveles de estudio y su importancia en el analisis de la agricultura*. Obtenido de Universidad Autonoma de Chapingo:
<https://chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rga-1774.pdf>

- Funsepa. (2008). *La papa*. Obtenido de FUNDACIÓN SERGIO PAIZ ANDRADE:
<http://www.funsepa.net/guatemala/docs/La%20papa.pdf>
- GARCÍA, M. E. (2005). *AGUAS RESIDUALES y COMPOSICIÓN*. Obtenido de Universidad de Salamanca:
http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- García, M., & Lopez, J. (2005). *Agua residual. Composición*. Obtenido de Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua:
http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- Gómez, L. (2 de Octubre de 2015). *Informe: Así es el mundo de la papa colombiana*. Obtenido de Contexto Ganadero:
<https://www.contextoganadero.com/agricultura/informe-asi-es-el-mundo-de-la-papa-colombiana>
- González, C. (Octubre de 2011). *Monitoreo de la calidad del agua*. Obtenido de Universidad de Puerto Rico-Mayagüez:
<http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-859/maguaturbidez.pdf>
- Goyenola, G. (2007). *Transparencia, color y turbidez*. Obtenido de Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos.:
http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/transparencia_color_%20turbidez.pdf
- IDEAM. (28 de Diciembre de 2007). *DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO*. Obtenido de Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales:
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>
- Enciclopedias. (26 de Septiembre de 2016). *RELACIONES VOLUMÉTRICAS Y GRAVIMÉTRICAS - Ejercicio Resuelto #1 (MECÁNICA DE SUELO)*. Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=4TVPwAN7tNI>
- IPC. (s.f.). *Papa*. Obtenido de International Potato Center: <https://cipotato.org/es/>
- IUACA. (s.f.). *REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES*. Obtenido de <https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/-gestadm/trabajos-fin-de-master/jaume-baeza.pdf>
- La Nota Económica. (28 de Mayo de 2018). *La papa aporta el 3,3% al PIB agricultor de Colombia*. Obtenido de La Nota Económica:
<http://lanotaeconomica.com.co/economia/la-papa-aporta-el-33-al-pib-agricultor-de-colombia.html>

- Lecca, E., & Lizama, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial UNMSM*, 17(1): 71-80.
- Lizarazo, J., & Orjuela, M. (2013). *Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: <http://bdigital.unal.edu.co/11112/1/marthaisabelorjuela2013.pdf>
- López, B. (s.f.). *Bacterias aerobias: características, ejemplos, cultivos, enfermedades*. Obtenido de Liferder: <https://www.liferder.com/bacterias-aerobias/>
- Lopez, G. &. (2005). *Composición del agua*. Obtenido de Universidad de Salamanca: http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- M., C., & J., P. (2018). *PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS DURANTE EL PROCESO DE LIMPIEZA DE LA PAPA; CASO DE ESTUDIO PLANTA DE LAVADO DE PASCA, CUNDINAMARCA*. Obtenido de Universidad de la Salle: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/745/
- Maldonado, V. (s.f.). *Sedimentación Capítulo 7*. Obtenido de IngenieroAmbiental.com: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/siete.pdf>
- Martínez, L. (2010). *Estudio de la evolución de una ETAP para la adecuación legislativa*. Obtenido de Universidad Politécnica de Cataluña: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10383/Annex.pdf>
- Mendoza, F., Izquierdo, A., Martínez, F., Bovea, M., & Prats, L. (2010). *Opciones de valorización de lodos de distintas estaciones depuradoras de aguas residuales*. Obtenido de Redalyc: <https://www.redalyc.org/pdf/467/46715742006.pdf>
- Nagaraju, M., Narasimha, G., & Rangaswamy, V. (1970). *IMPACT OF EFFLUENTS OF SUGARCANE INDUSTRY ON SOIL PHYSICO CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES*. Obtenido de Journal of Industrial Pollution Control : <http://www.icontrolpollution.com/articles/impact-of-effluents-of-sugarcane-industryon-soil-physico-chemical-and-biological-properties-.php?aid=45653>
- OEFA. (Abril de 2014). *Organismo de evaluación y fiscalización ambiental*. Obtenido de Fiscalización Ambiental en aguas residuales: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Ordoñez, D., & Palacios, J. (2011). *Filtros biológicos para la potabilización del agua*. Obtenido de Universidad de Cuenca: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/751/1/ti878.pdf>
- Pellegrini, A. (2017). *NITROGENO DEL SUELO*. Obtenido de Universidad Nacional de La Plata:

http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35406/mod_resource/content/1/TEMA%2012%20-%20NITROGENO.pdf

- Perez, L. (2005). *CÁTEDRA DE HIDRÁULICA APLICADA A LA INGENIERÍA SANITARIA*. Obtenido de Universidad de Buenos Aires:
http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_teoria_sedimentacion.pdf
- Poole, A., Cord-Ruwisch, R., & Jones, F. (1999). *Biological treatment of chemically flocculated agro-industrial waste from the wool scouring industry by an aerobic process without sludge recycle*. Obtenido de sciencedirect:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135498003911>
- Ramalho, R. (1993). *PRETRATAMIENTOS Y TRATAMIENTOS PRIMARIOS*. Obtenido de Universidad de Salamanca:
http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/pretratamientos_tratamientos_primarios.pdf
- Ramirez, L., & Durán, M. (2008). *DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO*. Obtenido de Benemérita Universidad Autónoma de Puebla:
http://cmas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/redica/resources/LocalContent/127/2/Libro%20DQO%202008.pdf
- RAS. (2000). *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO SECCIÓN II*. Obtenido de Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico :
http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e_.pdf
- Reyna, M. (2012). *Manual para el diseño de una red hidráulica de climatización*. Obtenido de TEMA 3: FUNDAMENTOS DE MECÁNICA DE FLUIDOS:
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5091/fichero/3+-+FUNDAMENTOS+DE+MEC%C3%81NICA+DE+FLUIDOS.pdf>
- Rodriguez, J. (2011). *métodos de investigación cualitativa qualitative research methods*. Obtenido de Revista de la Corporación Internacional para el Desarrollo Educativo Bogotá-Colombia. SILOGISMO, 8.:
<http://www.cide.edu.co/doc/investigacion/3.%20metodos%20de%20investigacion.pdf>
- Sampieri, R., Collado, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*.
- Sanchez, D. (2015). *INGENIERÍA AMBIENTAL CALIDAD DE AGUAS*. Obtenido de Universidad de Castilla-La Mancha:
http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/10_Contaminaci%C3%B3n_agua_v2015_resumen.pdf
- Schlumberger. (s.f.). *sólidos coloidales*. Obtenido de Schlumberger Oilfield Glossary:
https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/c/colloidal_solids.aspx

- Secretaría distrital de Ambiente. (s.f.). *Proceso de lavado de papa*. Obtenido de Ambiente Bogotá:
<http://ambientebogota.gov.co/documents/24732/3987453/Proceso+de+lavado+de+papa.pdf>
- Sun, G., Gray, K., Biddlestone, A., Allen, S., & Cooper, D. (28 de Noviembre de 2003). *Effect of effluent recirculation on the performance of a reed bed system treating agricultural wastewater*. Obtenido de ScienceDirect:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003295920300075X>
- Torres, A. (2015). *ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES*. Obtenido de AMBIENTE, L. M., & DE GRANADA, D. P.: http://a21-granada.org/red-gramas/images/Presentacion_ANTONIO.pdf
- Torres, E. (s.f.). *REUTILIZACION DE AGUAS Y LODOS RESIDUALES*. Obtenido de Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/lodos.pdf>
- Torres, J. (2015). *Dinámica de fluidos*. Obtenido de Universidad de Granada:
<https://www.ugr.es/~jtorres/t7.pdf>
- Tovar, T. (2008). *Caracterización Morfológica y termica del almidon de Maíz (Zea mays L) obtenido por diferentes metodos de aislamiento*. Obtenido de Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo:
<http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/508/Caracterizacion%20morfologica%20y%20termica%20almidon%20de%20maiz.pdf;jsessionid=32F68BCDCE7EE8A54F2939C7C1F79F58?sequence=1>
- Trujillo, A., & Cajigas, M. (2018). *Validación de un método para el análisis de color real en agua*. Obtenido de Revista de la Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rfc/article/download/68086/64645>
- U.V. (s.f.). *Introducción a la metodología de investigación social*. Obtenido de Universidad de valencia :
[https://www.uv.es/monterdh/RESEARCHERS/Curso_Master_UJI/\(5a\)Metodos_de_investigacion_social_Cualitativos.pdf](https://www.uv.es/monterdh/RESEARCHERS/Curso_Master_UJI/(5a)Metodos_de_investigacion_social_Cualitativos.pdf)
- UDLAP. (s.f.). *Capitulo 2 Aguas Residuales*. Obtenido de Catarina:
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/vazquez_r_d/capitulo2.pdf
- UNICEF. (2015). *El agua potable y el seguimieto básico en los planes de desarrollo*. Obtenido de Unicef: <https://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf>
- Universidad Complutence Madrid. (14 de Febrero de 2015). *DESCRIPCIÓN DE INDICADORES COBCM/COBCLM*. Obtenido de ucm.com:
<https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-Oxigeno%20disuelto%20f.pdf>

Universidad Politécnica de Madrid. (s.f.). *Tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de Departamento de Ingeniería Electrónica, Automática e Informática Industrial: www.elai.upm.es › Asignaturas › AutomatizacionMaster › archivos › TAR

Wikiwater. (s.f.). *EL TRATAMIENTO DEL AGUA POR FILTRACIÓN LENTA EN ARENA PARA USO FAMILIAR*. Obtenido de <https://wikiwater.fr/E21-El-tratamiento-del-agua-por-filtracion-lenta-en-arena-para-uso-familiar>

Zapata, N., Hernandez, M., & Oliveros, E. (s.f.). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Obtenido de Instituto de Estudios Urbanos : http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion_digital/Agua_Servicio_Publico/Tratamiento_Aguas_Residuales-Zapata_N.pdf