



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

TITULO DE PROYECTO DE GRADO:
DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE
UNA FÁBRICA DE BOCADILLOS PARA LA REUTILIZACIÓN EN RIEGO
AGRÍCOLA IMPLEMENTANDO NANOARCILLAS MODIFICADAS
MAGNÉTICAMENTE COMO TRATAMIENTO Terciario.

PRESENTADO POR:

NOMBRE: Julieth Alejandra Torres Castro CÓDIGO: 506112

NOMBRE: Angélica Lineth Mateus Malagón CÓDIGO: 506303

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
28 DE OCTUBRE DE 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

TITULO DE PROYECTO DE GRADO:
DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE
UNA FÁBRICA DE BOCADILLOS PARA LA REUTILIZACIÓN EN RIEGO
AGRÍCOLA IMPLEMENTANDO NANOARCILLAS MODIFICADAS
MAGNÉTICAMENTE COMO TRATAMIENTO TERCIARIO.

PRESENTADO POR:

NOMBRE: Julieth Alejandra Torres Castro CÓDIGO: 506112

NOMBRE: Angélica Lineth Mateus Malagón CÓDIGO: 506303

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

DOCENTE ASESOR:

NOMBRE: PhD. Wilfredo Marimón Bolívar

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
21 DE OCTUBRE DE 2019



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. octubre de 2019

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la sabiduría y la fuerza a lo largo de mi carrera, ya que junto con mis padres y hermanos me han brindado el apoyo incondicional en este camino. Este logro sin duda no habría sido posible sin la ayuda de mi madre que día a día me ofreció su fuerza y cariño para enfrentar todas las adversidades presentadas durante la obtención del título profesional. A mi padre, gracias por haber procurado siempre otorgarme una comodidad y un bienestar para que yo mantuviera la tranquilidad necesaria y así poder cursar todas las asignaturas. Al motor principal de mi vida, mis hermanos, siempre serán la fuente de mi inspiración para cumplir mis sueños y algún día lograr ser su ejemplo ya que, aunque sean menores siempre me inculcaron el valor de trabajar y superarme a mí misma. A Wilfredo Marimón, mi tutor, que dedico el tiempo suficiente para guiarnos y transmitir su conocimiento en el proceso de alcanzar la culminación del trabajo de grado. A mi compañera de proyecto y amiga Angélica Mateus quien fue un soporte durante mi preparación como ingeniera.

-Julieth Alejandra Torres Castro

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme llegar hasta acá, por brindarme sabiduría y paciencia para alcanzar mis metas ya que sin su ayuda y voluntad nada de esto sería posible.

Ofrezco mis más sinceros agradecimientos, a mis seres queridos, debido a que antes de empezar con mi carrera y proyecto de vida, ellos estuvieron presentes siempre, apoyándome, comprendiéndome y ayudándome, ellos son mi Madre, mi Padre, mi hermano y Mi novio, Nelly, Armendis, Jefferson y Fabián, ya que ahora gracias a ellos estoy culminando una de las etapas más importantes de mi vida con este trabajo de investigación, mi pregrado, Gracias a su tolerancia, a su tiempo, a su paciencia, a su apoyo incondicional, quiero que esto sea una de las pocas cosas que pueda brindarles como fruto de su trabajo y dedicación pues sin ustedes, esto no podría ser una realidad.

No falta mencionar a nuestros amigos de la universidad, a mi compañera y amiga de proyecto de grado, Julieth Torres por su carisma y apoyo, A Wilfredo Marimón, mi tutor; que estuvo presente para ayudarme en esos pequeños problemas que ocurrieran, pero con sus consejos, correcciones y apoyo nos ha permitido terminar este trabajo.

Con mucha dedicación, con mucho esfuerzo y con mucho amor para todos ustedes.

-Angélica Lineth Mateus Malagón

RESUMEN

La presente investigación realizó una evaluación y diseño conceptual de la implementación de nanopartículas magnéticas en un sistema de tratamiento de agua residual del sector de la industria alimentaria para el reúso en riego agrícola ya que es donde se encuentra la problemática presente en una fábrica de bocadillos ubicada en Vélez – Santander. Aquí, el agua residual se considera un desecho y es de grandes cantidades ya que son utilizadas en el lavado de la guayaba y utensilios empujados en la manufactura para la obtención del bocadillo, para lo cual se les da la posible opción de emplear el agua tratada en el riego de los cultivos de guayaba y hoja de bijao cercanos a la fábrica. Para esto, se realizaron una serie de laboratorios, caracterizaciones, simulaciones de tratamientos y demás actividades específicas para la obtención de un diseño conceptual adecuado, donde se consideró que para el alcance de parámetros establecidos en La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA) fue necesario realizar un pretratamiento (sedimentador tipo I) y tratamiento primario (aireación y coagulación, floculación, sedimentación (C-F-S). Además, se hizo como tratamiento terciario la implementación de nano-partículas de arcilla donde el agua residual fue sometida a la remoción de los contaminantes faltantes (metales pesados). Finalmente, estos tratamientos fueron usados para hacer una valoración numérica de la obtención de parámetros admisibles para el riego agrícola en una fábrica de bocadillos. Aquí se resalta la importancia de realizar y extender los análisis necesarios para considerar algún tipo de intervención en los estados de los diferentes tratamientos empleados.

Palabras Claves: Riego agrícola, tratamiento de aguas, nanopartículas magnéticas, magnetismo, reúso de aguas residuales.

TABLA CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	15
1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	16
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
3. OBJETIVOS	21
3.1. OBJETIVO GENERAL	21
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	21
4. MARCO DE REFERENCIA	22
4.1. MARCO TEÓRICO.	22
4.1.1. Calidad de agua	22
4.1.3. Técnicas convencionales para tratamiento de aguas residuales	22
4.1.4. Nanotecnología en tratamiento de aguas residuales	26
4.1.9. Nanoarcillas	29
4.1.10. Nanopartículas magnéticas.....	29
4.1.11. Proceso de fabricación del bocadillo.	31
4.2. MARCO CONCEPTUAL.....	33
4.3. MARCO LEGAL.....	34
5. ESTADO DEL ARTE	38
6. ALCANCES Y LIMITACIONES.	40
6.1. ALCANCES	40
6.2. LIMITACIONES	40
7. METODOLOGÍA.....	41
7.1. CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA RESIDUAL	41
7.2. TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL	42

7.3.	SÍNTESIS DE NANOMATERIAL	41
7.4.	CARACTERIZACIÓN DEL NANOMATERIAL	42
7.5.	PRUEBAS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES RESTANTES CON LA ARCILLA MAGNÉTICA	42
7.6.	DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	43
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
8.1.	CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA RESIDUAL	44
8.2.	CAUDAL DE LA MUESTRA	47
8.3.	SÍNTESIS DE NANOMATERIAL	48
8.4.	CARACTERIZACIÓN DEL NANOMATERIAL	52
8.4.1.	Microscopia electrónica de barrido	52
8.4.2.	Espectrometría de dispersión de energía rayos x	54
8.4.3.	Difracción de rayos x (XRD)	55
8.4.4.	Propiedades magnéticas	56
8.4.5.	Infrarrojo	57
8.5.	TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL	58
8.5.1.	Sedimentación primaria y aireación.	58
8.5.2.	Test de jarras	62
8.5.3.	Nano-arcillas modificadas magnéticamente	69
8.5.4.	Filtración	72
8.6.	PRUEBAS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES RESTANTES CON LA ARCILLA MAGNÉTICA	77
8.7.	DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	80
8.7.1.	Sistema propuesto	80
8.7.2.	Sedimentador primario	80

8.7.3. Aireación (Romero 2002)	83
8.7.4. Coagulación	89
8.7.5. Floculación	92
8.7.6. Sedimentador	96
8.7.7. Nano-arcilla magnética.....	100
8.7.8. Filtración (Pérez P. Jorge Arturo 1981)	106
8.7.9. Diseño del canal.....	114
CONCLUSIONES	117
RECOMENDACIONES	119
BIBLIOGRAFIA	121
ANEXOS	128

TABLA DE IMÁGENES

Imagen 1. Clases y Calidad de agua del Grupo de trabajo de monitoreo biológico	22
Imagen 2. Proceso de floculación.	23
Imagen 3. Proceso de sedimentación	24
Imagen 4. Sistema de electrocoagulación	25
Imagen 5. Características de los óxidos metálicos ideales.	27
Imagen 6. Estructura cristalina de la magnetita	30
Imagen 7. Proceso de fabricación del bocadillo.	32
Imagen 8. Laboratorio U. Javeriana.	45
Imagen 9. Mediciones en Laboratorio de la U. Javeriana.	45
Imagen 10. Laboratorio U. Javeriana.	45
Imagen 11. Mediciones en Laboratorio de la U. Javeriana.	45
Imagen 12. Muestra inicial de agua residual.	46
Imagen 13. Laboratorio U. Javeriana.	46
Imagen 14. Medición Hierro U. Católica.	46
Imagen 15. Medición de Aluminio U. Católica.	46
Imagen 16. Peso de materiales.	48
Imagen 17. Matraz de 500 ml.	48
Imagen 18. Peso de arcilla bentonita.	49
Imagen 19. Peso de la glucosa.	49
Imagen 20. Adición del NaOH.	49
Imagen 21. Mantenimiento de la temperatura.	50
Imagen 22. Separación de nanopartículas.	50
Imagen 23. Nanopartículas.	50
Imagen 24. Lavado de nanopartículas.	51
Imagen 25. Imán de neodimio.	51
Imagen 26. Nanoarcillas.	51
Imagen 27. Imagen microscópica de la arcilla bentonita.	52
Imagen 28. Nanopartículas en la superficie de la arcilla bentonita.	53
Imagen 29. Sedimentación de la muestra de agua	58
Imagen 30. Aireación de la muestra de agua	58
Imagen 31. Agua residual después de sedimentación y aeración	59
Imagen 32. Color subiendo el pH.	60
Imagen 33. Adición de NaOH.	60
Imagen 34. Adición de indicador.	61
Imagen 35. Adición de titulante.	61
Imagen 36. Sulfato de aluminio tipo II	62

Imagen 37. Medición de parámetros.....	63
Imagen 38. Recipientes con muestras de aguas.	63
Imagen 39. Adición de coagulantes.	64
Imagen 40. Floculación.....	64
Imagen 41. Medidas de parámetros luego de terminada la floculación.	65
Imagen 41. Agua residual después del test de jarras.	68
Imagen 43. Nano-arcilla.....	70
Imagen 44. Adición de la nano-arcilla.....	70
Imagen 45. Imán de neodimio.....	70
Imagen 46. Nanopartículas con arcilla modificada en agua residual.	70
Imagen 47. Nanopartículas con arcilla modificada en agua residual.	70
Imagen 48. Medición de aluminio.	71
Imagen 49. Medición del hierro.....	71
Imagen 50. Medición del hierro.....	71
Imagen 51. Medición de aluminio.	71
Imagen 52. Agua residual después de la implementación de las nano-arcillas.	72
Imagen 53. Lavado del material.....	73
Imagen 54. Filtro elaborado.	73
Imagen 55. Filtración del agua.....	74
Imagen 56. Agua final después de la filtración	74
Imagen 57. Características de cada tratamiento.....	74
Imagen 58. Sistema propuesto.	80
Imagen 59. Dimensiones del sedimentador primario.....	83
Imagen 60. Dimensionamiento del tanque aireador.....	87
Imagen 61. Dimensionamiento de orificios por bandeja	88
Imagen 61. diseño del coagulador.	90
Imagen 62. Dimensionamiento del coagulador.	92
Imagen 64. Diseño de floculador hidraulico.....	96
Imagen 65. Dimensionamiento del sedimentador tipo II.....	99
Imagen 66. Dimensionamiento del reactor batch.....	100
Imagen 67. Dimensionamiento del tanque.....	102
Imagen 68. Dimensionamiento final del reactor batch.	104
Imagen 69. Diseño del imán.	105
Imagen 70. Dimensionamiento del filtro rápido mixto (antracita y arena)	114
Imagen 71. Diseño del canal.	115
Imagen 72. Diseño final del canal.....	115

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Métodos convencionales para el tratamiento de aguas y sus principales limitaciones	26
Tabla 2. Nanomateriales y sus aplicaciones	27
Tabla 3. Nanomateriales en el tratamiento de aguas y aguas residuales.	28
Tabla 4. Guías de la EPA para la reutilización de aguas residuales tratadas en el sector agrícola	35
Tabla 5. Concentraciones máximas permisibles de metales para aguas residuales tratadas de uso agrícola	36
Tabla 6. Parámetros de calidad para actividad agroindustrial	37
Tabla 7. Parámetros de calidad para reúso en actividad agrícola	37
Tabla 8. Parámetros de calidad de agua utilizados en el estudio	41
Tabla 9. Parámetros de calidad de agua utilizada en el estudio	44
Tabla 10. Valores para OD. Iniciales y finales.	46
Tabla 11. Parámetros obtenidos después de la sedimentación y la aireación.	58
Tabla 12. Parámetros obtenidos después de subir el pH.	61
Tabla 13. Datos obtenidos titulación.	61
Tabla 14. Turbiedad de cada dosificación de coagulante.	65
Tabla 15. Porcentaje de reducción de la turbiedad.	66
Tabla 16. Condiciones de la muestra después del test de jarras.	67
Tabla 17. Volumen de ácido nítrico.	68
Tabla 18. Condiciones de la muestra después del de las nano-arcillas.	71
Tabla 20. Tabla comparativa de resultados.	75
Tabla 21. Caracterización final del agua tratada.	76
Tabla.22. Parámetros de interés para la calidad de agua.	77
Tabla 23. Resumen de datos ICA	78
Tabla 24. Datos iniciales.	81
Tabla 25. Dimensionamiento del sedimentador	81
Tabla 26. Resultados.	82
Tabla 27. Parámetros de Diseño: Aireador de bandejas	83
Tabla 28. Tabla resumen de las dimensiones del aireador.	88
Tabla 29. Rango del gradiente hidráulico.	90
Tabla 30. Resumen de datos	91
Tabla 31. Gradiente de velocidad.	95
Tabla 32. Resumen de los datos obtenidos del floculador:	95
Tabla 33. Datos para el sedimentador.	96
Tabla 34. Interpolación.	97

Tabla 35. Resumen de los datos obtenidos del sedimentador:	99
Tabla 36. Tasa de filtración.....	106
Tabla 37. Lecho Filtrante.	107
Tabla 38. Datos escogidos para el lecho de arena y la antracita.....	107
Tabla 39. Grava de soporte	108
Tabla 40. Hidráulica de lavado.....	108
Tabla 41. Expansión del lecho filtrante.	109
Tabla 42. Perdida de carga durante el lavado	110
Tabla 43. Chequeo del funcionamiento del sistema auto-lavante.....	111
Tabla 44. Canaletas de lavado	111
Tabla 45. Resumen de datos dimensiones de canaleta	112
Tabla 46. Carga hidráulica disponible.....	112
Tabla 47. Resumen de alturas del filtro.	113
Tabla 48. Datos de canal	114

LISTA DE GRAFICOS

Gráfica 1. Porcentaje de elementos.....	54
Grafica 2. Patrón de difracción de Rayos X de nanopartículas magnéticas con arcilla bentonita.....	55
Gráfica 3. Magnetización de las nanopartículas sintetizadas	56
Gráfica 4. Infrarrojo.	57
Gráfica 5. Dosis vs Dosificación.....	66
Gráfica 6. Porcentaje de remoción.....	67
Gráfica 7. Sedimentación tipo II.	97

INTRODUCCIÓN.

El agua es un recurso natural indispensable para la vida de los seres vivos, los cuales la utilizan de manera abundante en actividades como la producción agrícola y en fábricas alimenticias. Para evitar su agotamiento, contribuir con la conservación del medio ambiente y contar con el vital líquido en periodos de sequía, es necesario realizar procesos de tratamientos en agua residuales para ser reutilizadas en el riego de los cultivos agrícolas obteniendo grandes beneficios.

Este proyecto tuvo como fin dar cumplimiento a la normativa la cual es exigente en cuanto a temas de reutilización del agua residual proveniente de las industrias alimenticias para el uso en riego agrícola como alternativa de aprovechamiento, con lo cual se tuvieron en cuenta procesos de tratamiento físico-químico para la eliminación de los contaminantes como son las técnicas de: coagulación, floculación, sedimentación, aireación, oxidación, filtración y la nanopartículas de arcilla bentonita modificadas magnéticamente como tratamiento terciario, las cuales fueron previamente sintetizadas y los tratamientos fueron empleados respectivamente en la muestra de agua luego de haber realizado la caracterización inicial de los respectivos parámetros,

La idea principal de la creación y la implementación de nano-partículas de arcilla bentonita modificadas magnéticamente como se menciona anteriormente, es para la eficiencia en la remoción de metales que compone la muestra de agua residual y demás parámetros para lograr el cumplimiento de las normativas, todo esto ayudado por imanes de neodimio, los cuales atraen las nanopartículas magnéticas debido a que uno de sus compuestos es el hierro

En base a la estimación y los resultados obtenidos después de los tratamientos propuestos y desarrollados en el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia, se realizó un comparativo entre las características iniciales y las finales del agua residual tratada para poder determinar si hubo cumplimiento de las normas estipuladas para el reusó de agua residual en riego agrícola, generando unas conclusiones a esta investigación.

Además, se realizó el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales de una fábrica de bocadillos ubicada en el municipio de Vélez Santander, siendo reutilizada en el riego agrícola.

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.

ANTECEDENTES

Actualmente la nanotecnología ha aportado en gran ayuda al desarrollo de nuevos métodos para resolver muchos problemas tanto de salud como problemas medioambientales por consecuente, varios investigadores han estudiado y analizado la aplicación de nano partículas modificadas magnéticamente en la eliminación de metales pesados y materiales peligrosos del agua.

En la actualidad se ha observado la eficacia que poseen las arcillas en el tratamiento de aguas residuales aplicando varios tipos de arcillas y minerales del mismo para la eliminación de contaminantes de ésta llegando a reemplazar químicos los cuales llegan a ser que el proceso de tratamiento genere sub-productos siendo cancerígenos.

Por lo tanto la idea nace del semillero de investigación Nanotechnology and water quality dirigido por el PhD. Wilfredo Marimón Bolívar, en el cual se han desarrollado ya 3 investigaciones sobre la implementación de nanopartículas modificadas magnéticamente como se muestra a continuación:

En el año 2018, en la pontificia universidad javeriana el PhD. Wilfredo Marimón, como trabajo de grado para su doctorado, realizó la investigación de nanopartículas magnéticas para la remoción de metales pesados en aguas en donde se hizo la producción de nanopartículas magnéticas eficientes por medio de por la metodología verde y también la producción de nanopartículas magnéticas por el método de co-precipitación para su debida comparación y por consiguiente evaluar estas con la capacidad de remoción de iones de mercurio en aguas contaminadas. Estos procedimientos fueron sintetizados con glutatión usándolo como un agente estabilizado en diferencia a la reacción clásica de co-precipitación convencional, se obtuvo como resultado final una magnetización de saturación de 85,4 emu/g el cual viene siendo similar al valor teórico que se obtiene por medio de la co-precipitación, obteniendo también una adsorción de 34.88 mg/g de concentración en la remoción de iones de mercurio que es aproximadamente el 85% en aguas superficiales reales. (Marimón Bolívar 2018).

En el año 2019, como trabajo de investigación para la Universidad Católica de Colombia se presentó un sistema en dos muestras de agua para determinar la calidad del agua en filtración mediante el carbón activado estándar e implementación de nano-partículas magnéticas. Se realizaron ensayos de síntesis y caracterización mediante diferentes pruebas de laboratorio con el fin de determinar características y parámetros como el uso de métodos ecológicos (síntesis verde). De la misma manera, se realizó la caracterización del carbón activado para determinar qué elementos se encontraban en las muestras de agua. Por último, se determinaron los parámetros fisicoquímicos iniciales de cada muestra, después del

tratamiento de coagulación-floculación y después del proceso de filtración, esto para analizar la reducción de los parámetros fisicoquímicos y su respectivo índice de calidad. Los resultados obtenidos mostraron eficacia debido a que se tuvieron reducciones de 65% a 90% en los parámetros específicos, por otro lado, los valores del índice de calidad del agua para cada muestra se encontraron establecidos en términos aceptables.(Boasberg et al. 2019)

En el 2019, como trabajo de grado se tuvo el propósito de preparar un coagulante orgánico magnético amigable con el medio ambiente (Moringa) implementado en una muestra de agua lluvia. En dicho proceso se utilizaron concentraciones de coagulante orgánico y coagulante modificado respectivamente en 800 ml de muestra de agua lluvia. De la misma manera se realizaron pruebas de laboratorio como test de jarras con la finalidad de obtener turbiedades y tiempos de sedimentación con cada muestra de agua, de las cuales el coagulante modificado no presento los comportamientos esperados ya que el resultado obtenido no es lo suficientemente óptimo para garantizar la reutilización en el proceso de nanopartículas con ayuda de imanes de neodimio los cuales las atraen en sedimentación. (Issa 2019)

JUSTIFICACIÓN

La reutilización del agua se ha venido llevando a cabo mediante distintos tratamientos que ayudan a su recuperación para utilizarla en el mismo sector donde se recolecta o conduciéndola a otro lugar, con el propósito de darle buen uso y evitar la contaminación del medio ambiente. En el mundo, el agua es un recurso fundamental para la vida en la tierra siendo uno de los más abundantes del planeta ya que cubre el 71% de la superficie ésta, donde solo el 3% es de agua dulce la cual es la requerida para el consumo humano.(Mauricio Luque 2016)

Se tienen fines comunes del reúso de agua, entre ellos está la agricultura que es el sector más consumidor de agua en el mundo según la ONU presentando un 70% de uso hídrico. (Alianza Uninorte con El Heraldo 2019) la reutilización del agua proveniente de cualquier tipo de industria en el riego agrícola es de común interés donde se tiene la iniciativa de cuidar el medio ambiente debido a que está usando aproximadamente del 43% al 75% del agua disponible para el consumo en el mundo dependiendo de los ingresos de cada país, resaltando la necesidad de reutilizar las aguas residuales tratadas para la agricultura. El programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, declara que en Europa y América del Norte se consume más agua para la industria de alimentos y se tiene que ésta está entre un 8% a un 15% del uso total que se gasta en las industrias, que vendría siendo del 1% al 1,8% del uso total del agua en el mundo. (Ölmez 2013) Con el fin de cumplir estas estadísticas, se hace necesario aplicar técnicas de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, las tecnologías convencionales en el tratamiento terciario, presentes en los cuerpos de agua residual, pueden presentar varias desventajas en cuanto a la generación de lodos, crecimiento bacteriano, entre otros, generando costos extras

con la ejecución de un tratamiento posterior.

Es por esto que la nanotecnología ha venido tomando importancia para el desarrollo de nuevas alternativas de tratamiento o para potenciar las técnicas existentes. Esto es debido a que los materiales a escala nanométrica exhiben propiedades diferentes a las mostradas por los materiales de igual composición a escala de mayor magnitud.(Alvarez et al. 2018)

Como ejemplo de esto está la utilización de nano-arcillas las cuales muestran gran afinidad para la interacción con contaminantes como metales pesados. Además, su implementación tiene ventajas respecto a otras tecnologías convencionales, debido a su bajo costo comercial, amplia disponibilidad y excelente rendimiento de adsorción. (Yadav, Gadi y Kalra 2019). Sin embargo, su implementación no se ha masificado por la dificultad de separación del medio acuático después de su implementación en el tratamiento, por esto la alternativa de modificar con materiales magnéticos que puedan ser retirados por campos magnéticos de bajo gradiente ha llamado la atención en los últimos años. (Marimon Bolivar 2018);((Marimón-Bolívar, Tejeda-Benítez y Herrera 2018)

De manera puntual, con este proyecto se busca realizar una investigación sobre la reutilización de las aguas grises que se derivan del lavado de la guayaba y de los utensilios manejados en la fabricación del bocadillo, mediante un sistema de tratamiento de agua residual la cual será utilizada después en el riego de los cultivos agrícolas cercanos al sector de manufactura, y así fomentar que las agroindustrias en el municipio de Vélez departamento de Santander, puedan contar con un sistema de riego óptimo con agua previamente tratada.

2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

La calidad del agua se puede ver alterada por factores físicos, químicos y biológicos, como lo son el aumento de la población humana, el cambio climático, entre otros, donde muchas de las aguas provenientes de actividades industriales y domésticas se vierten sin su previo tratado a los ríos afectando la vida acuática y los ecosistemas. («Water Quality» 2019) La Organización Mundial de la Salud y el UNICEF en el año 2017 Confirman que 3 de cada 10 personas no tienen acceso al agua en el mundo y 6 de cada 10 no cuentan con un saneamiento seguro en su hogar provocando la muerte de 350000 niños menores de edad en el mundo, a causa de enfermedades gastrointestinales. (Peña Mixzaida 2017)

La industria alimentaria, emplea grandes cantidades de agua para distintos propósitos, como lo son: agua para la producción de alimentos, siendo ésta de alta calidad ya que si no lo está se corre el riesgo de reducir las propiedades organolépticas del alimento o de transmitir alguna infección gastrointestinal, (Sáenz Gerardo 2018) también para fines de limpieza donde las características del efluente quedan con cantidades altas de sólidos suspendidos totales (SST), grasas, aceites y otras clases de materia orgánica y químicos. (Ghimpusan et al. 2017)

Las aguas residuales de las industrias alimentarias son diferentes en comparación con las aguas residuales municipales ya que las primeras requieren un tratamiento complejo, donde sus parámetros de demanda biológica y química de oxígeno son aproximadamente 100 veces más altos que las aguas residuales municipales y los olores suelen ser desagradables por el resultado de gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. (Ghimpusan et al. 2017)

Se sabe que la selección de los métodos de tratamiento de aguas residuales tienen técnicas convencionales de remoción de contaminantes en el agua para que esta cumpla sus respectivas condiciones; se tienen métodos como la precipitación química y bio-precipitación, la coagulación-floculación, intercambio iónico o también separación electroquímica; éstas técnicas convencionales suelen presentar deficiencias en temas de economía (operación, mantenimiento y regeneración de membranas), generación de lodos, daños en los equipos, , tratamientos especiales (cribas o molinos), caídas en la presión, incremento de agentes bacterianos asociados a enfermedades transmitidas por alimentos manipulados con agua sin ser tratada. (Marimón-Bolívar, Tejeda-Benítez y Herrera 2018)

En las agroindustrias se observa cada vez más el desperdicio continuo de agua, como en el lavado de alimentos, recipientes industriales utilizados y desechos de éstos, Un ejemplo es la industria de fábrica de bocadillos, ubicada en Vélez Santander la cual gasta gran cantidad de agua en sus procesos por lo que se propone la siguiente pregunta:

¿Es posible crear el diseño de un sistema de tratamiento de reutilización de agua residual proveniente de una fábrica de bocadillos para el riego agrícola con la implementación de nuevas técnicas de tratamiento como nano-arcillas modificadas magnéticamente?

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales de una fábrica de bocardillos para su reutilización en riego agrícola implementando nanoarcillas modificadas magnéticamente como tratamiento terciario.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos y biológicos de las aguas residuales provenientes de la fábrica de bocardillos.
- Sintetizar y caracterizar de las nanoarcillas magnéticas modificadas.
- Implementar los pretratamientos y tratamientos seleccionados en la muestra de agua residual.
- Realizar el diseño conceptual del sistema necesario y así obtener calidad de agua apta en el riego agrícola.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1. MARCO TEÓRICO.

4.1.1. Calidad de agua

Las características del agua en términos químicos, biológicos y físicos regularmente están en relación con el propósito para el cual está destinado el uso del agua bien sea para consumo, riego, uso doméstico, entre otros. El oxígeno disuelto, la cantidad de agentes bacterianos, la turbidez, la cantidad de sal y/o pesticidas, la presencia de algas microscópicas, herbicidas, metales pesados y demás contaminantes se pueden tomar como referencia para evaluar la calidad del agua.

Al consumir agua de mala calidad se corre el riesgo de adquirir enfermedades de todo tipo. Por otro lado, el hecho de tener animales en mal estado genera que el agua este en malas condiciones por ende se recomienda darle un buen manejo en el hogar, industrias, colegios, hospitales, entre otros, todo esto para reducir el uso de fertilizantes, herbicidas y pesticidas. (National Marine Sanctuaries 2017)

Imagen 1. Clases y Calidad de agua del Grupo de trabajo de monitoreo biológico

Clase	Calidad	Valor del BMWP	Significado	Color
I	Buena	>101	Aguas muy limpias, no contaminadas ni alteradas de modo apreciable.	Celeste
II	Aceptable	61-100	contaminación	Verde
II	Dudosa	36-60	Aguas claramente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16-35	aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy Crítica	<15	aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: (Fernández Deimar 2014)

4.1.2. Índice de calidad de agua (ICA): Es aquel que indica la cantidad contaminación que hay en el agua expresándose como porcentaje del agua pura, si esta alta la contaminación el índice de calidad es aproximadamente del 0% y si es baja la contaminación, es decir, en buenas condiciones el índice de calidad de agua es aproximadamente del 100%. (De Agua y -Ecuador 2016)

El ICA se desarrolla en etapas, la primera consistió en crear una escala de calificación de acuerdo a los diferentes usos del agua, la segunda es una escala de calificación para cada indicador. Los parámetros considerados para determinar el índice de calidad de agua global son, la DQO, oxígeno disuelto, coliformes fecales y totales, dureza total, sólidos disueltos y suspendidos, alcalinidad, entre otros. (De Agua y -Ecuador 2016)

4.1.3. Técnicas convencionales para tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas abarca las operaciones de tipo físico, químico o biológico, cuya meta es eliminar la gran cantidad de características no requeridas de las aguas

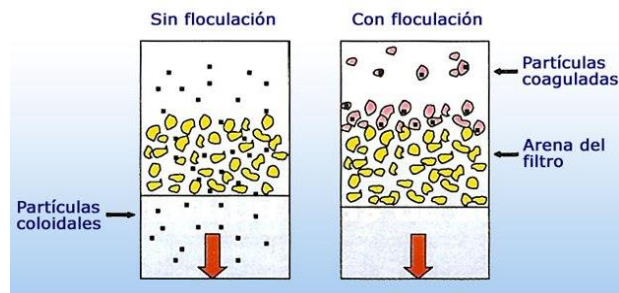
de abastecimiento o residuales. Las aguas residuales normalmente provienen de industrias, instituciones, casas y locales comerciales, el tratamiento de las aguas residuales son un proceso complejo. (Muñoz Cruz Amilcar 2008)

- **Procesos Físicos:** Los procesos físicos del tratamiento de aguas residuales son aquellos donde se emplean fuerzas físicas, los principales procesos físicos son el desbaste, dilaceración, mezclado, floculación, sedimentación, flotación y filtración. (Muñoz Cruz Amilcar 2008)

- **Flotación:** En éste método se usan burbujas de gas para la separación de partículas suspendidas que no pueden eliminarse por sedimentación, se pueden realizar utilizando aire, nitrógeno, entre otros, ayuda a eliminar sustancias orgánicas volátiles, aceite y grasa del agua. (Al-Ghouti et al. 2019)

- **Floculación:** se encarga de que las partículas en suspensión aumenten su superficie de contacto debido a la adición de productos químicos en los procesos de precipitación química, gracias a la floculación las partículas se agregan en partículas mayores alcanzando la masa suficiente para sedimentar. (Muñoz Cruz Amilcar 2008)

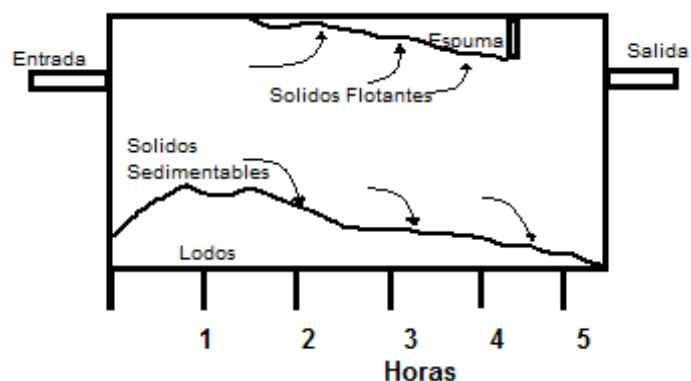
Imagen 2. Proceso de floculación.



Fuente: (Cochachin Aliaga Andrés 2011)

- **Sedimentación:** Es la separación de los componentes del agua en dos, una fase sólida y una fase líquida. Este proceso se utiliza en puntos de depuración de aguas residuales. (Muñoz Cruz Amilcar 2008)

Imagen 3. Proceso de sedimentación



Fuente:(«Teoría de Sedimentación – Tratamiento del Agua» 2015)

- **Procesos químicos:** Son aquellos que eliminan contaminantes del agua residual por medio de reacciones químicas de diversos compuestos, se utilizan normalmente en la depuración de agua en conjunto con procesos biológicos. Algunos de los principales procesos químicos son la precipitación química, la transferencia de gases, decoloración, adsorción, desinfección, Ósmosis inversa, intercambio iónico, entre otros. (Muñoz Cruz Amilcar 2008)

- **Precipitación química:** Consiste en agregar productos químicos en el agua residual consiguiendo la alteración del estado físico de los sólidos disueltos o suspendidos ayudando a eliminar un 97% éstas partículas. (Al-Ghouti et al. 2019)

- **Adsorción:** Es aquel proceso donde los iones o moléculas se retienen en la superficie de un sólido llamado adsorbente, como ejemplo de adsorción se tiene el proceso de flotación, donde el gas es el adsorbato y el adsorbente son los sólidos suspendidos.

- **Decoloración:** Elimina todo el cloro residual combinado, ya que quedan compuestos orgánicos altamente tóxicos en las aguas después del tratamiento biológico. (Muñoz Cruz Amilcar 2008)

- **Procesos Biológicos:** Normalmente es un tratamiento secundario, el cual coagula y eliminan los sólidos coloidales no sedimentables. Se utiliza variedad de microorganismos bacterianos. (Muñoz Cruz Amilcar 2008)

Los principales procesos utilizados son los aerobios, anóxicos y anaerobios.

- **Procesos aerobios:** Los microorganismos en estos procesos se mantienen fijos en lechos formados por materiales permeables. Su aplicación en el tratamiento de aguas residuales es reducida por la baja solubilidad del oxígeno en el agua. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S. 2018)

- **Procesos anaerobios:** Con este proceso se hace la descomposición de la materia orgánica e inorgánica donde no hay oxígeno. Éste sistema tiene como principal ventaja la obtención de gases combustibles. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S. 2018)

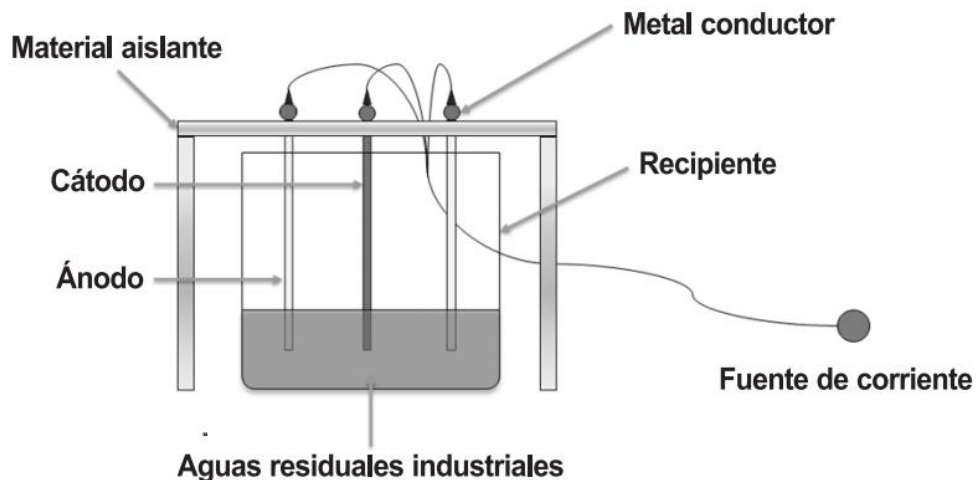
- **Sistemas anóxicos:** Son sistemas con falta de oxígeno y presencia de altas concentraciones de nitratos, siendo éste compuesto el receptor de electrones, y generando principalmente nitrógeno. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S. 2018)

- **Otras técnicas de tratamiento convencionales**

- **Tratamiento de macrófitos:** son aquellos estanques donde se añaden plantas acuáticas, donde se han venido utilizando en los últimos años mejorando los efluentes de los estanques de estabilización. Las macrófitas absorben grandes cantidades de nutrientes inorgánicos y metales pesados siendo muy eficientes extrayendo los nutrientes. («Wastewater treatment» 2016)

- **Electrocoagulación:** Es un proceso donde se desestabilizan partículas contaminantes las cuales están suspendidas, emulsionadas o disueltas en el agua, donde se implementa corriente eléctrica que proporciona fuerza electromotriz provocando reacciones químicas, a través de placas metálicas, como el hierro y/o el aluminio, estabilizando las moléculas contaminantes. (Patricia Restrepo Mejía, Arango Ruiz y Fernando Garcés Giraldo 2006)

Imagen 4. Sistema de electrocoagulación



Fuente: (Bibiana et al. 2010)

Tabla 1 Métodos convencionales para el tratamiento de aguas y sus principales limitaciones

Métodos convencionales	Limitaciones
Destilación	La mayoría de los contaminantes requieren altas cantidades de energía y agua. Los contaminantes con punto de ebullición > 100 ° C son difíciles de eliminar
Transformación química	Se requiere exceso de reactivos. El producto puede ser una mezcla de baja calidad y no se puede liberar al medio ambiente.
Coagulación y floculación	Este es un método complejo y requiere aditivos alcalinos para lograr un pH óptimo
Tratamiento biológico	Los microorganismos son sensibles a los factores ambientales y difíciles de controlar. Los intermedios dañan las células microbianas.
Osmosis inversa	Este método no puede eliminar sustancias orgánicas volátiles, productos químicos, cloro, y productos farmacéuticos. Requiere alta energía
Filtro de carbón	No se pueden eliminar los nitratos, fluoruros, metales, sodio, etc. La obstrucción ocurre con sólidos no disueltos. Susceptible al moho. Requiere cambio frecuente de filtros.
Nano-filtración	Esta técnica requiere alta energía y pretratamiento. La suciedad de la membrana se producirá con una vida útil limitada y costosa

Fuente: («Nanotechnology for water purification: applications of nanotechnology methods in wastewater treatment» 2017)

4.1.4. Nanotecnología en tratamiento de aguas residuales

La nanotecnología en el tratamiento del agua es donde se utilizan nanomateriales innovadores desarrollados en los últimos años, Una ventaja importante de esta tecnología es la posibilidad de utilizar materiales que se pueden usar como absorbente, fotocatalizador o membrana de nanocompuesto.(Pal y Pal 2017) Éstos nanomateriales, debido a su tamaño menor a 100 nm, expresan propiedades como alta área superficial, fuertes fuerzas de interacción, resonancia de plasmones superficiales, entre otros (Marimón-Bolívar, Tejeda-Benítez y Herrera 2018)

Los nanomateriales utilizados para el tratamiento de agua contaminada por agentes como metales pesados tóxicos, químicos orgánicos tóxicos, bacterias, incluyen: (Patanjali et al. 2019)

Tabla 2. Nanomateriales y sus aplicaciones

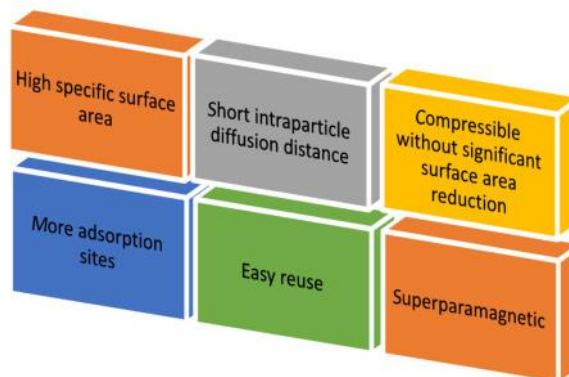
Nanomateriales	Aplicaciones
Nanotubos de carbón	Remoción de contaminantes orgánicos
Óxidos metales a nanoescala	Adsorción de radionúclidos de metales pesados.
Nanocatalizador	Pesticidas, colorantes azoicos
Nanopartículas bioactivas	Remoción de bacterias y hongos
Membranas Biomimético	Remoción de sales
Peróxido de calcio a nanoescala	Destrucción de orgánicos (Ej: Gasolina)
Nano magnetita	Osmosis inversa
zeolita	Remoción de iones en metales pesados
Nanopartículas magnéticas	Remoción de contaminantes orgánicos e iones de metales pesados
Nanohojas de sulfuro de aluminio	Remoción de tinte

Fuente: («Nanotechnology for water treatment: A green approach» 2019)

4.1.5. Nanopartículas de metal: Son metales nanométricos que exhiben una gran área de superficie por lo tanto pueden absorber moléculas orgánicas en su superficie, pueden eliminar gran variedad de contaminantes y así poderlos usar en el tratamiento de aguas residuales, las más estudiadas son: nano-plata, nano-oro y nano-hierro, donde la última es la más usada debido a su alta reactividad hacia éstas. (Patanjali et al. 2019)

4.1.6. Óxidos metálicos de nano-escala: Tienen la capacidad de eliminar iones de metales pesados del agua contaminada. Un óxido nanométrico ideal destinado a ser usado para la eliminación de iones de metales pesados del agua debe tener las siguientes características: (Patanjali et al. 2019)

Imagen 5. Características de los óxidos metálicos ideales.



Fuente: (Patanjali et al. 2019)

Entre los adsorbentes existentes, los óxidos pueden usarse para la eliminación de metales pesados de aguas contaminadas debido a su relación superficie-masa y su reactividad química muy alta. Éstas poseen alta absorción hacia los metales

pesados en términos de mayor capacidad y selectividad, lo que resulta en la eliminación de contaminantes de metales pesados tóxicos. (Patanjali et al. 2019)

4.1.7. Nano-catalizadores: Se utilizan debido a su capacidad para aumentar la actividad catalítica de la superficie, ayudan a mejorar la degradación de contaminantes ambientales como los pesticidas, los colorantes azoicos, los aromáticos nitros, entre otros. El nanocatalizador de plata son eficientes para la reducción de contaminantes microbianos presentes en el agua. (Patanjali et al. 2019)

4.1.8. Nanomembranas: Son aquellas que están compuestas por fibras las cuales pueden eliminar partículas de tamaño micrométrico con una tasa muy alta de eliminación. Se tiene que los nanomateriales antimicrobianos, se han implementado sobre estructuras de membrana polimérica para impedir la unión bacteriana en la superficie de la membrana. (Patanjali et al. 2019)

Tabla 3. Nanomateriales en el tratamiento de aguas y aguas residuales.

Nanomaterial	Propiedades/Aplicaciones	Limitaciones
Nanoadsorbentes	Tiene una alta superficie específica y buena capacidad de adsorción. Se utiliza para eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos y bacterias.	Altos costos de producción
Nanometales	Contienen altas superficie específica y de corta distancia de difusión entre partículas y es resistente a la abrasión, magnético.	Menos reutilizable
Nanomembranas	Proceso altamente confiable, aplicado en todos los campos de los tratamientos de aguas y residuos.	Requiere fuente de alta energía.
Fotocatálisis	Actividad fotocatalítica y, posiblemente, en el rango de luz visible, baja toxicidad humana, alta estabilidad y bajo costo	Selectividad de reacción
Desinfección y control microbiano.	Actividad antimicrobiana fuerte y de amplio espectro, baja toxicidad para los humanos, facilidad de uso.	Falta de residuos de desinfección.

Fuente: («Nanotechnology for water purification: applications of nanotechnology methods in wastewater treatment» 2017)

4.1.9. Nanoarcillas

Las arcillas comerciales, están entre los recursos minerales más importantes, por su volumen explotado y por su valor de la producción. El 90 % de la producción es asignada a la fabricación de materiales de construcción las cuales son llamadas arcillas cerámicas compuestas de 2 o más minerales de arcilla y el 10 % restante se asigna a otras industrias, las cuales son llamadas arcillas especiales, que contienen solo un tipo de arcilla pueden dividirse en bentonitas, sepiolita, entre otras. (Andrade, Covelo y Vega 2005)

La bentonita está compuesta principalmente por minerales de esmectitas, la cual actúa como un adsorbente barato de alta calidad (Patanjali et al. 2019). Los minerales de arcillas se han utilizado en el tratamiento de aguas residuales donde éstos ayudan con la eliminación de contaminantes inorgánicos y no metálicos, colores, iones de metales pesados, pesticidas, aceites y grasas de diversas aguas residuales (Chang, Li y Jiang 2019).

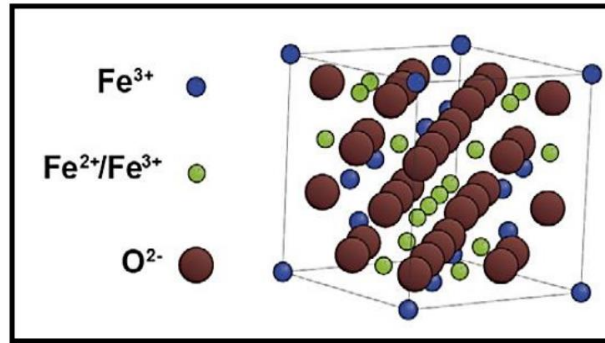
La adsorción de la arcilla es simple, fácil de manejar, rápida, eficiente, no causa contaminación secundaria, tiene amplia aplicación, reduce los costos de tratamiento de aguas residuales y la producción de lodos. (Chang, Li y Jiang 2019)

4.1.10. Nanopartículas magnéticas

Las nanopartículas magnéticas son materiales que pueden tener aplicaciones en diferentes campos, como la resonancia magnética (MRI), la remediación ambiental, la producción de energía, la administración de medicamentos, entre otros, debido a su gran capacidad magnética (Marimón-Bolívar y González 2018). Dentro de los óxidos metálicos para la eliminación de contaminantes, los óxidos de hierro se encuentran dentro de los más aplicable, esto debido a que algunos óxidos de hierro como la magnetita en la escala nanométrica exhiben propiedades superparamagnéticas. (Nadoll et al. 2014) y (Coral y Mera 2017)

“La magnetita tiene una configuración molecular de tipo AB_2O_4 , siendo ésta del grupo de las espinelas donde A es el catión divalente (Fe^{+2}) y B el catión trivalente lo que le da un empaquetamiento cubico centrado en las caras por parte de los átomos de oxígeno. Es espinela inversa debido a que los espacios tetraédricos se encuentran ocupados por el ion trivalente y los espacios octaédricos repartidos entre los trivalente y divalentes” (Marimon Bolivar 2018)

Imagen 6. Estructura cristalina de la magnetita



Fuente: (Marimón Bolívar 2018)

El del dominio magnético se reduce más, debido a su que están relacionados proporcionalmente el tamaño del cristal y la raíz cuadrada del tamaño dominio 3. (Chikazumi, Graham y Chikazumi 2009) Las nanopartículas magnéticas son de gran ayuda en la separación de catalizadores, diseños nucleares, productos bioquímicos y células pues éstos son reconocidos como una herramienta versátil para la remediación de varios tipos de contaminantes en el agua. (Patanjali et al. 2019)

4.1.10.1. Métodos de síntesis de nano partículas magnéticas

Últimamente se han desarrollado diferentes metodologías para la adquisición de nano partículas de magnetita con el fin de mejorar la estabilidad, la bio-compatibilidad, el control de la forma y la mono-dispersión de tamaño. Se ha establecido que los métodos más comunes han sido la co-precipitación, descomposición térmica o la sono-química, entre otros. (Coral Diego F. & Mera Jenny A. 2017)

-Co-precipitación: Es un método de síntesis de magnetita sencillo donde se mezcla en una disolución acusa Fe^{2+} y Fe^{3+} manteniendo una temperatura y un pH básico. El desempeño a futuro de las nano-partículas depende del tipo de sales usadas, la temperatura de reacción, la constante mezcla o agitación en determinados periodos de tiempo y la concentración del hidróxido de sodio vertido en la mezcla para la obtención de condiciones ideales. (Coral Diego F. & Mera Jenny A. 2017)

-Descomposición térmica: En este procedimiento se utiliza cetilacetato de Fe (III) ($\text{Fe}(\text{acac})_3$), acetilacetato de Fe (II) ($\text{Fe}(\text{acac})_2$) y acetilacetato de Co ($\text{Co}(\text{acac})_2$), de los cuales según sus concentraciones depende la forma y el crecimiento de las nano-partículas, también se utiliza oleatos como oleato de hierro $\text{Fe}(\text{ole})_3$. Se debe tener precaución en la mezcla de los compuestos ya que de esto depende la obtención de maghemita, magnetita o ferrita de cobalto. El tamaño es influenciado por efecto del precursor principalmente obteniendo nano-partículas de 4nm a 20nm. (Coral Diego F. & Mera Jenny A. 2017)

-Sono-química: Este método se realiza por medio de una reducción en solución acuosa de nitrato de plata (AgNO_3) descomponiendo por medio de ultrasonido el agua en iones hidrogeno e hidroxilo, los cuales reducen a los iones de plata (Ag^+) para después hacer nucleación y formar finalmente las nano-partículas. (Paredes Daissy 2015)

Por otro lado, el método sono-químico ofrece algunas ventajas como la de formar nanopartículas de tamaño pequeño, aunque presentan una amplia distribución en su tamaño.(Rodriguez Saddys 2007)

4.1.11. Proceso de fabricación del bocadillo.

A continuación se muestra un resumen del proceso de fabricación del bocadillo donde se puede observar en que parte de su proceso sale agua residual a tratar en este proyecto de reutilización del agua.(FedeVeleños 2011)

Imagen 7. Proceso de fabricación del bocadillo.

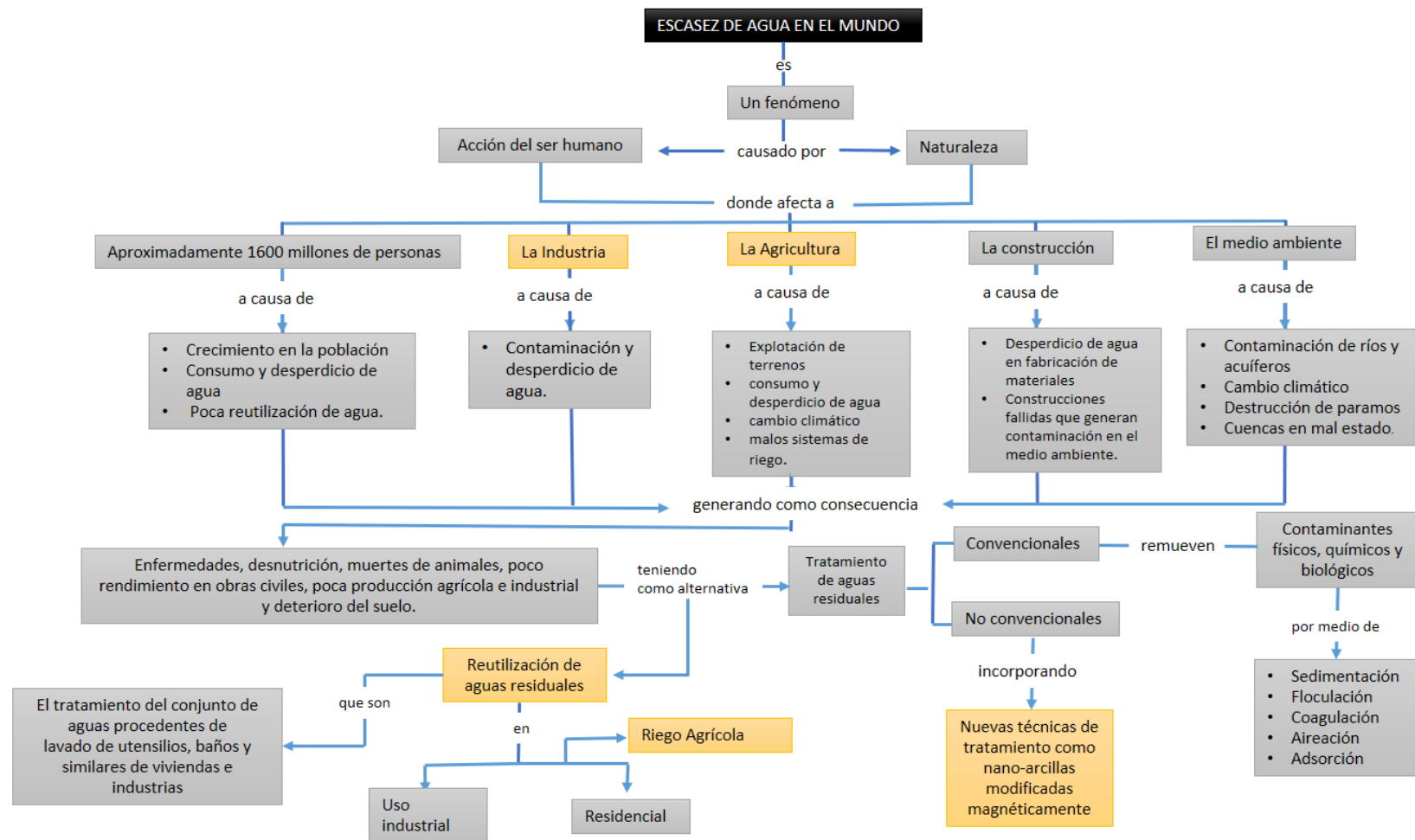
PROCESO DE FABRICACIÓN DEL BOCADILLO



Fuente: Realización propia.

Se tiene en cuenta que el agua residual que será usada para el tratamiento a realizar con la implementación de nanoarcillas modificadas magnéticamente es la que proviene del lavado de la guayaba y del lavado de utensilios.

4.2. MARCO CONCEPTUAL.



4.3. MARCO LEGAL

➤ La Constitución política de Colombia (1991)

La constitución define el uso, conservación y preservación por parte del gobierno nacional, para el manejo ambiental incluyendo las fuentes hídricas, algunos de los artículos se mostrarán a continuación:

- Título I- Artículo 8 “Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación” (Colombia 1991)
- Título II- Capítulo 3- Artículo 79 “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.” (Colombia 1991)
- Título II- Capítulo 3- Artículo 80. “El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.” (Colombia 1991)
- Título XII – Capítulo 5 – 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 potable. Para tales efectos, en los planes y presupuestos de la Nación y de las entidades territoriales, el gasto público social tendrá prioridad sobre cualquier otra asignación.” (Colombia 1991)

➤ Ley 373 de 1997

Ésta normativa establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua, del artículo 1 al 11 se habla principalmente del ahorro y reutilización del agua mostrando a continuación algunos de éstos:

- Artículo 1. “PROGRAMA PARA EL USO EFICIENTE Y AHORRO DEL AGUA. Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Se entiende por programa para el uso eficiente y ahorro de agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico.”(Congreso de Colombia 2003)

- Artículo 5. “REUSO OBLIGATORIO DEL AGUA. Las aguas utilizadas, sean éstas de origen superficial, subterráneo o lluvias, en cualquier actividad que genere afluentes líquidos, deberán ser reutilizadas en actividades primarias y secundarias cuando el proceso técnico y económico así lo ameriten y aconsejen según el análisis socio-económico y las normas de calidad ambiental.” (Congreso de Colombia 2003)

- Artículo 15. “TECNOLOGIA DE BAJO CONSUMO DE AGUA. Los ministerios responsables de los sectores que utilizan el recurso hídrico reglamentarán en un plazo máximo de seis (6) meses la instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua para ser utilizados por los usuarios del recurso y para el reemplazo gradual de equipos e implementos de alto consumo.” (Congreso de Colombia 2003)

➤ La Protección Ambiental de los Estados Unidos de América de 2012 (EPA)

El re-uso del agua en riego agrícola tiene criterios necesarios para la implementación de los sistemas de reciclaje de aguas residuales, de acuerdo a las leyes o normas que impone el estado. La EPA establece guías de los diferentes usos agrícolas, el tratamiento del agua residual y la calidad de agua requerida para la reutilización de aguas residuales, establece 3 categorías, la primera es para riego de cultivos que se consideren crudos como ejemplo se tiene la lechuga, la segunda es para riego de cultivos que se procesan comercialmente como ejemplo las arvejas enlatadas, la tercera es para el cultivo de cosechas que no son para consumo humano como ejemplo el pasto que normalmente consume el ganado, donde se resumen a continuación con el tratamiento recomendado y la calidad del agua requerida: (Carl-Axel, Soderberg Miembro y Asesor 2012)

Tabla 4. Guías de la EPA para la reutilización de aguas residuales tratadas en el sector agrícola

USO	TRATAMIENTO	CALIDAD REQUERIDA
En riego superficial o por asperjado de cultivos de alimentos para consumo humano se ingiere crudo	Secundario Filtración Desinfección	pH = 6-9 DBO ≤ 10 mg/L Turbiedad ≤ 2 UNT Coliformes fecales = no detectable Cloro residual = 1 mg/L
Riego superficial para cultivos de alimento para consumo humano y que se procesan comercialmente	Secundario desinfección	pH = 6-9 DBO ≤ 30 mg/L SST ≤ 30 mg/L Coliformes fecales ≤ 200/100mL Cloro residual = 1 mg/L
Riego de cosechas que no se consumen por humanos incluyendo fibras, semillas y pasto	Secundario desinfección	pH = 6-9 DBO ≤ 30 mg/L SST ≤ 30 mg/L Coliformes fecales ≤ 200/100mL Cloro residual = 1 mg/L

Nota: pH= Potencial de Hidrógeno; DBO = Demanda bioquímica de Oxígeno; UNT = Unidad Nefelométrica de turbidez; SST= Sólidos Suspendidos Totales.

Fuente: (Carl-Axel, Soderberg Miembro y Asesor 2012)

La EPA, muestra guías para proteger los cultivos, la cual se mostrará en la tabla 5, donde se muestran las concentraciones máximas aceptables de varios metales que no se deben superar en las aguas residuales tratadas que se reutilizaran para el riego agrícola. (Carl-Axel, Soderberg Miembro y Asesor 2012)

Tabla 5. Concentraciones máximas permisibles de metales para aguas residuales tratadas de uso agrícola

METAL	CONCENTRACIÓN MÁXIMA (mg/L)
Aluminio	5
Arsénico	0.1
Berilio	0.1
Boro	0,75
Cadmio	0.01
Zinc	2.0
Cromo	0.1
Cobalto	0.05
Cobre	0.2
Floururo	1
Hierro	5
Litio	2.5
Manganeso	0.2
Molibdeno	0.01
Niquel	0.2
Plomo	5
Selenio	0.02
Vanadio	0.1

Fuente: (Carl-Axel, Soderberg Miembro y Asesor 2012)

También para evaluar y caracterizar el agua residual proveniente de la fábrica de bocadillos se requirió de normativas que indicarán los límites permisibles para orientar hacia la reutilización en riego agrícola, por ello se consultaron resoluciones del Ministerio de ambiente que indican la calidad óptima para su reuso hacia esta actividad (resolución 1207 de 2014) (tabla 6) y la resolución 631 de 2015 (tabla 7) enfocada hacia la actividad agroindustrial,

Tabla 61. Parámetros de calidad para actividad agroindustrial

Parámetro	Unidades	Procesamiento de hortalizas, frutas, Legumbres, Raíces y Tubérculos.
pH	Unidades de pH	6-9
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	150
Demanda Bioquímica De oxígeno (DBO5)	mg/L O ₂	50
Sólidos Suspendidos totales (SST)	mg/L	100
Sólidos sedimentables (SSED)	mL/L	5

Fuente: Resolución 631 de 2015

Tabla 72. Parámetros de calidad para reúso en actividad agrícola

Variable	Unidad de medida	Valor máximo límite permisible
FISICOS		
pH	Unidades de pH	6-9
Conductividad	μS/cm	1500
IONES		
Cianuro Libre	mg CN-/L	0,2
Cloruros	mg Cl-/L	300
Fluoruros	mg F-/L	1
Sulfatos	mg SO ₄ -/L	500

Fuente: Resolución 1207 de 2014

5. ESTADO DEL ARTE

La reutilización de aguas residuales actualmente presenta una serie de alternativas nacionales e internacionales dando una solución a la problemática del desperdicio de agua y su posible reutilización, para ésta existen normas como: Real Decreto 1620/2007 – BOE, de España, EPA 2012 (Protección Ambiental de los Estados Unidos de América, 2012), entre otras.

Para la debida reutilización del agua en diferentes países del mundo, todas iniciativas coinciden con eliminar los debidos contaminantes presentes en el agua por medio de sistemas de tratamiento eficientes como coagulación, floculadores, decantación, filtración y osmosis inversa, brindando nuevas alternativas para reutilizarla en distintos consumos como lo son: el doméstico, público, agrícola, industrial, con lo cual se minimicen los impactos en el medio ambiente a un costo razonable.

Posteriormente, se han desarrollado investigaciones y aplicaciones en la vida real para el empleo de reúso de agua residual, presentando algunas investigaciones realizadas donde involucran herramientas y demás aspectos que se tuvieron en cuenta para llevar a cabo cada proyecto realizado:

Por ejemplo, Turquía intenta promover la reutilización de aguas residuales y hacer que el agua recuperada se convierta en un elemento clave del sistema de gestión de recursos hídricos a nivel nacional, por eso ha preparado un plan de acción para el tratamiento de aguas residuales para los años 2015-2023 con ayuda de tecnologías modernas ya que han utilizado métodos de tratamiento convencionales como el pre-tratamiento, un tratamiento mecánico (primaria), el tratamiento biológico (secundario) y avanzada, incluyendo, malla gruesa y estaciones de bombeo ya que este país carecía de estos recursos. La agricultura desempeña un papel muy importante en la economía turca y es el sector que más agua consume, pero hasta ahora no han considerado la reutilización de aguas residuales tratadas para su riego. (Maryam y Büyükgüngör 2017).

Por otra parte, en el año 2011, un grupo de trabajo de la Comisión Sectorial de Aguas Grises en España expone en una guía ciertos sistemas de reutilización de aguas provenientes de las duchas y lavamanos de edificios, que son depositadas en tanques de almacenamiento realizando el respectivo tratamiento hasta ser bombeada a otros espacios como lo son los sanitarios y sistemas de riego. La guía muestra los criterios de diseño de una instalación para la recuperación de aguas grises, considerando los siguientes conceptos básicos: Los datos de partida para determinar el tipo de tratamiento y su capacidad, considerando la demanda de agua tratada, la producción de agua gris, y la calidad del agua de entrada. Este estudio dio como conclusión, que para el correcto funcionamiento de esta guía técnica es necesario suministrar toda la información necesaria por parte del fabricante al

establecimiento donde será usado, factores como documentación técnica, manuales de instalación y actividades periódicas de limpieza.(Creus et al. 2011). Como muestra de la reutilización del agua, en el 2016, la Universidad Autónoma del Estado de México hizo una investigación acerca de tratamientos primarios como lo son coagulación, floculación, ozonización y filtración. El agua residual a experimentar se tomó de la laguna de estabilización de La Habana, Cuba. El agua después de ser sometida a los procesos, se observó que contenía concentraciones elevadas de nutrientes que resultaban favorables para ser fertilizantes orgánicos en la agricultura, cumpliendo con los requisitos físico-químicos y microbiológicos, establecidos en la norma Protección Ambiental de los Estados Unidos de América, 1992 y (Organización Mundial de la Salud, 2006). (Veliz et al. 2016).

Así mismo, en el artículo de nano-compuestos a base de arcilla para la eliminación de metales pesados del agua revisan la información utilizando diferentes absorbentes de minerales de arcilla (caolinita, montmorillonita y bentonita) los cuales se encuentran en grandes cantidades y bastante económicos, y con ésta la eliminación de metales pesados se ve afectada por numerosos factores como el pH, la temperatura, la dosis de adsorbente, entre otras. Concluyendo, que las arcillas han atraído una atención creciente debido a sus propiedades fisicoquímicas especiales y su aplicación para la eliminación de metales pesados minimizando el costo general de la materia prima y llegando a tener una alta resistencia térmica para una fácil regeneración mediante tratamiento térmico.(Yadav, Gadi y Kalra 2019). Además, la eliminación de Plomo (II) y Arsénico (V) mediante el uso de las nano-partículas amino (MH) magnéticas recubiertas de montmorillonita (Mt), por medio de un recipiente adsorbente se sintetizaron con éxito. Se obtuvo la nano-partícula amina con un diámetro de alrededor de 30 a 50 nm. Estas nano-partículas fueron luego recubiertas de montmorillonita por reacción solvotérmica dando como resultado que las propiedades ferromagnéticas de Mt-@-MH pueden facilitar la recuperación del adsorbente en comparación con los nano-compuestos de minerales arcillosos, para la eliminación efectiva de los iones de plomo (II) y arsénico (V) de sus soluciones acuosas. (Irawan, Nata y Lee 2019). Algo semejante ocurre en el año 2017, donde se hizo un proceso de adsorción, preparando un material compuesto de nanopartículas magnéticas y arcilla usada como absorbente para eliminación de azul de metileno la que según cálculos adsorbe 82 mg / g eliminando el 50% del colorante en los primeros 13 minutos a temperatura ambiente ($\approx 20^{\circ}\text{C}$) la concentración de MB que quedaba en la solución se midió por espectrofotometría. Se concluye que, las perlas magnéticas podrían usarse en el tratamiento de aguas residuales como un adsorbente multifuncional para la remoción de contaminantes.(Bée et al. 2017)

6. ALCANCES Y LIMITACIONES.

6.1. ALCANCES

Según lo planteado en el anteproyecto se tiene estipulado un trabajo de cuatro (04) meses, una vez la universidad apruebe la propuesta para poder realizar las pruebas de caracterización del agua a tratar y empezar los ensayos de tratamiento ya que en el semillero de investigación se han venido realizando las síntesis del material y su caracterización. Asimismo, se desea hacer la entrega del diseño conceptual de los equipos necesarios para tratar el caudal descargado por la industria seleccionada.

6.2. LIMITACIONES

- Demora en la entrega de los resultados de la caracterización del material sintetizado.
- Imposibilidad de acceso futuro a la planta de producción de bocadillos.
- Falta de equipos especializados para la medición de todos los parámetros de calidad.
- Necesidad de compra de reactivos específicos para medir algunos parámetros.
- Para tales limitaciones se tienen planes de contingencia:
- Buscar otros laboratorios para la caracterización del material.
- Crear agua residual sintética de características similares a las producidas en la planta.
- Usar la alianza con la Universidad Javeriana o el centro de investigación CENIGAA para la medición de los parámetros o utilización de equipos especializados.

7. METODOLOGÍA

7.1. CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA RESIDUAL

Las aguas residuales de la industria de bocadillo fueron recolectadas de la empresa “la veleña de bocadillos” ubicada en Vélez Santander. Las muestras de aguas residuales recolectadas diariamente fueron analizadas, tomando las características mostradas en la Tabla 6. Todos los parámetros se determinaron siguiendo los métodos estándar para la recolección y análisis de aguas residuales, así como los parámetros necesarios para la reutilización de aguas residuales en tareas de riego.

Tabla 8. Parámetros de calidad de agua utilizados en el estudio

PARÁMETRO	UNIDADES	ESTÁNDAR MÉTODO
Temperatura	°C	E2877-12e1
pH	Unidades de pH	4500-H
Conductividad	S/m	2510
Sólidos disueltos	mg/l	2540
DBO₅	mg/L	5210
DQO	mg/L	5220
Nitratos	mg/L	4500-NO3
Fosfatos	mg/L	4500-P
Oxígeno disuelto	mg/L	4500-O
Nitrógeno total	mg/L	4500-N
Fosforo total	mg/L	4500-P
Hierro	mg/l	3500 Fe B
Aluminio	mg/l	3500 Al B

Fuente: Realización Propia.

7.2. SÍNTESIS DE NANOMATERIAL

Para el desarrollo de la síntesis de las nano-arcillas magnéticas se usó el método de co-precipitación a partir de una solución acuosa de cloruro férrico (FeCl_2) (0.36 M) y cloruro ferroso (FeCl_3) (0.1 M) donde la mezcla se calentó hasta 70°C adicionando el hidróxido de sodio observando una coloración negra lo cual indicaba la formación de la magnetita con un pH > 10. Después de esto la temperatura se llevó a 85 °C \pm 5 °C manteniéndolo en éste rango durante 15 minutos adicionando la glucosa a 0,214 mol/L, durante otros 15 minutos se adiciona la arcilla y por último se mantiene en 85 °C \pm 5 °C durante 30 minutos con una agitación mecánica continua en un promedio de 0 a 100 rpm. Por último, las nanopartículas se separaron por aplicación de campo magnético y después se lavaron varias veces con agua desionizada y alcohol, para su posterior secado a 60°C durante 12 horas

7.3. CARACTERIZACIÓN DEL NANOMATERIAL

Las propiedades magnéticas del material fueron estudiadas mediante medidas de magnetómetro de muestra vibratoria (VSM Lakeshore, Modelo 665) a una temperatura de 300K y con mediciones de magnetización en función del campo aplicado en un rango entre -30 kOe a 30 kOe. Los grupos funcionales expuestos en la superficie del material y que fueron responsables de la remoción de contaminantes, se determinó mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier en un equipo SHIMADZU IR Prestige21 FTIR Spectrometer, donde la muestra se diluyó en KBr y se hicieron 150 barridos leídos por un detector de nitrógeno líquido en el método de transmitancia. El tamaño físico de las partículas fue medido a través de microscopia electrónica de barrido SEM en un CARL ZEISS MODELO EVO-HD-MA-15. La caracterización cristalográfica se realizó a través de un análisis de difracción de rayos x en un PROYECTO X'PERT PRO MPD PANalytical, donde el material obtenido fue sometido a bombardeo con rayos x emitidos de un ánodo de Cu con longitud de onda 1.54 Å en un rango de 10° - 90° con tamaño de paso de 0.026 y un tiempo de paso de 20 s. El potencial electrocinético superficial de las partículas y el tamaño hidrodinámico fue determinado por mediciones de potencial Zeta en un Nano Zvernizador Malvern (ZS90), los valores reportados fueron el promedio de 5 mediciones las cuales cada una fueron realizadas en medio acuoso y bajo un potencial a diferentes valores de pH (Marimón-bolívar y González 2018).

7.4. TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL

Con el fin de llegar a tener una calidad de agua cercana a la requerida, se realizaron pruebas de laboratorio de pretratamiento (sedimentador tipo I) y tratamiento primario (aireación y coagulación, floculación, sedimentación (c-f-s)) que simularon los procesos en una planta de tratamiento. Correspondiente a la realidad. Para finalizar, se tiene como tratamiento terciario la implementación de nano-partículas de arcilla donde el agua residual fue sometida a la remoción de los contaminantes faltantes (metales pesados).

7.5. PRUEBAS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES RESTANTES CON LA ARCILLA MAGNÉTICA

Las pruebas tratamiento con la arcilla magnética se llevaron a cabo en una unidad piloto de 100ml. Se tomaron diferentes concentraciones de nanomaterial (50 a 300 mg/L) y tiempos de contacto (1 a 30 minutos) determinando la cantidad mínima necesaria de nanomaterial para cumplir con la calidad de agua requerida en actividades de riego agrícola. Como parámetro de control se midió la DQO. Todas las pruebas se realizaron por triplicado para la fiabilidad de los resultados, donde los valores promedios se calcularon entre los datos obtenidos y con esto el porcentaje de eliminación de contaminantes. Después de los tiempos de contacto

se separó el nanomaterial con aplicación de campo magnético y así se procedió a determinar el índice de calidad de agua:

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Donde Q_i va de 0 a 100 y representa la calidad del parámetro i y W_i representa el peso en importancia que se le da a cada parámetro i . La determinación de los valores Q y la distribución de los pesos fueron especificadas dependiendo la fuente de agua real seleccionada y el uso final que se le quiera dar que en este caso es riego agrícola.

7.6. DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

A partir de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio se realizaron los escalamientos del diseño conceptual del sistema de tratamiento para la reutilización de aguas residuales proveniente de la fábrica de bocadoillos, teniendo en cuenta el Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) como normativa y con el apoyo de libros sobre el tratamiento de aguas residuales.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La contaminación del agua proveniente de una industria de bocadillos puede ocurrir cuando los encargados de la manufactura de los productos lavan la materia prima o los utensilios empleados para la obtención del bocadillo, esta agua podría ser destinada para riego agrícola siempre y cuando esta sea sometida a un sistema de tratamiento.

8.1. CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA RESIDUAL

En primer lugar, se obtuvo la muestra de agua de la fábrica de bocadillos, la cual desde un principio fue refrigerada en cavas a una temperatura de aproximadamente 4°C ya que con esta se preservan las propiedades de la muestra controlando el pH y demás parámetros previniendo que no haya una descomposición del contenido orgánico.

A la muestra se le hizo la debida caracterización en los laboratorios de la Universidad Católica de Colombia ([ANEXO D](#)) y los parámetros que no se fue posible medir en esta, se caracterizaron en la Pontificia Universidad Javeriana, haciendo la debida solicitud para el laboratorio de calidad de agua de ésta, donde se usaron los respectivos instrumentos las hojas de cálculo se pueden observar en el ANEXO A. De lo anterior se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 9. Parámetros de calidad de agua utilizada en el estudio

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES	CUMPLIMIENTO DE LA NORMA EPA
Temperatura	17.3	°C	-
pH	3.65	Unidades de pH	NO CUMPLE
Conductividad	866	µS/m	CUMPLE
Turbiedad	122	NTU	NO CUMPLE
Sólidos disueltos	149	mg/l	-
DBO ₅	52,11	mg/L	NO CUMPLE
DQO	135	mg/L	CUMPLE
Nitratos	15,4	mg/L	NO CUMPLE
Fosfatos	5	mg/L	-
Cloruros	77,3	mg/L	CUMPLE
Oxígeno disuelto	2.5	mg/L	-
Nitrógeno total	23,08	mg/L	-
Fosforo total	0.853	mg/L	-
Sulfatos	7,55	mg/L	CUMPLE
Sólidos suspendidos totales	4730,5	mg/L	NO CUMPLE
Hierro	0,27	mg/L	CUMPLE
Aluminio	0,28	mg/L	CUMPLE

Fuente: Realización Propia.

De la tabla anterior y según la Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA) la muestra de agua se tiene que someter a los tratamientos necesarios para alcanzar los valores admisibles y finalmente dar el cumplimiento a la norma para el uso en riego agrícola en los parámetros que no se cumplieron, a continuación, se muestran algunas fotos de los establecimientos donde se realizó la caracterización inicial de la muestra residual.

Imagen 8. Laboratorio U. Javeriana.



Fuente: Autores.

Imagen 9. Mediciones en Laboratorio de la U. Javeriana.



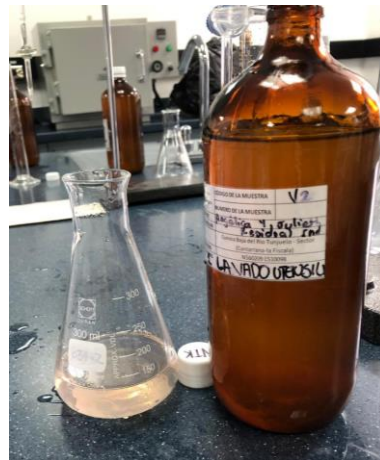
Fuente: Autores.

Imagen 10. Laboratorio U. Javeriana



Fuente: Autores.

Imagen 11. Mediciones en Laboratorio de la U. Javeriana.



Fuente: Autores

Imagen 12. Muestra inicial de agua residual.



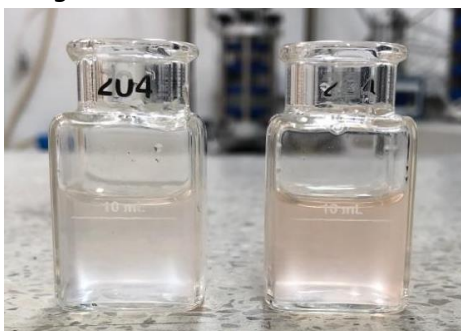
Fuente: Autores

Imagen 13. Laboratorio U. Javeriana.



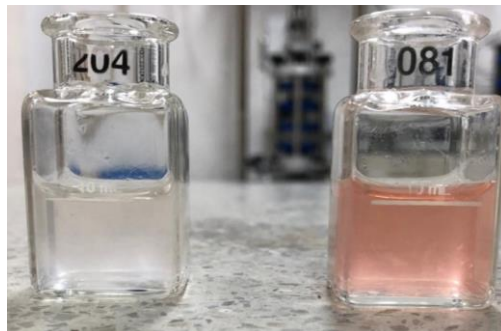
Fuente: Autores

Imagen 14. Medición Hierro U. Católica.



Fuente: Autores

Imagen 15. Medición de Aluminio U. Católica.



Fuente: Autores

Para completar los siguientes procesos de tratamientos del agua a implementar, se preparó un agua sintética siguiendo los parámetros obtenidos de la caracterización inicial que son los existentes del agua residual proveniente de la fábrica de bocadoillos, por lo tanto, el proceso realizado fue lavar guayaba y poner cierta cantidad de ésta, ya licuada, a calentar con azúcar para luego lavar los recipientes usados y así obtener más agua sintética con la misma caracterización inicial.

Para la obtención de la DBO_5 inicial se tenían los siguientes datos:

Tabla 10. Valores para OD. Iniciales y finales.

	Valor 1 (25 ml)	Valor 2 (50 ml)
Agua residual (Inicial)	0,15	0,18
Agua residual (final)	6,72	6,53

Fuente: Propia.

Por lo tanto para la obtención de ésta se utiliza la siguiente ecuación (Olga et al. 2007):

$$DBO_5 \frac{mg O_2}{L} = \frac{OD consumida - OD consumo Cepa}{V_m} * V$$

Dónde:

V= volumen de botella winkler = 293 ml. (Olga et al. 2007)

V_m= volumen de la alícuota de la muestra afectado por el factor de dilución.

Reemplazando los valores de la tabla 10. Se obtiene lo siguiente:

Para el valor 1 de 25 ml:

$$DBO_5 \frac{mg O_2}{L} = \frac{6,72 - 0,15}{25 ml} * 293 ml = 77,0004 \frac{mg O_2}{L}$$

Para el valor 2 de 50 ml:

$$DBO_5 \frac{mg O_2}{L} = \frac{6,53 - 0,18}{50 ml} * 293 ml = 37,21 \frac{mg O_2}{L}$$

Promediando estos dos datos se obtiene:

$$DBO_5 = \frac{77,0004 \frac{mg O_2}{L} + 37,21 \frac{mg O_2}{L}}{2} = 52,11 \frac{mg O_2}{L}$$

De lo anterior se observa que la DBO₅ obtenida no cumple según la RAS 2000 en el título D debido a que el máximo valor permisible es de 50 mg/L por lo tanto es necesario hacer el ya que tratamiento del agua debido a que se desea llegar a los parámetros permisibles para su debida reutilización.

8.2. CAUDAL DE LA MUESTRA

El caudal de la muestra corresponde 35 m³/mes, el cual fue tomado de la información suministrada por la fábrica de bocadillos Veleña de Bocadillos ubicada en Vélez – Santander.

8.3. SÍNTESIS DE NANOMATERIAL

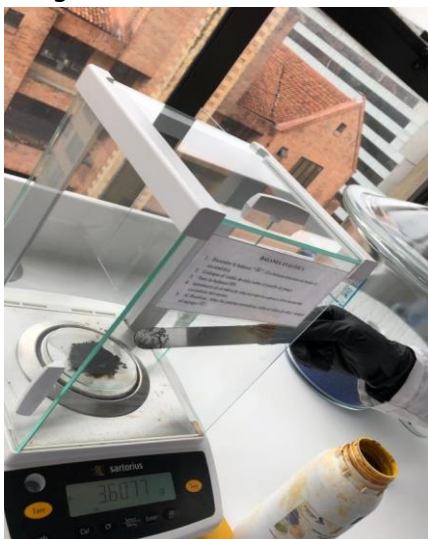
Para la síntesis realizada de Nanoarcillas modificadas magnéticamente se usaron los siguientes materiales:

- Arcilla bentonita
- Cloruro de hierro II (FeCl_2)
- Cloruro de hierro III (FeCl_3)
- Glucosa
- Hidróxido de sodio (NaOH)

Para el desarrollo de la síntesis de las nanoarcillas magnéticas se usó el método de co-precipitación y se realizaron los siguientes pasos:

Paso 1. Se realizó el peso del cloruro férrico de 1,3 gramos y el cloruro ferroso de 3,6 gramos y disolverlos en 100 ml de agua destilada para así llegar a una concentración de 0,36 M y 0,1 M respectivamente, adicionando esta muestra a un matraz de 500 ml.

Imagen 16. Peso de materiales.



Fuente: Autores

Imagen 17. Matraz de 500 ml.



Fuente: Autores

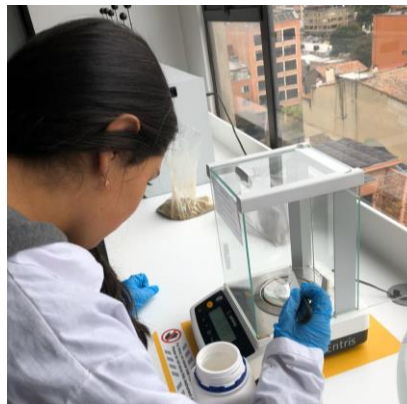
Paso 2. Se realizó el peso de los demás materiales a usar, de la glucosa se pesó 3.6 gramos los cuales se disolvían en 30 ml de agua para llegar a una concentración de 0,214 M, del hidróxido de sodio se pesó 1 gramos los cuales se disolvían en 10 ml de agua y se pesó 5 gramos de arcilla bentonita.

Imagen 18. Peso de arcilla bentonita.



Fuente: Autores

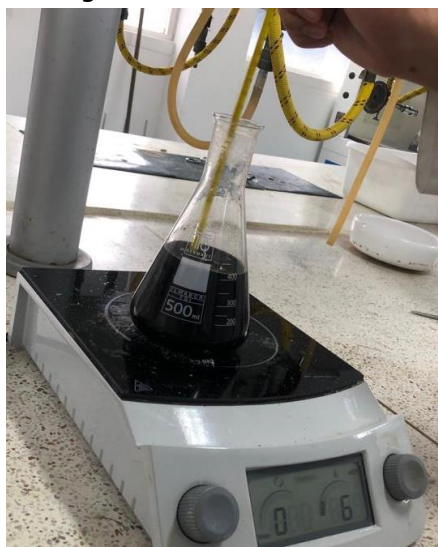
Imagen 19. Peso de la glucosa.



Fuente: Autores

Paso 3. El matraz de 500 ml se calentó hasta 70°C con una constante agitación manual, donde se hizo la adición del hidroxido de sodio hasta que quedara de un color negro, lo cual indicaba que se estaba formando la magnetita con un $\text{pH} > 10$.

Imagen 20. Adición del NaOH.



Fuente: Autores.

Paso 4. Después de esto la temperatura se llevó a $85\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ donde se mantuvo en este rango durante 15 minutos para la adición de la glucosa de forma gradual.

Imagen 21. Mantenimiento de la temperatura.



Fuente: Autores.

Paso 5. Se mantuvo otros 15 minutos en constante agitación para la adición de la arcilla

Paso 6. Se mantuvo en el rango de temperatura de 80 °C a 90 °C durante 30 minutos más con la agitación continua y manual a una velocidad en promedio de 0 a 100 rpm.

Paso 7. Luego de terminada la reacción se espera hasta que se enfrie con la aplicación de un imán de neodimio separando las nanopartículas formadas para despues ser lavadas 3 veces con agua destilada .

Imagen 22. Separación de nanopartículas.



Fuente: Autores.

Imagen 23. Nanopartículas.



Fuente: Autores.

Imagen 24. Lavado de nanopartículas.



Fuente: Autores.

Imagen 25. Imán de neodimio.



Fuente: Autores.

Paso 8. Luego de la separación las nanopartículas fueron secadas a 60 °C durante 12 horas.

Imagen 26. Nanoarcillas.



Fuente: Autores.

Se pudo analizar en los ensayos de laboratorio que desde un inicio de éstos, se pretendió usar solo el cloruro de hierro III (FeCl_3) con la glucosa tratando de convertir parte del cloruro de hierro III en cloruro de hierro II (FeCl_2) pero esto no se obtuvo debido a que la glucosa no fue suficiente, pues se observaba claramente que no había formación de la magnetita, ni había adherencia de la arcilla hacia las partículas, ya con la implementación de los dos hierros como se muestra anteriormente (FeCl_3 , FeCl_2).

Se observa que con el mecanismo de reacción propuesto para la formación de las nanopartículas magnéticas sintetizadas con arcilla bentonita se obtuvieron con una buena magnetización y un buen rendimiento de producción usando el método verde.

8.4. CARACTERIZACIÓN DEL NANOMATERIAL

La caracterización del nanomaterial (arcilla bentonita) sirve para determinar las propiedades magnéticas del material, grupos funcionales en la superficie del material y el tamaño físico de las nanopartículas, La caracterización del nanomaterial se realizó mediante diferentes ensayos y técnicas, como lo fueron:

8.4.1. Microscopia electrónica de barrido

El ensayo SEM fue realizado mediante la emisión y detección de electrones donde se obtuvo el tamaño de las nanopartículas, el porcentaje existente de arcilla bentonita, hierro, oxígenos y demás impurezas encontradas en las nanopartículas, esto se observa en una imagen de alta resolución de la superficie del material, ésta imagen se observa a continuación:

Imagen 27. Imagen microscópica de la arcilla bentonita.

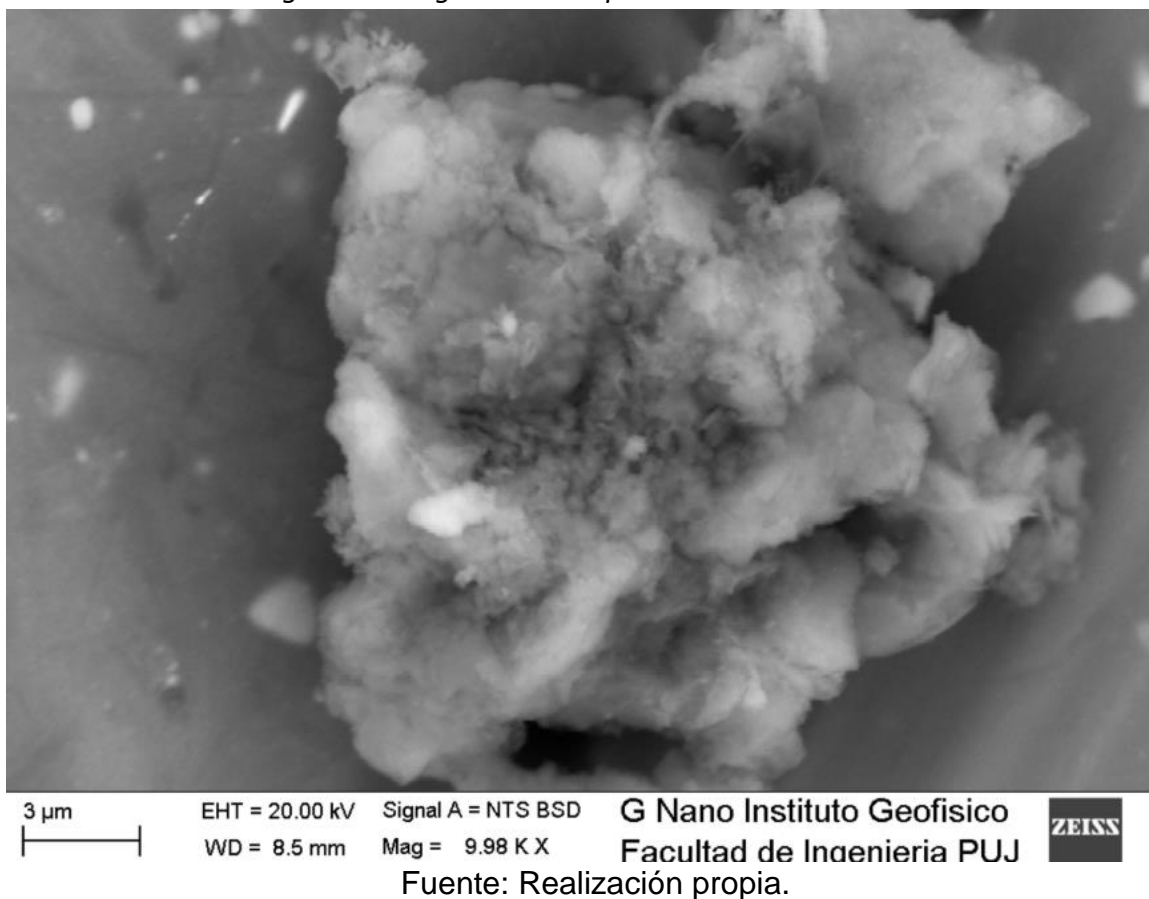
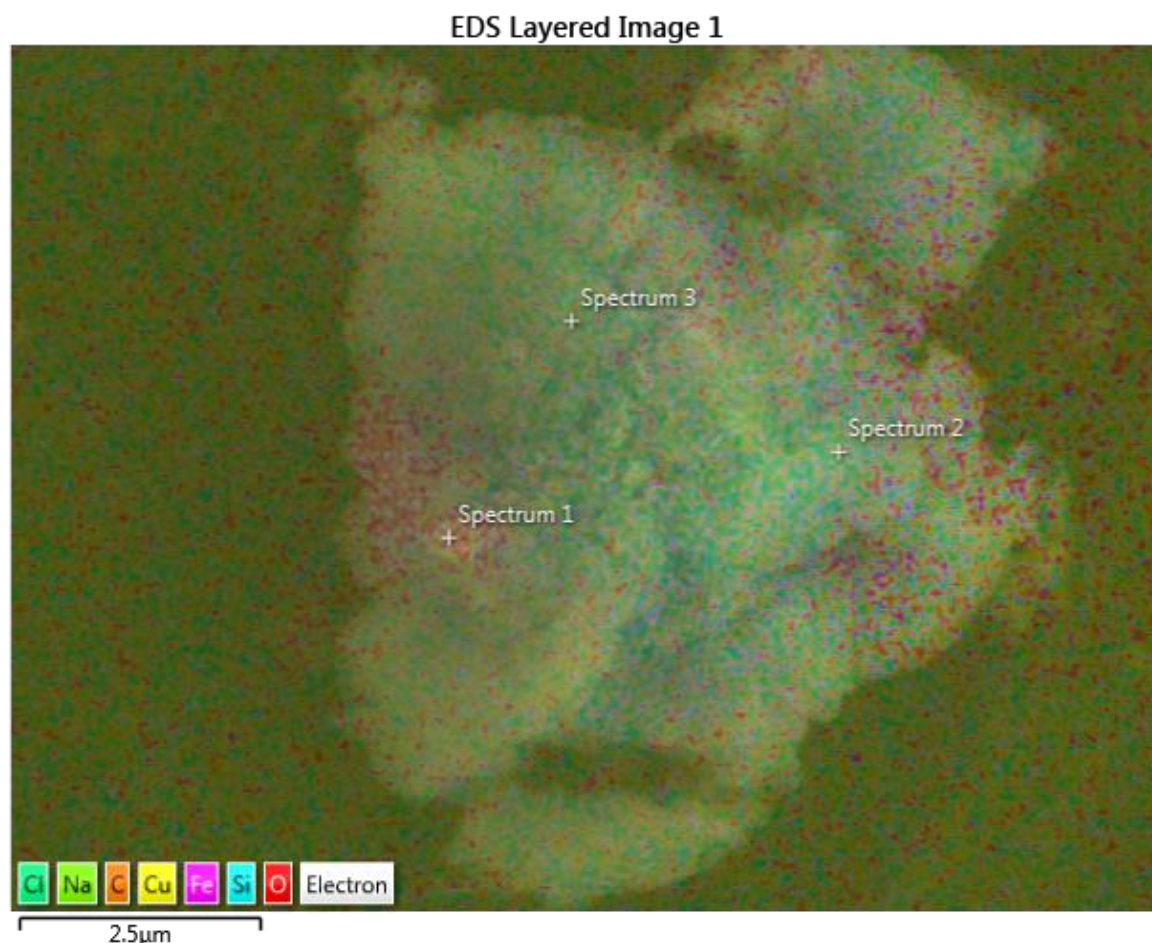


Imagen 28. Nanopartículas en la superficie de la arcilla bentonita.



Fuente: Realización propia.

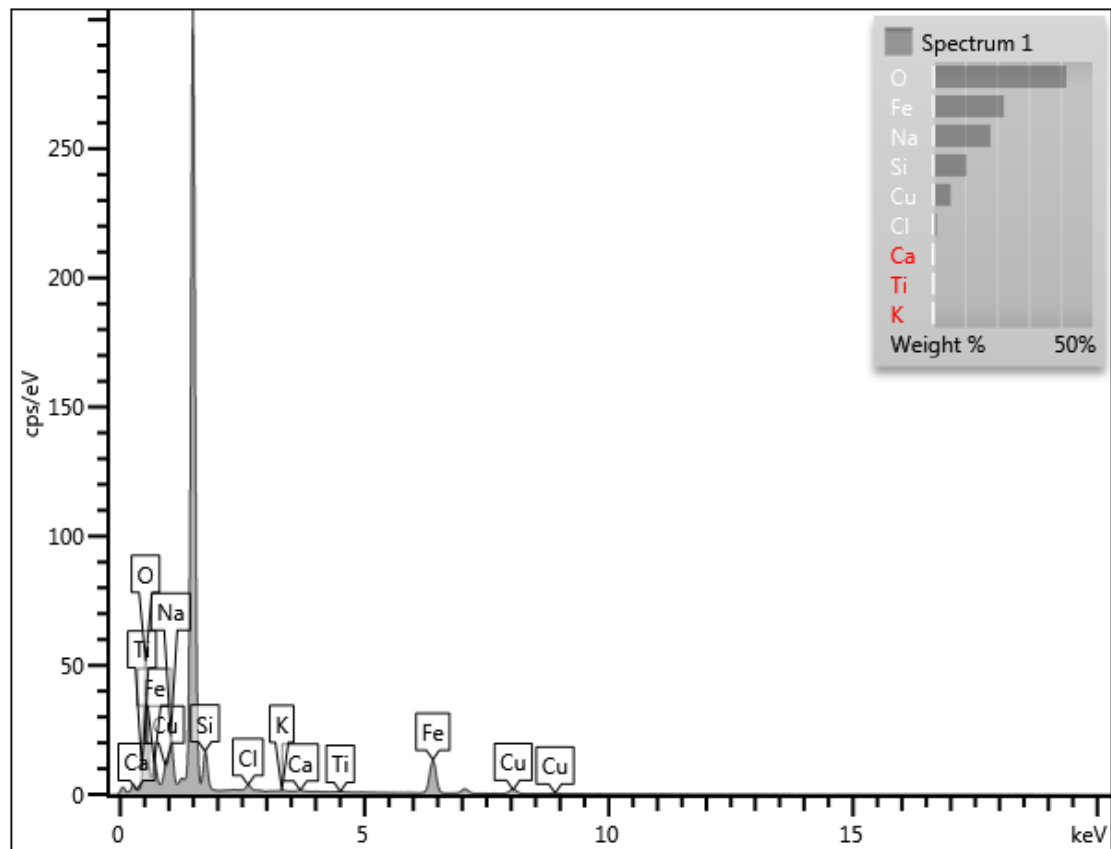
En las imágenes anteriores se puede observar la superficie de la arcilla donde se observa la composición y saber que parte es magnética y que parte es arcilla bentonita, se observa que hay zonas fucsias, es decir, que hay presencia de hierro significando que hay magnetita y también hay zonas azules significando que hay presencia de silicio, es decir, de arcilla bentonita asegurándonos de la existencia de los dos compuestos en las nanopartículas sintetizadas utilizadas para tratamiento terciario en la reutilización del agua.

Las imágenes de los demás elementos que se encuentran en la muestra del nanomaterial, como el Fe, O, S, Al y S se hizo con la detección electrones difractados (EDS) la cual se puede observar en el ANEXO B Ensayo SEM que fue realizada para el detalle claramente del porcentaje elemental de la muestra dando como resultado la verificación del porcentaje de impregnación de la magnetita con la arcilla bentonita.

8.4.2. Espectrometría de dispersión de energía rayos x

Este ensayo fue realizado con el fin de obtener la cantidad en porcentaje de cada uno de los elementos de los que está compuesto el nanomaterial en la siguiente grafica se puede observar el porcentaje de cada elemento encontrado:

Gráfica 1. Porcentaje de elementos



Fuente: Propia.

De acuerdo a la anterior gráfica, se observa que el porcentaje de hierro (Fe) es del 20% y de la sílice (Si) es del 25%, confirmando la presencia de magnetita y arcilla bentonita en el nanomaterial sintetizado como se pudo observar en las imágenes microscópicas obtenidas mediante el ensayo de SEM.

Además, la imagen anterior, demuestra que hay un pico bastante elevado, el cual es de aluminio, esto es debido a que la placa en la cual se apoyaba (soporte) el nanomaterial era de aluminio por lo tanto al hacer el ensayo cuando el rayo chocaba encontraba aluminio, pero no era de la muestra de nanomaterial si no era del soporte de éste.

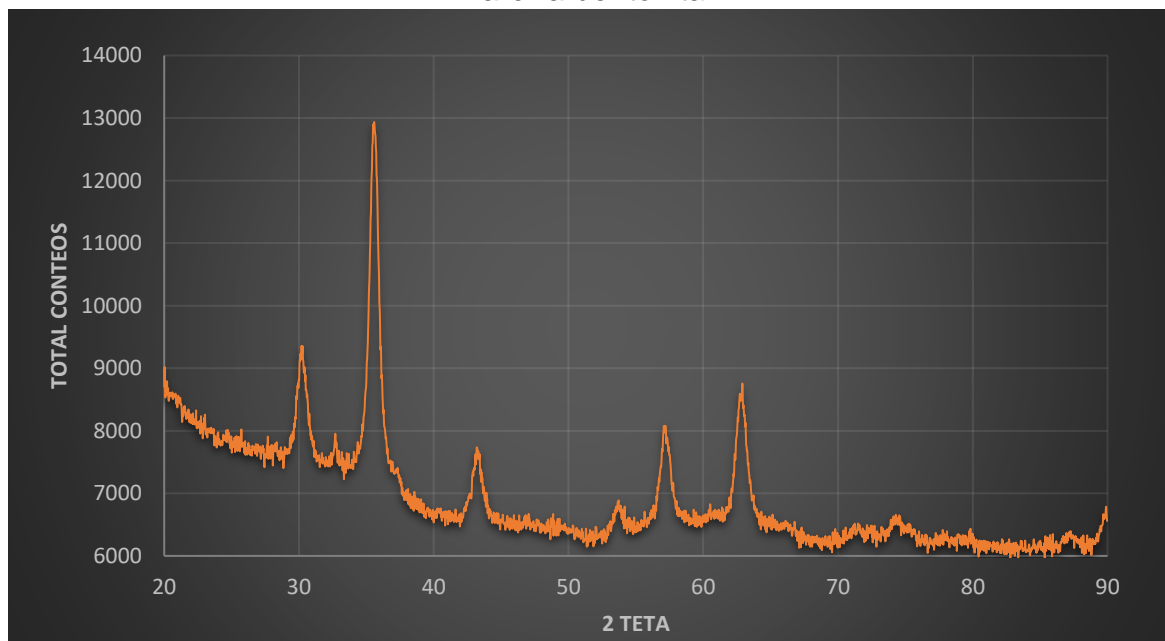
Asimismo, se demuestra que la presencia de picos promedios los cuales está haciendo referencia a las impurezas que contiene la muestra del nanomaterial en este caso los picos más elevados son de Titanio (Ti), Calcio (Ca) y potasio (K).

8.4.3. Difracción de rayos x (XRD)

La caracterización cristalográfica se realizó con el fin de determinar si las nanopartículas estaban adheridas a la arcilla bentonita, es decir, si las nanopartículas que estaban impregnadas en la arcilla bentonita correspondían a las magnéticas.

En la siguiente gráfica se puede observar mediante el difractograma que hubo formación de magnetita, es decir, que las nanopartículas son magnéticas, debido a que corresponden a la estandarizada para el compuesto Fe_3O_4 , es decir que los picos característicos (311) y (422) emitidos a los ángulos de 30 y 35 son característicos de este material, pues se sabe que el patrón de difracción de la magnetita convencional está compuesto de izquierda a derecha por un pico mediano, grande, pequeño y después se observan dos más medianos por lo tanto se formó la magnetita en la arcilla bentonita.

Grafica 2. Patrón de difracción de Rayos X de nanopartículas magnéticas con arcilla bentonita.

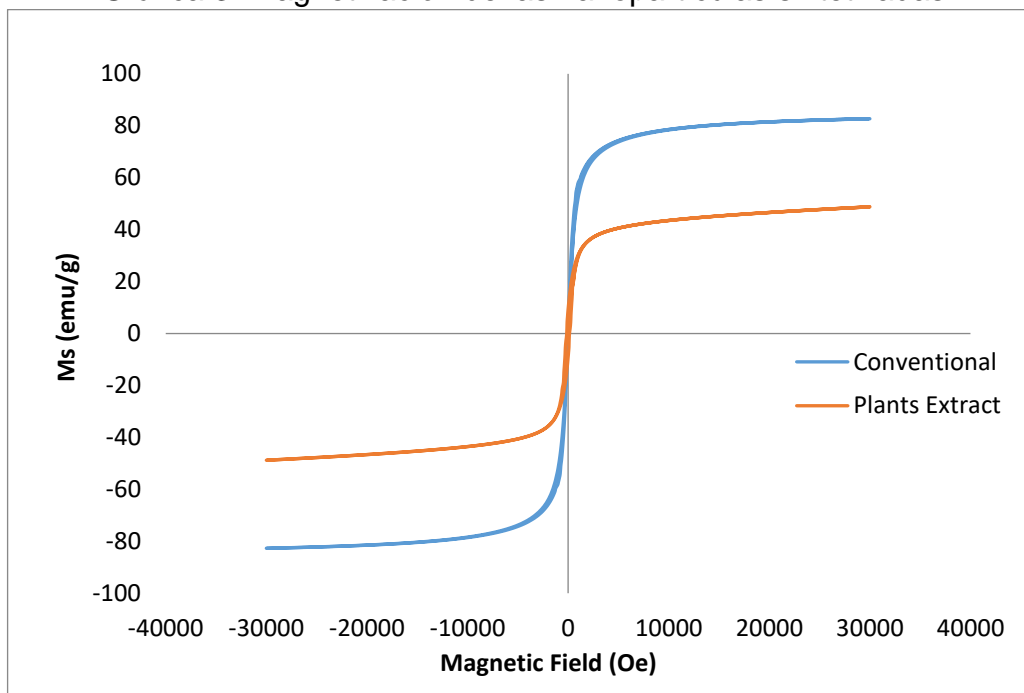


Fuente: Propia.

8.4.4. Propiedades magnéticas.

La curva de saturación magnética de las nanopartículas sintetizadas por medio de una vía verde se presenta en la gráfica 3 donde se puede observar que la magnetización de saturación de las nanopartículas magnéticas llega a su punto y se devuelve a su mismo estado, es decir, el material no mostraba bucles de histéresis magnéticos, y su remanencia y coercitividad eran aproximadamente cero indicando que el nanomaterial obtenido en la síntesis tiene un comportamiento superparamagnético a temperatura ambiente.

Gráfica 3. Magnetización de las nanopartículas sintetizadas

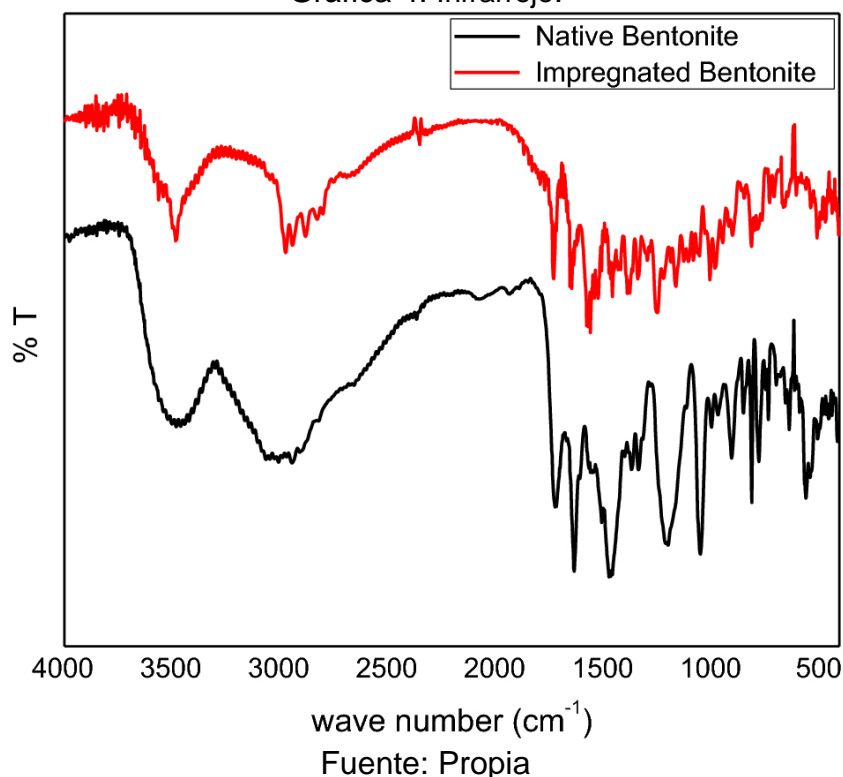


Fuente: Propia

En la gráfica anterior se observa que la línea azul corresponde a la magnetización que tienen las nanopartículas magnéticas convencionales la cual alcanza un valor de 82,67 emu/g el cual es un valor aproximado al teórico que es de 90 emu/g. por otro lado, la línea naranja corresponde a la magnetización de la arcilla bentonita con nanopartículas magnéticas, la cual sufre una reducción a 48,77 emu/g debido a que las nanopartículas como contienen arcilla pues éstas no son magnéticas por ende se observa esta disminución, esto significa que hubo una reducción del 46% al valor teórico de magnetización.

8.4.5. Infrarrojo

Gráfica 4. Infrarrojo.



Los espectros FTIR de bentonita pura e impregnada de nanopartículas se muestran en la Figura. Para la arcilla pura, el pico de absorción característico de las vibraciones de estiramiento de Si-O, Si-O-Al se observa a 555 cm^{-1} . Se observa una banda de absorción característica de la vibración de estiramiento Si-O a 1045 cm^{-1} . Del mismo modo, el pico de absorción característico a 900 cm^{-1} se debe a la vibración de estiramiento de Si-O-Si-O-Al, mientras que el pico a 800 cm^{-1} se debe a la vibración de estiramiento de O-Si-O. La banda a 1631 cm^{-1} resulta de la vibración de estiramiento de Si-O-Si. Un pico fuerte a 1195 cm^{-1} indica la vibración de estiramiento S=O. La banda de absorción entre 3425 y 3620 cm^{-1} se debe a las vibraciones de estiramiento de las moléculas de H₂O presentes dentro de la matriz de la arcilla. El espectro FTIR de bentonita impregnada con nanopartículas magnéticas muestra la banda de absorción característica de Fe-O a 659 cm^{-1} . Debido a las interacciones de Fe₃O₄, las bandas características de Si-O y Si-O-Al se desplazaron de 555 a 503 cm^{-1} . Las dos nuevas bandas aparecieron en 1556 cm^{-1} y 1726 cm^{-1} . Estos grupos son característicos de la capa orgánica de glucosa que fue utilizada para la estabilización de las partículas como también a la adsorción de CO₂ en la atmósfera.

8.5. TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL

8.5.1. Sedimentación primaria y aireación.

Como pretratamiento (Sedimentación) y tratamiento primario (Aireación) el agua de manera experimental se dejó decantar por 24 horas y posterior a eso se aireó con una bomba usada para peceras por 8 horas, de lo anterior y haciendo la caracterización de parámetros en las respectivas asignaciones de laboratorios al día siguiente de recoger la muestra se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 11. Parámetros obtenidos después de la sedimentación y la aireación.

PARAMETROS SEDIMENTACION – AIREACION	
pH	3,65
Conductividad (ms/cm)	159
T °C	17,3
TDS (mg/l)	83,4
Turbiedad (NTU)	33,6

Fuente: Realización Propia.

A continuación, se muestran dos imágenes del proceso realizado en estos tratamientos

Imagen 29. Sedimentación de la muestra de agua



Fuente: Autores.

Imagen 30. Aireación de la muestra de agua



Fuente: Autores.

Para separar el líquido de los residuos en una mezcla heterogénea, se observó que al dejar reposar el sólido en virtud de la acción de la gravedad se hundió hasta el fondo y el agua o la sustancia líquida fue mantenida en la superficie en función de su densidad y diámetro (sobrenadante).

A partir de los resultados obtenidos durante la sedimentación para la separación de los componentes de la mezcla, se pudo observar que el método usado fue el adecuado, debido a que funciona para el caso de impurezas de tipo soluble y que el tiempo que se dejó sedimentando fue el suficiente para separar el líquido de los residuos de guayaba.

En cuanto a la aireación, la muestra de agua al entrar en contacto con la bomba ayuda a oxidar lo que haya quedado de materia orgánica. Por otro lado, la aireación en la muestra de agua proveniente de la fábrica bocadillos redujo un 20% de materia orgánica para proseguir a someter el agua a un tratamiento primario (coagulación).

A continuación, se muestra una imagen del agua obtenida después de los tratamientos implementados.

Imagen 31. Agua residual después de sedimentación y aeración



Fuente: Autores.

Antes de realizar el siguiente proceso de test de jarras, se hizo la adición de hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) para el aumento del pH entre 8-9, debido a que en este rango se obtiene una mayor efectividad en el proceso.

Imagen 32. Color subiendo el pH.



Fuente: Autores.

Imagen 33. Adición de NaOH.



Fuente: Autores.

Para saber la dosis que se agregó de hidróxido de sodio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para subir el pH de 3,65 (datos iniciales) a 8,7 (dato para el test de jarras) se realizó lo siguiente:

Con un $\text{pH} = 3,65$ que era el inicial, se tiene que $\text{pOH} = 14 - 3,65 = 10,35$ y un $\text{OH} = 10^{-10,35}$ y con un $\text{pH} = 8,7$ el cual fue el que se obtuvo cuando se le hizo la adición de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se tiene que $\text{pOH} = 14 - 8,7 = 5,3$ y un $\text{OH} = 10^{-5,3}$, por lo tanto para tener un OH total de lo que se adicionó se resta lo siguiente:

$$\text{OH} = 10^{-5,3} - 10^{-10,35} = 5,012 \cdot 10^{-6} \text{ M OH}$$

Después de subido el pH se midieron los parámetros dando como resultado lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Ca} &= 40 \text{ g} \\ \text{O} &= 16 \text{ g} \cdot 2 = 32 \text{ g} \\ \text{H} &= 1 \text{ g} \cdot 2 = 2 \text{ g} \end{aligned}$$

Teniendo un total de peso molecular de $\text{Ca}(\text{OH})_2 = 74 \text{ gramos}$

$$\begin{aligned} 5,012 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \text{ OH} &\cdot \frac{1 \text{ mol } \text{CaOH}_2}{2 \text{ mol OH}} \cdot \frac{74 \text{ gr } \text{CaOH}_2}{1 \text{ mol } \text{CaOH}_2} = 1,854 \cdot 10^{-4} \frac{\text{g } \text{CaOH}_2}{\text{L}} \\ 1,804 \cdot 10^{-4} \frac{\text{g } \text{CaOH}_2}{\text{L}} &\cdot \frac{1000 \text{ mg } \text{CaOH}_2}{\text{g } \text{CaOH}_2} = 0,1854 \frac{\text{mg } \text{CaOH}_2}{\text{L}} \end{aligned}$$

Por lo tanto, se tiene que la dosis adicionada de CaOH_2 en este laboratorio fue de 0,1854 mg/L para obtener un pH de 8.7.

Tabla 12. Parámetros obtenidos después de subir el pH.

pH	8,7
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	138,2
Temperatura $^{\circ}\text{C}$	17
Sólidos disueltos totales (mg/L)	73,4
Turbiedad (NTU)	38

Fuente: Realización Propia.

- **Alcalinidad:** Cuando se tuvo el agua con un pH de 8,7 se hizo la alcalinidad para saber la alcalinidad que se consumía después del tratamiento del test de jarras, no se realizó con la muestra inicial debido a que se obtenía una alcalinidad de 0 debido a que el agua era ácida, por lo tanto, se realizó lo siguiente:

En la práctica de laboratorio para determinar la alcalinidad se tomaron 100 ml de la muestra de agua para la titulación con el indicador de Naranja de Metileno y para pasar el pH obtenido a 4.5 de titulante ácido nítrico con una normalidad de 0.02.

Tabla 13. Datos obtenidos titulación.

Volumen Ácido Nítrico (ml)
16,5
16,3
16,6
PROM= 16,5

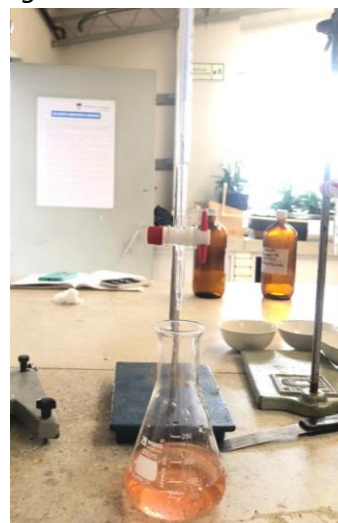
Realización propia.

Imagen 34. Adición de indicador.



Fuente: Autores.

Imagen 35. Adición de titulante.



Fuente: Autores.

$$\text{Alcalinidad} \frac{\text{mg CaCO}_3}{L} = \frac{(A * N * 50000)}{\text{ml muestra}}$$

$$\text{Alcalinidad} \frac{\text{mg CaCO}_3}{L} = \frac{(A * 0.02 N * 50000)}{100 \text{ ml}}$$

$$\text{Alcalinidad} \frac{\text{mg CaCO}_3}{L} = 10 * A$$

Donde A = Volumen de H₂SO₄ gastado en la titulacion

$$\text{Alcalinidad} \frac{\text{mg CaCO}_3}{L} = 10 * 16.5 = 165 \frac{\text{mg CaCO}_3}{L}$$

Según el decreto 475/98 el valor máximo de la alcalinidad debe ser de 100 mg/l, sin embargo, en otros textos (guía laboratorio) expresa intervalos admisibles más amplios 35mg/l a 250 mg/l rango en el cual, si cumpliría, también se sabe que con una alcalinidad alta se tienen problemas como el difícil ajuste del pH, un agua turbia y pH altos por lo tanto es bastante importante debido a que su índice de estabilidad está en el carbonato de calcio.

8.5.2. Test de jarras

Con éste laboratorio se hizo la simulación del Coagulación, Floculación y Sedimentación (C-F-S) en el cual se llevó a cabo una serie de pasos donde se hicieron dos ensayos de test de jarras usando el coagulante de sulfato de aluminio tipo II, uno de los ensayos fue realizado con diferente volumen de coagulante y el otro con la coagulación escogida que funciona en el primero, a continuación, se explicará los pasos realizados en cada ensayo.

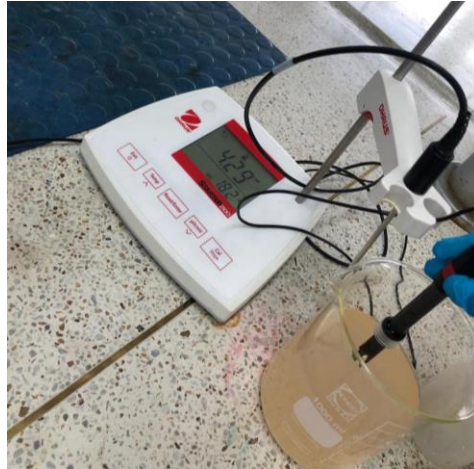
Imagen 36. Sulfato de aluminio tipo II



Fuente: Autores.

Paso 1: Se determinó la turbiedad, pH, conductividad y solidos disueltos totales de la muestra de agua.

Imagen 37. Medición de parámetros.



Fuente: Autores.

Paso 2: Se depositó la muestra de agua analizada en 6 Beaker de la misma capacidad, en este caso 800 ml, para colocarlos en el equipo de test de jarras y poder introducir las paletas de agitación.

Imagen 38. Recipientes con muestras de aguas.



Fuente: Autores.

Paso 3: Preparar el coagulante a usar en la coagulación con la cantidad y concentración necesaria para tenerlo listo, en este caso 0,08 gr de sulfato de aluminio tipo II, en 1000 ml de agua destilada, con volúmenes de adición de 20 ml, 50 ml, 80 ml, 110 ml, 130 ml y 150 ml de coagulante.

Paso 4: Los recipientes con las muestras de agua se colocaron debajo de las paletas adicionando las cantidades del coagulante en cada recipiente respectivo el cual se hizo la mezcla durante 18 segundos con una velocidad de 100 rpm.

Imagen 39. Adición de coagulantes.



Fuente: Autores.

Paso 5: Una vez pasados los 18 segundos se disminuye la velocidad de rotación de las paletas a 20 rpm y se deja flocular la muestra de agua durante 20 minutos.

Imagen 40. Floculación



Fuente: Autores.

Paso 6: Se suspendió la agitación y se extrajo las paletas dejando reposar el agua durante 20 minutos escogiendo el de mejor calidad para medir de nuevo la turbiedad, pH, conductividad y Solidos disueltos totales.

Imagen 41. Medidas de parámetros luego de terminada la floculación.



Fuente: Autores.

Visualizando la función del sulfato de aluminio tipo II como coagulante, se obtiene que el que tenía concentración de 80 mg/L con una dosificación de 130 ml de éste, formó los flóculos de mejor manera escogiendo ésta siendo a simple vista de menor turbiedad, para la medición de los demás parámetros, debido a que los coágulos formados en el proceso ya se habían sedimentado lo cual significaba que el agua estaba más transparente es decir sin presencia de partículas en suspensión, por ende esa dosificación es la más adecuada para el proceso.

Se midió la turbiedad de los 6 recipientes obteniendo dando lo siguientes resultados:

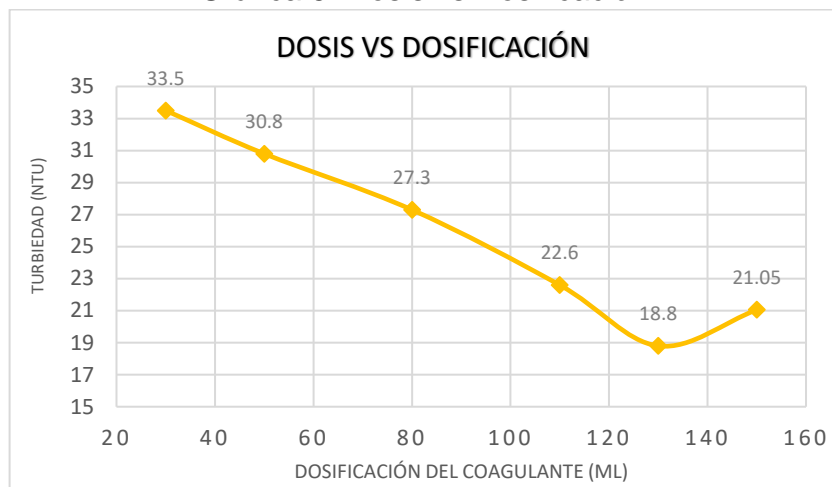
Tabla 14. Turbiedad de cada dosificación de coagulante.

(Turbiedad NTU)	Dosificación del coagulante (ml)
30	30
28	50
25	80
22	110
18,8	130
20	150

Fuente: Realización propia.

Representando lo anterior en la siguiente gráfica:

Gráfica 5. Dosis vs Dosificación.



Fuente: Realización propia.

De lo anterior se puede visualizar fácilmente que la dosificación de 130 ml de coagulante fue la que dio con una menor turbidez dando un resultado de 18.8 NTU.

Se realizó una gráfica sobre el porcentaje de reducción de la turbiedad obtenido con cada una de las dosificaciones usadas y para esto el porcentaje de reducción de la turbiedad se realizó con la siguiente formula:

$$\frac{|T_{final} - T_{inicial}|}{T_{inicial}} * 100 = \% \text{ de reducción}$$

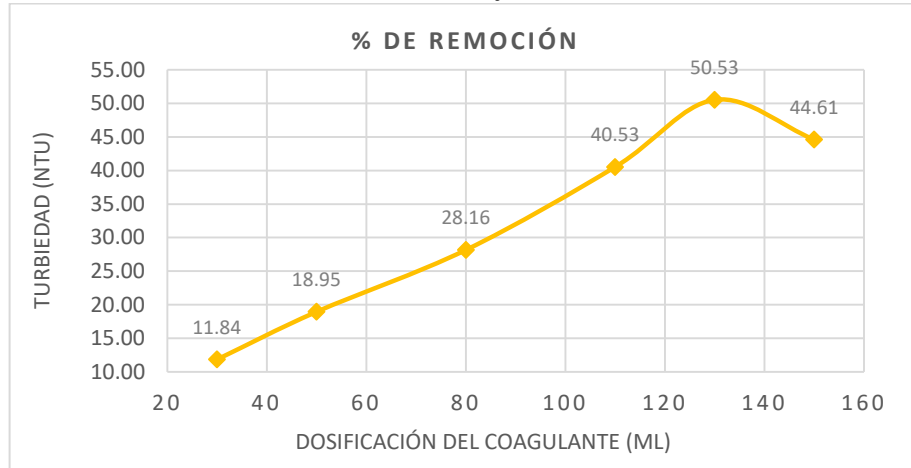
$$\frac{|38 \text{ NTU} - 18.8 \text{ NTU}|}{38 \text{ NTU}} * 100 = 50,53\%$$

Tabla 15. Porcentaje de reducción de la turbiedad.

Dosificación del coagulante (ml)	% de reducción
30	11.84
50	18.95
80	28.16
110	40.53
130	50.53
150	44.61

Fuente: Realización propia.

Gráfica 6. Porcentaje de remoción.



Fuente: Realización propia.

Con el gráfico anterior se puede analizar que, con el ensayo de jarras realizado, los máximos porcentajes de remoción de turbiedad alcanzados están entre 50% y 51% con una dosis de coagulante de 130 ml.

De acuerdo con el EPA y con el rango que se manifiesta allí (turbiedad <2) en una fuente aceptable, ninguno de los datos obtenidos de la turbiedad en la práctica de laboratorio de la muestra de agua cumplen con lo establecido en la norma, ya que el valor mínimo obtenido es de 18,8 NTU por lo tanto se proceden a realizar más laboratorios para la reducción de estos parámetros y dar cumplimiento a la normativa.

Dado a lo anterior como se obtuvo mejor resultado con 130 ml de dosificación de coagulante se decidió realizar el mismo procedimiento pero que cada uno de los recipientes tuviera la misma dosificación de 130 ml de coagulante para la continuar con los siguientes tratamientos correspondientes.

Tabla 16. Condiciones de la muestra después del test de jarras.

CONDICIONES DE LA MUESTRA		
PARAMETRO	UND	DATO
Turbiedad	NTU	18,8
PH	-	7,07
Temperatura	°C	18,5
Conductividad	µs/cm	142,9
TDS	mg/L	76,5

Fuente: Realización propia.

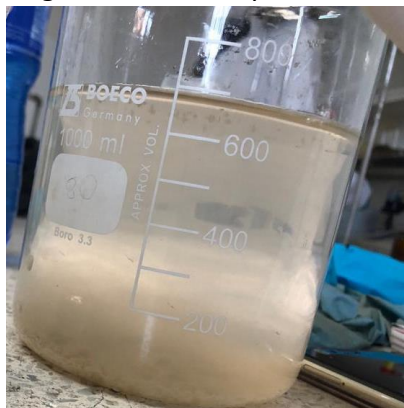
Para la muestra de agua residual algunos de los parámetros fisicoquímicos disminuyeron, como los valores de turbiedad y pH, aunque el valor de turbiedad haya disminuido no es un valor aceptable para que el agua sea segura o cumpla el

valor permitido en la EPA, por el contrario, el valor de la conductividad y sólidos disueltos aumentaron, pero siguen cumpliendo con los valores máximos admisibles expresados en la Resolución 1207 de 2014. Por otro lado, según el Decreto 475 de 1998 el valor de sólidos totales es aceptable.

El método de test de jarras es de fácil uso debido a que se puede utilizar cuando se requiera determinar la dosis óptima de coagulantes en plantas de tratamiento en la vida real ya que de esta manera no se desperdicia el coagulante.

A continuación, se muestra una imagen del agua obtenida después de los tratamientos implementados.

Imagen 41. Agua residual después del test de jarras.



Fuente: Autores.

-Alcalinidad: Se volvió a medir la alcalinidad luego de hacer el proceso del test de jarras donde se tomaron 100 ml de la muestra de agua proveniente del test de jarras para la titulación con el indicador Naranja de Metileno la normalidad del titulante ácido nítrico fue de 0.02 N.

De los datos obtenidos de la titulación se tiene:

Tabla 17. Volumen de ácido nítrico.	
	Vol. Ácido nítrico (ml)
	2,4
	2,38
	2,45
PROMEDIO	2,41

Fuente: Realización propia.

Finalmente, para determinar la alcalinidad consumida se usó la siguiente expresión:

$$\text{Alcalinidad Consumida} \frac{\text{mg CaCO}_3}{L} = \frac{(A * N * 50000)}{\text{ml muestra}}$$

Entonces:

$$\text{Alcalinidad Consumida} \frac{\text{mg CaCO}_3}{L} = \frac{(2,41 * 0.02 N * 50000)}{100 \text{ ml}}$$

$$\text{Alcalinidad Consumida} = 24,1 \frac{\text{mg}}{L}$$

Según el decreto 475/98 el valor máximo de la alcalinidad debe ser de 100 mg/l, lo que se deduce de lo obtenido la alcalinidad consumida después del test de jarras estaría en el rango establecido. De acuerdo a la alcalinidad inicial con el dato obtenido de alcalinidad consumida se analiza que el test de jarras consume alcalinidad debido a que la cantidad de coagulante usado fue alto, es decir, que cuando la alcalinidad del agua es alta la cantidad de coagulante requerido es menor que cuando la alcalinidad es baja.

8.5.3. Nano-arcillas modificadas magnéticamente

Para el desarrollo de este tratamiento se usó la misma maquina usada para el test de jarras debido a que en el diseño conceptual de éste se hará la implementación de un reactor batch por lo tanto hace la misma simulación y cumplen la misma función.

Luego, el agua proveniente de la sedimentación fue llevada a 3 beaker llenándolos con 400 ml de agua tratada, añadiéndoles a cada uno un peso de 0,08 gr de nano-arcilla magnética debido a que se usó una relación de 200 mg nano/ L como se muestra a continuación:

$$200 \frac{\text{mg nanoarcilla}}{L} * \frac{1 \text{ gr}}{1000 \text{ mg}} * \frac{1 L}{1000 \text{ ml}} = 0,000200 \frac{\text{g nanoarcilla}}{l}$$

Por lo tanto, si se sabe que 0,000200 gramos de nano-arcilla se agrega en 1 ml de agua, para 400 ml de agua cuanto de arcilla se necesita:

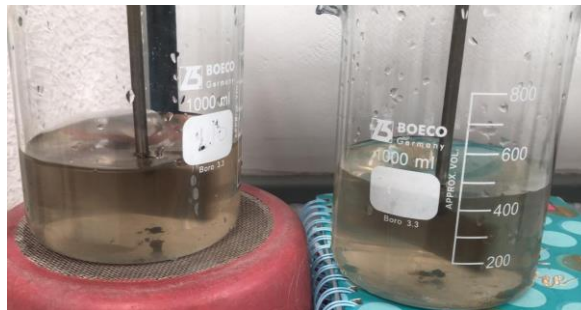
$$C_a = \frac{400 \text{ ml} * 0,000200 \text{ g}}{1 \text{ ml}} = 0,08 \text{ g de nanoarcilla}$$

Imagen 43. Nano-arcilla.



Fuente: Autores.

Imagen 44. Adición de la nano-arcilla.



Fuente: Autores.

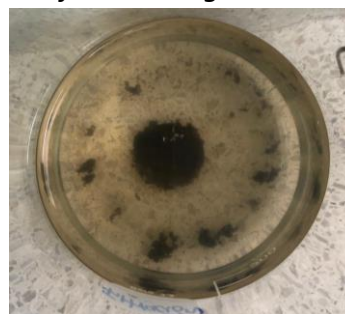
En seguida de la adición de la nano-arcilla, se agitó durante un tiempo de 30 minutos a una velocidad de 100 rpm y después se puso un imán de neodimio durante 1 hora para que las nanopartículas con arcilla modificada bajaran quedando de la siguiente forma:

Imagen 45. Imán de neodimio.



Fuente: Autores.

Imagen 46. Nanopartículas con arcilla modificada en agua residual.



Fuente: Autores.

Imagen 47. Nanopartículas con arcilla modificada en agua residual.



Fuente: Autores.

Luego de pasado la hora hicimos la respectiva medición de parámetros obteniendo lo siguiente:

Tabla 18. Condiciones de la muestra después del de las nano-arcillas.

pH	6,68
Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	227
Temperatura °C	17,5
TDS (mg/L)	121
Turbiedad (NTU)	16,6

Fuente: Realización propia.

Después de este procedimiento se decidió hacer la medición de hierro y aluminio con el espectrofotómetro, para comprobar la remoción de los metales, después del desarrollo del laboratorio se obtuvo lo siguiente:

Imagen 48. Medición de aluminio.



Fuente: Autores.

Imagen 49. Medición del hierro.



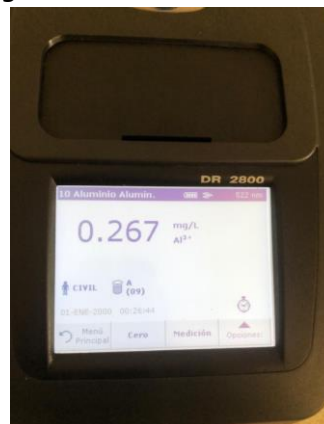
Fuente: Autores.

Imagen 50. Medición del hierro.



Fuente: Autores.

Imagen 51. Medición de aluminio.



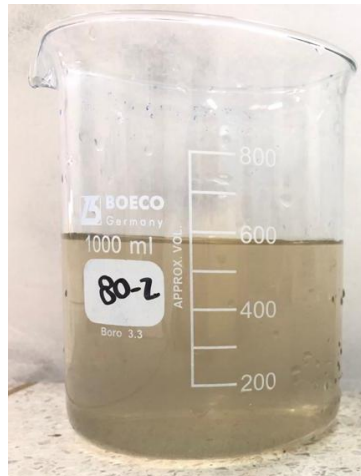
Fuente: Autores.

Con los resultados anteriores se observa que los metales el hierro y el aluminio tuvieron un aumento y disminución respectivamente en comparación con la inicial, el aumento de hierro se debe a que las nanopartículas de arcilla contienen hierro en su interior y al momento de aplicar el imán el campo magnético no fue el requerido para la remoción de todas las nanopartículas que estuvieron dentro del agua es decir que quedaron algunas partículas suspendidas en ésta y es allí donde se observa el incremento del hierro.

En el aluminio hubo una disminución mínima, pero es allí donde se puede observar y confirmar que las nanopartículas de arcillas que están modificadas magnéticamente tienen capacidades de adsorción para retirar del agua residual los metales.

A continuación, se muestra una imagen del agua obtenida después del tratamiento implementado.

Imagen 52. Agua residual después de la implementación de las nano-arcillas.



Fuente: Autores.

8.5.4. Filtración

Se elaboró un filtro rectangular en acrílico transparente con una altura de 1 m al cual se le adicionaron los siguientes materiales lavados previamente con agua des-ionizada:

-Algodón: Este material es el primero en introducirse en el filtro debido a que no permite que pasen otros residuos a donde se va a almacenar el agua filtrada.

-Grava (10 cm): Este material en el filtro funciona como soporte para el tratamiento de filtración rápido y se pone en la parte superior del algodón. La grava que se uso fue de $\frac{3}{4}$ ".

-Arena de rio (20 cm): La arena que se usó para la filtración fue de término medio y se introdujo después de la grava de soporte.

-Antracita (20 cm): Es el material de tono oscuro que se puede observar en el filtro y se introdujo de últimas siendo el primero en tener contacto con el agua previamente tratada con las nano-partículas magnéticas.

Luego de tener ya elaborado el filtro se vertió la muestra de agua previamente sedimentada en su interior de manera constante logrando conseguir que en la parte inferior del filtro por un desagüe saliera el agua en un envase para ser almacenada y poder ser caracterizada. De lo anterior se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 19. Datos filtración

DATOS FILTRACION	
pH	6,54
Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	246
Temperatura ° C	18,4
Solidos disueltos totales (mg/L)	130
Turbiedad (NTU)	2,2

Fuente: Realización propia.

A continuación, se muestran una serie de imágenes de cómo fue elaborado el filtro y la manera en que fue vertida la muestra de agua:

Imagen 53. Lavado del material.



Fuente: Autores.

Imagen 54. Filtro elaborado.



Fuente: Autores.

Imagen 55. Filtración del agua.



Fuente: Autores.

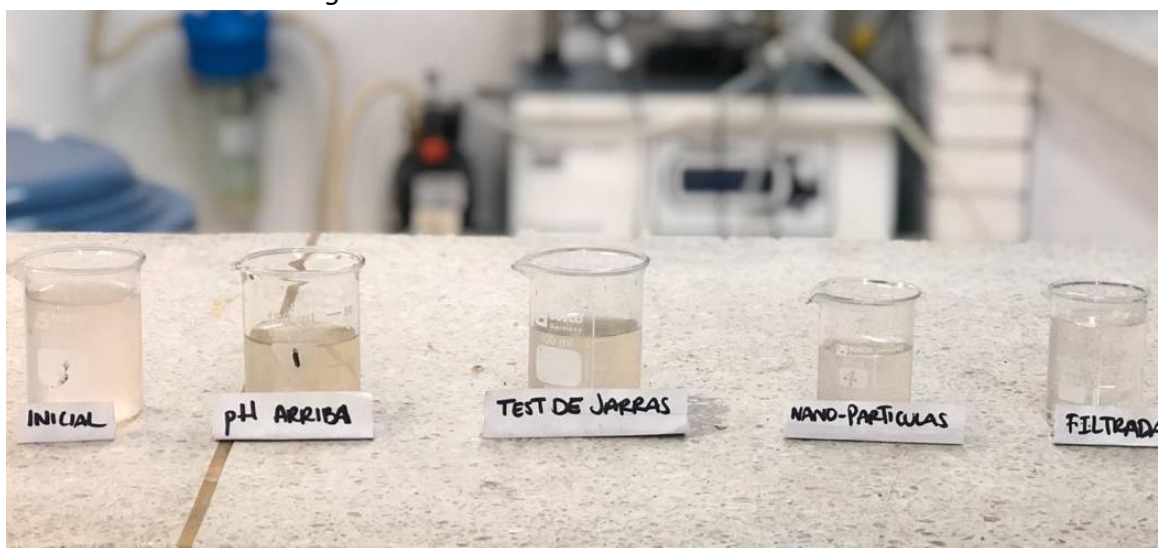
Imagen 56. Agua final después de la filtración



Fuente: Autores.

A continuación, se muestra una imagen y una tabla comparativa de los resultados de turbiedad, pH y conductividad para observar mejor el cambio de la muestra de agua en cada uno de los tratamientos realizados para observar sus características en cada tratamiento.

Imagen 57. Características de cada tratamiento.



Fuente: Autores.

Tabla 20. Tabla comparativa de resultados.

	pH	Turbiedad (NTU)	Conductividad ($\mu\text{m/cm}$)
Inicial	3,65	122	866
Neutralización	8,7	38	138,2
Test de Jarras	7,07	18,8	142,9
Nanopartículas	6,68	17,5	227
Filtración	6,54	2,2	246

Fuente: Realización propia.

Con lo anterior y con los datos obtenidos de la caracterización de la muestra de agua luego de ser filtrada y haber pasado antes por las nano-partículas con una alta turbiedad de 16,6 NTU se tiene que la turbiedad bajo 14 unidades aproximadamente, entonces, se consideró que el proceso de filtración fue un tratamiento optimo ya que después de que el agua pasó a través del filtro esta logro obtener condiciones apropiadas comparadas a la caracterización inicial del agua proveniente de la fábrica de bocadoillos.

En cuanto a la conductividad se tiene que, si el pH está por debajo de 7 en una muestra de agua, ésta contiene presencia de electrolitos y por ende es más conductiva. Se analiza que en la caracterización de la muestra de agua inicial con un pH de 3,65 se tuvo una conductividad alta de $866 \mu\text{S/m}$, al subir el pH a 6,68 luego de implementar las nanopartículas magnéticas la conductividad bajo a $227 \mu\text{S/m}$, esto debido a que aunque el agua siguió siendo acida el pH afecta directamente la conductividad, por otro lado, luego de ser filtrada el agua, el pH no cambio de manera drástica por lo que la conductividad se mantuvo con un valor de $246 \mu\text{S/m}$.

El dato obtenido de solidos totales disueltos (TDS) aumentó del tratamiento de implementación de nano partículas magnéticas al tratamiento de filtración, esto debido a la presencia de una alta concentración de contaminantes como compuestos inorgánicos, metales pesados, hierro, manganeso, entre otros que pueden estar en la muestra de agua. Se tuvieron 121 mg/l y 130 mg/l respectivamente en cada tratamiento, es decir que en la filtración no se eliminaron del todo los rastros de metales pesados removidos previamente con la implementación de nano partículas.

A continuación, se muestra los resultados de la caracterización final de la muestra de agua después del tratamiento realizado:

Tabla 21. Caracterización final del agua tratada.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES	CUMPLIMIENTO DE LA NORMAS
pH	6,54	Unidades de pH	CUMPLE
Conductividad	246	μS/m	CUMPLE
Turbiedad	2,2	NTU	NO CUMPLE
Solidos disueltos	130	mg/l	-
DBO ₅	6,8	mg/L	CUMPLE
DQO	13,6	mg/L	CUMPLE
Nitratos	2,5	mg/L	CUMPLE
Fosfatos	0,98	mg/L	-
Cloruros	0,92	mg/L	CUMPLE
Oxígeno disuelto	2,5	mg/L	-
Nitrógeno total	3,5	mg/L	-
Fósforo total	1,27	mg/L	-
Sulfatos	2,5	mg/L	CUMPLE
Solidos suspendidos totales	95	mg/L	CUMPLE
Hierro	0,58	mg/L	CUMPLE
Aluminio	0,27	mg/L	CUMPLE

Fuente: Realización propia.

Con lo anterior, se observa que la mayoría de los parámetros cumplen con las normas estipuladas para la reutilización en riegos agrícolas donde la DBO₅ y el pH dan cumplimiento al rango especificado en la norma brindada por EPA ya que se encuentran dentro de ≤10 mg/L y 6-9 respectivamente. También se puede observar que la muestra de agua tratada en los valores de Conductividad con un valor máximo permitido de 1500 μS/m, de cloruros con un valor máximo permitido de 300 mg/L, de sulfatos con un valor máximo permitido de 500 mg/L y nitratos con un valor máximo permitido de 5 mg/L son óptimos debido a que se encuentran dentro de los valores aceptables en el Resolución 1207 de 2014.

Por otro lado, los valores de DQO y solidos suspendidos totales también dieron cumplimiento según la Resolución 631 de 2015, ya que se encuentran en el rango permisible para reutilización estipulada en ella de 150 mg/L y 100 m/L respectivamente.

por el contrario, se observa que el valor de turbiedad es el único no da cumplimiento ya que el rango estipulado en la norma brindada por EPA para un riego superficial de cultivos de alimentos para consumo humano que se ingiere crudo, es que debe ser menor o igual a 2 NTU y en este caso da 2,2 NTU pero si el si el agua es utilizada en riego superficial para cultivos de alimento para consumo humano y que se procesan comercialmente, no es necesario un rango mínimo o máximo de turbiedad por lo tanto en este caso cumpliría, por ende, la muestra de agua es segura.

8.6. PRUEBAS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES RESTANTES CON LA ARCILLA MAGNÉTICA

Según el formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA) se determinó las variables correspondientes a la siguiente formula:

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i * I_{ijkt} \right)$$

En la siguiente tabla se resumen las variables que están involucradas en el cálculo del indicador para los casos en los que se emplean 6 variables, la unidad de medida y su respectiva ponderación.

Tabla. 22. Parámetros de interés para la calidad de agua.

Parámetros de interés	Valor	UND	Ponderación (w)
Oxígeno disuelto	68,27	%sat	0.17
SST	95	mg/l	0.17
DQO	13.6	mg/l	0.17
NT/PN	2.700	-	0.17
Conductividad	246	ms/cm	0.17
pH	6.54	-	0.15

Fuente: Propia.

A continuación, se realizarán los respectivos valores de los subíndices (I) de cada parámetro de interés. Ya calculado el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, el valor I_{OD} se calcula con la siguiente fórmula:

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * P_{OD})$$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * 42,017)$$

$$I_{OD} = 1,683$$

La presencia de sólidos en suspensión tiene una relación directa con la turbiedad. El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calcula de la siguiente manera:

$$I_{SST} = 1 - (1 - 0.02 + 0,003 * SST)$$

$$I_{SST} = 1 - (1 - 0.02 + 0,003 * 95)$$

$$I_{SST} = 0,735$$

El subíndice de la demanda química de oxígeno se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Si } DQO \leq 20, \text{ entonces } I_{DQO} = 0,91$$

El subíndice de la conductividad eléctrica $I_{C.E}$ se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 * \log_{10} C.E)}$$

$$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 * \log_{10} 246)}$$

$$I_{C.E.} = 0,1212$$

El subíndice de la conductividad eléctrica I_{pH} se determina de la siguiente manera:

Si $4 \leq pH \leq 7$, entonces:

$$I_{pH} = 0,02628419 * e^{(pH * 0,520025)}$$

$$I_{pH} = 0,02628419 * e^{(6,54 * 0,520025)}$$

$$I_{pH} = 0,788$$

La expresión usada para calcular el subíndice de calidad para NT/PT $I_{NT/PT}$ es:

$$\text{Si } NT/PT \leq 5, \text{ ó } NT/PT > 20, \text{ entonces } I_{NT/PT} = 0,15$$

A continuación, se presenta la tabla resumen de todos los subíndices de cada parámetro de interés y la respectiva sumatoria para determinar la clasificación de la calidad del agua según el valor obtenido del ICA:

Tabla 23. Resumen de datos ICA

Parámetros de interés	Valor	UND	Ponderación (w)	Subíndice (I)	W*I
Oxígeno disuelto	68,277	%sat	0,17	1,683	0,2861
SST	95	mg/l	0,17	0,735	0,125
DQO	13,6	mg/l	0,17	0,91	0,155
NT/PN	2,700	-	0,17	0,15	0,026
Conductividad	246	ms/cm	0,17	0,121	0,0206
pH	6,54	-	0,15	0,788	0,1183
				SUM	0,7301

Fuente: Propia.

De acuerdo al IDEAM, al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y el Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible se tienen las siguientes clasificaciones, entre las cuales el agua proveniente de la fábrica de bocadillos luego de ser tratada esta se clasifica como Aceptable, como se muestra a continuación:

Tabla 24. Calificación ICA.

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0-0.25	Muy mala	Rojo
0.26-0.50	Mala	Naranja
0.51-0.70	Regular	Amarilla
0.71-0.90	Aceptable	Verde
0.91-1	Buena	Azul

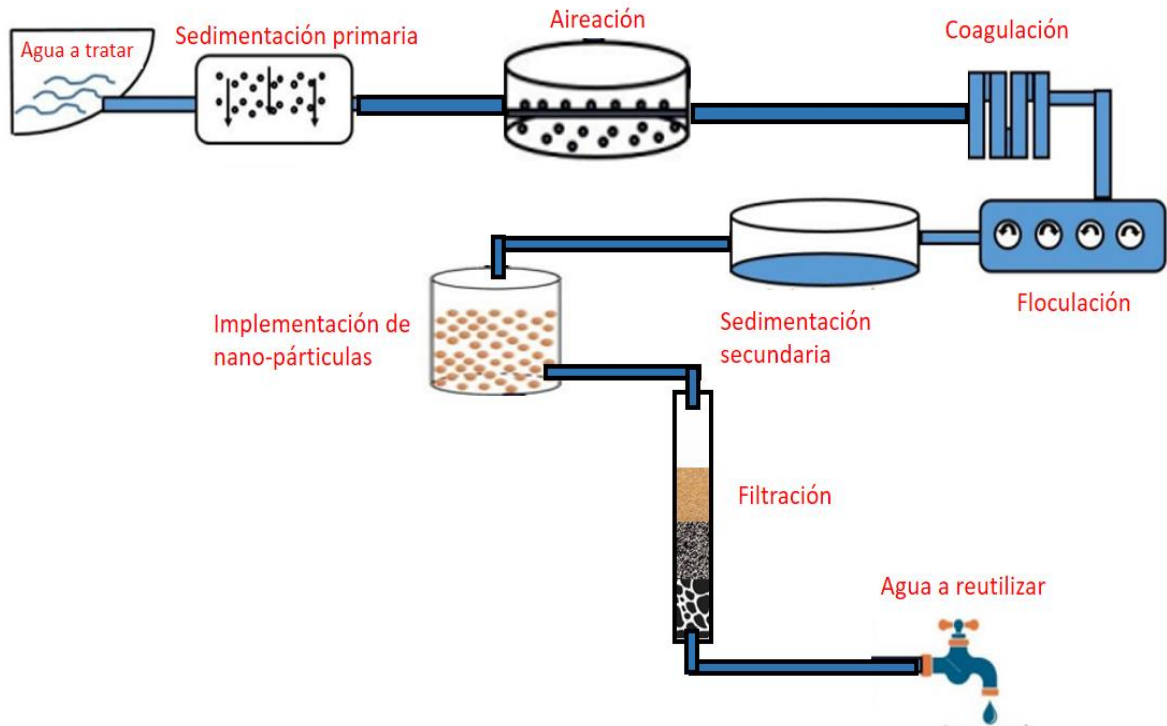
Fuente: (Único y Indicador 2012)

De los resultados anteriores, se puede observar que la calidad de agua para la muestra de agua proveniente de la fábrica de bocadillos tratada previamente, que de acuerdo a los valores otorgados se estima como un valor ACEPTABLE. Según los resultados de índice de calidad de agua del agua se tiene que después de los tratamientos propuestos (sedimentación, aireación, C-F-S, implementación de nano partículas de arcilla magnéticas y filtración) es factible la aplicación ya que se obtuvieron resultados buenos, debido a la reducción de los parámetros que determinan cuando un agua es buena para el riego agrícola, por ende el desarrollo de esta investigación puede ser utilizada e implementada en las industrias de bocadillo para su debida reutilización en riego agrícola debido que no es difícil su desarrollo aprovechando el agua residual proveniente de las fábricas.

8.7. DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

8.7.1. Sistema propuesto

Imagen 58. Sistema propuesto.



Fuente: Realización propia.

8.7.2. Sedimentador primario

El sedimentador seleccionado para este diseño es el llamado sedimentador tipo I debido a que este es usado para las partículas discretas las cuales no fueron floculadas en una sustancia anteriormente que no cambian la forma, el tamaño o el peso a medida que se desarrolla el proceso. (Romero 2002)

Para el diseño se tuvo en cuenta las siguientes velocidades de asentamiento y la cantidad de partículas por velocidad debido a que éstos datos son estándar: (Critten, John C. Trussell, Rhodes. Hand, David. Howe, Kerry. Tchobanoglous 2014)

Tabla 24. Datos iniciales.

Velocidad de asentamiento (m/h)	Velocidad media de asentamiento (m/h)	Número de partículas #/mL
0 - 0.4	0,2	311
0.4 - 0.8	0,4	257
0.8 - 1.2	1	376
1.2 - 1.6	1,4	490
1.6 - 2.0	1,8	570
2.0 - 2.4	2,2	201
2.4 - 2.8	2,6	257
2.8 - 3.2	3	108
3.2 - 3.6	3,4	92
3.6 - 4.0	3,8	82
Total		2744

Fuente: (Critten, John C. Trussell, Rhodes. Hand, David. Howe, Kerry. Tchobanoglous 2014)

Para el dimensionamiento del sedimentador se asumieron los datos de altura, ancho y profundidad de este, teniendo en cuenta que es un sedimentador rectangular, para llegar al porcentaje de remoción que se obtiene en este proceso que debe estar entre el rango de 60%-70%. (Critten, John C. Trussell, Rhodes. Hand, David. Howe, Kerry. Tchobanoglous 2014)

Tabla 25. Dimensionamiento del sedimentador

Dimensionamiento sedimentador	
Profundidad (m)	0,5
Ancho (m)	0,1
Largo (m)	0,25

Fuente: Propia.

Se calculó la velocidad crítica de sedimentación usando la siguiente ecuación:

$$V_c = \frac{Q}{A} \quad \text{donde: } Q = \text{caudal inicial}; A = \text{Area del sedimentador}$$

$$V_c = \frac{0,0483 \frac{m^3}{h}}{0,1 \text{ m} * 0,25 \text{ m}} = 1,93 \frac{m}{h}$$

Ésta velocidad crítica fue usada para hallar la fracción removida por cada una de las velocidad de asentamientos dadas en los datos iniciales con la siguiente ecuación:

$$\text{Fracción removida de partículas} = \frac{\text{Velocidad media de asentamiento } m/h}{\text{Velocidad critica}}$$

Teniendo como resultado en la primera velocidad:

$$\text{Fracción removida} = \frac{0,2 \frac{m}{h}}{1,93 \frac{m}{h}} = 0,1034$$

Para observar el resto de resultados ir a la tabla x y ver la columna 4 y se debe tener en cuenta que para los datos de la fracción removida llegase a ser mayor a 1, se debe usar el valor de 1.

En la estimación del número de partículas que se removeran y estaran en cada rango de velocidad, fue determinada de la siguiente manera:

$$\# \text{ de partículas removidas} = \# \text{ de partículas} * \text{fracción de partículas removidas}.$$

Teniendo como resultado en la primera velocidad:

$$\# \text{ de partículas removidas} = 311 * 0,1034 = 32,17.$$

Para observar el resto de resultados ir a la tabla x y ver la columna 5 y por ultimo ya con todos los datos de esta columna calculado se hace una sumatoria dando un total de 1905,4 #/mL

Tabla 26. Resultados.

Velocidad de asentamiento (m/h)	Velocidad media de asentamiento (m/h)	Número de partículas #/mL	Fracción de partículas removidas	Número de partículas removidas #/mL
0 - 0.4	0,2	311	0,1034	32,17241379
0.4 - 0.8	0,4	257	0,2069	53,17241379
0.8 - 1.2	1	376	0,5172	194,4827586
1.2 - 1.6	1,4	490	0,7241	354,8275862
1.6 - 2.0	1,8	570	0,9310	530,6896552
2.0 - 2.4	2,2	201	1,0000	201
2.4 - 2.8	2,6	257	1,0000	257
2.8 - 3.2	3	108	1,0000	108
3.2 - 3.6	3,4	92	1,0000	92
3.6 - 4.0	3,8	82	1,0000	82
Total		2744		1905,344828

Fuente: Propia

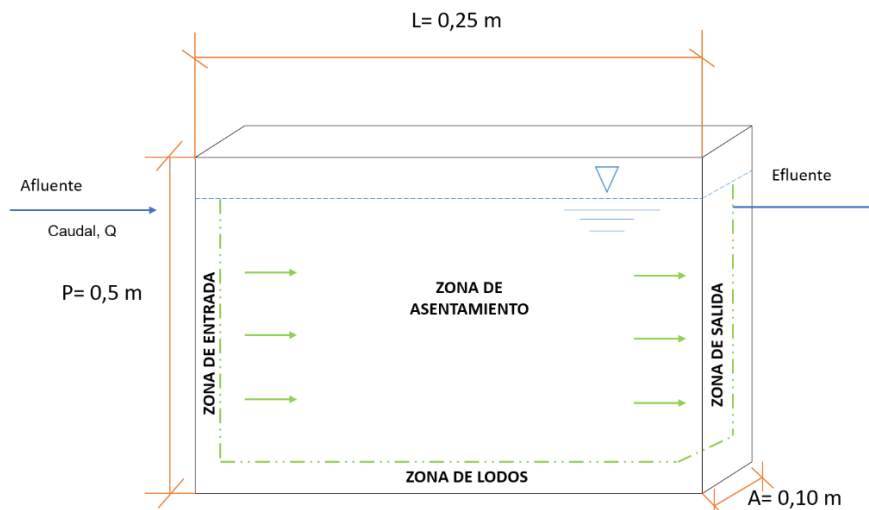
Y por ultimo se hizo el calculo de la eficiencia general de eliminación de partículas con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{1905,35 \text{ \#/ml}}{2744 \text{ \#/ml}} * 100 = 69,44\%$$

Como el porcentaje se encuentra dentro del rango de 60%-70% se sabe que el dimensionamiento seleccionado sirve y se puede usar para el debido diseño del sedimentador.

Por lo tanto se muestra a continuación una ilustración del dimensionamiento del diseño del sedimentador.

Imagen 59. Dimensiones del sedimentador primario



Fuente: Propia

8.7.3. Aireación (Romero 2002)

Se determinó que para la operación de aireación se hace por medio de un aireador de bandeja múltiple.

Tabla 27. Parámetros de Diseño: Aireador de bandejas

Criterio	# bandejas n	Separación bandejas, h (m)	Lecho contacto		Perforaciones		CH (m3/m2*d)
			altura (m)	Ø (cm)	Ø (pul)	Sep. (cm)	
Asce-Awwa-CSSE	3-sep	0.30-0.75	-	-	-	-	550-1800
Insfopal-Awwa	3-may	0.30-0.75	0.20-0.30	5.0-15.5	3/16"- 1/4"	2.5	300-900
Azevedo Netto	4	0.40-0.60	-	-	-	-	300-900
RAS 2000	3-may	0.30-0.75	0.15-0.30	5.0-15.5	-	-	<100
Otros	>3	<0.30	0.15-0.30	4.0-15.0	3/16"- 1/2"	2.5-7.5	-

Fuente: (Romero 2002)

El aireador de bandeja múltiple contiene una serie de bandejas las cuales cuentan con ranuras en su fondo permitiendo el paso del agua, con una caída libre produciendo un tiempo para que el agua entre en contacto con el aire. (Romero 2002)

Como inicio de éste diseño el caudal usado es el que corresponde al caudal inicial de 1,16 m³/día. Se estableció la separación o espaciamiento entre bandejas de 0,30 m cumpliendo con las normas de diseño establecidas en la tabla anterior.

El agua a tratar se encuentra almacenada en un tanque subterráneo lo cual quiere decir que no ésta expuesta a gases que puedan contaminarla de manera significativa comprobándolo en la medida obtenida en la caracterización inicial de 2.5 mg/L.

La carga superficial según lo estipulado en el RAS 2000, debe ser menor a 100.

$$CH < 100 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{día})$$

En este caso se asumió una carga superficial de 15 m³/ (m²*día) por lo tanto se determinó el área total de las bandejas obteniendo lo siguiente:

$$A_t = \frac{Qm}{CH} = \frac{1,16 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{15 \frac{\text{m}^3}{(\text{m}^2 * \text{día})}} = 0,08 \text{ m}^2$$

Este resultado cumple con lo dicho en el libro de potabilización de agua de Jairo Romero en la pág. 35 que dice que el área total de las bandejas debe estar entre el rango de 0,05 – 0,15 m²

Con el dato obtenido anteriormente del área total de las bandejas se determinó el número de bandejas a utilizar pues en el RAS 2000, se establece que debe estar entre el rango de 3 a 5, cumpliendo así la normativa y facilitando su construcción decidiendo utilizar un total de 3 bandejas y el canal de fondo de recolección, ya con este dato se puede obtener el área de cada bandeja de la siguiente forma:

$$A_b = \frac{A_t}{n} = \frac{0.08 \text{ m}^2}{3} = 0.03 \text{ m}^2$$

Donde: n= número total de bandejas

Las bandejas serán cuadradas, determinando así la longitud de cada lado sacando la raíz cuadrada del area obtenida en cada bandeja.

$$L_b = \sqrt{A_b} = \sqrt{0.03 \text{ m}^2} = 0,16 \text{ m}^2$$

Aproximando este dato a 0,2 m² y por lo tanto con éste se verificó la carga hidráulica para el cumplimiento de la norma RAS 2000.

$$A_b = L_b * L_b$$

$$A_b = 0,2 \text{ m}^2 * 0,2 \text{ m}^2 = 0,04 \text{ m}^2$$

$$A_t = A_b * n$$

$$A_t = 0,04 \text{ m}^2 * 3 = 0,12 \text{ m}^2$$

$$CH = \frac{Qm}{A_b} = \frac{0,00001343 \text{ m}^3/s}{0,12 \text{ m}^2} = 29 \frac{\text{m}^3}{(\text{m}^2 * \text{día})}$$

La carga hidráulica dio menor a 100, por lo tanto, cumple la condición dada en la norma RAS 2000.

El cálculo del tiempo de exposición se realizó por medio de la ecuación de Caída Libre la cual se muestra a continuación:

$$t = n \sqrt{\frac{2 * h}{g}}$$

Dónde: h= espaciamiento entre bandejas

$$t = 3 \sqrt{\frac{2 * 0,30 \text{ m}}{9,81 \text{ m/s}^2}} = 0,742 \text{ seg}$$

Se continuó con el diseño de los orificios por donde pasara el agua, por lo tanto para obtener la cantidad de orificios que debe haber por bandeja, se asumió un diámetro de 6 mm ya que el rango según se establece en la norma es de 5 a 6 mm y la separación entre estos orificios debe ser de 2,5 cm según se establece en el libro de potabilización de agua de Jairo Romero en la pág. 37. (Rodriguez Saddys 2007)

Tomando una medida de 2 cm de borde libre, la distribución y la cantidad de orificios por fila seria de 6 agujeros y 6 filas, dando un total de 36 agujeros.

Se determinó la velocidad de descarga del agua por los orificios de las bandejas de

la siguiente forma:

$$A_0 = n * \frac{\pi}{4} \phi^2$$

$$A_0 = 3 * \frac{\pi}{4} 0,06^2 = 0,0085 \text{ m}^2$$

$$V_0 = \frac{Q_m}{A_0} = \frac{0,00001343 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0085 \text{ m}^2} = 0,001583 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La concentración de dióxido de carbono después de pasar por bandejas (mg/L) se determinó con la siguiente fórmula estipulada en el libro de (Romero 2002).

$$C_n = C_o * 10^{-k n}$$

Dónde: Co= Concentración original de CO₂ (mg/L).

K= 0,12.

n= Número de bandejas.

Cn= Concentración de CO₂ después de pasar por bandejas (mg/L)

Para la concentración original de CO₂ se buscó el dato del CO₂ en el agua donde se tiene como dato en primavera de 1071 µatm y en invierno 694 µatm (Padilla 2013) por lo tanto, se hizo un promedio entre los dos datos dando un total de 882,5 µatm y para pasarlo a mg/L se utilizó la siguiente ecuación:

$$\frac{P * PM}{R * T} = \frac{m}{v}$$

Dónde: P= presión en (atm)

PM= Peso molecular del CO₂ = 44 gr/mol

R= Constante de los gases = 0,082 $\frac{\text{atm L}}{\text{mol K}}$

T = Temperatura ambiente (K)

Reemplazando se obtiene lo siguiente:

$$\frac{882,5 \text{ atm} * 44 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}}{0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} * 290,45 \text{ K}} = \frac{m}{v}$$

$$1,63 * 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{L}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 1,63 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Por lo tanto, se obtiene una concentración inicial de CO₂ de 1,63 mg/L y reemplazando este dato en la ecuación anterior se tiene que:

$$C_n = 1,63 \frac{mg}{l} * 10^{-0,12*3}$$

$$C_n = 0,712 \frac{mg}{L}$$

Para determinar el caudal de descarga por cada orificio se usó la siguiente formula:

$$Q_o = C_d * A_o * \sqrt{2 * g * h'}$$

Dónde: Cd= Coeficiente de descarga. (0,85)

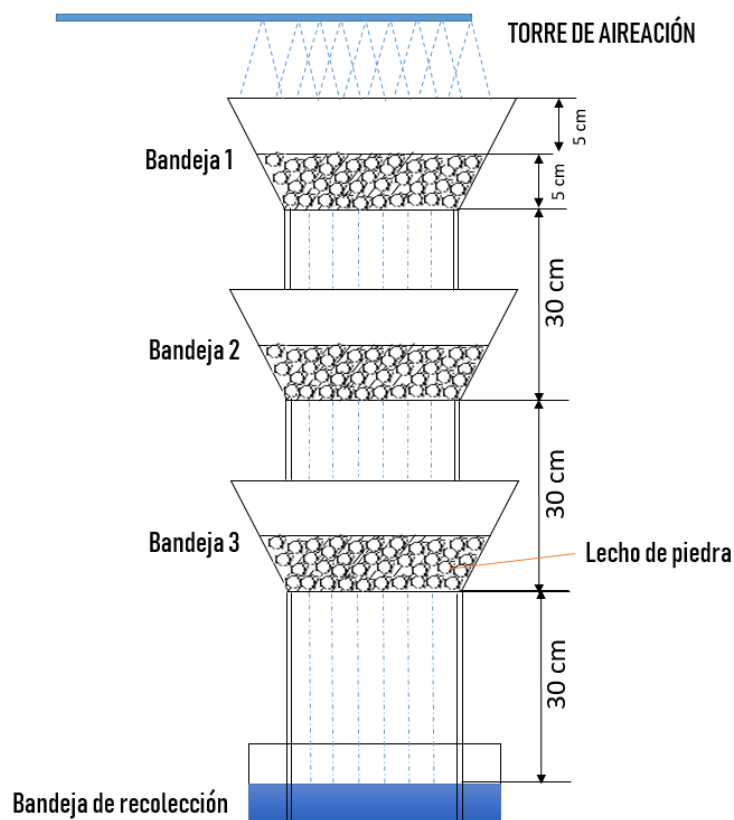
h'= Altura de la lámina de agua sobre la bandeja (0,15 m).

$$Q_o = 0,85 * 0,0085 m^2 * \sqrt{2 * 9,81 \frac{m}{s^2} * 0,15 m} = 0,0101 \frac{m^3}{s}$$

Por último, se utilizó en cada bandeja un lecho de piedra con un diámetro de 5 cm y un espesor de 10 cm ya que con estos se pueden mejorar la eficiencia en la distribución del agua. (Romero 2002).

A continuación, se mostrará un esquema del diseño del aireador de bandejas.

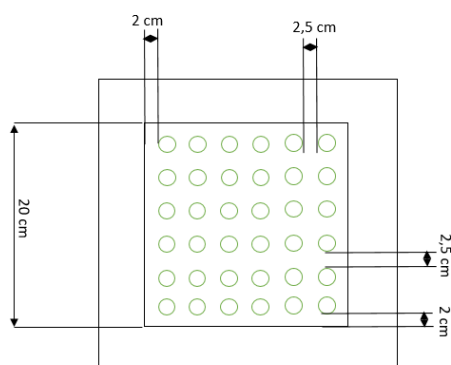
Imagen 60. Dimensionamiento del tanque aireador



Fuente: Realización propia.

Imagen 61. Dimensionamiento de orificios por bandeja

DISTRIBUCIÓN DE ORIFICIOS POR BANDEJA



Fuente: Realización propia.

Tabla 28. Tabla resumen de las dimensiones del aireador.

CALCULO DEL REACTOR-TANQUE DE ALMACENAMIENTO	
Dimensiones del tanque	
h (m)	1
diámetro (m)	0.8
Volumen (m3)	503
DATOS DE ALIMENTACIÓN	
Q (m3/d)	1,16
Q (m3/s)	0,00001343
Altitud (m.s.n.m.)	2150
Tmax °C	19
Número de bandejas	3
Altura total del aireador (m)	1,2
Separación entre bandejas (m)	0,3
Carga superficial (m3/(m2*d)) (CH)	15
Área total de las bandejas (m2)	0,08
Área por bandeja (m2)	0,03
dimensiones de cada bandeja cuadrada	0,16
Dimensión aproximada	0,2
Área por bandeja (m2)	0,04
Área total de las bandejas (m2)	0,12
Carga superficial (m3/(m2*d)) (CH)	29
El Tiempo de exposición (s)	0,742
Diámetro de orificios por bandeja (cm)	0,6
Separación entre orificios (cm)	2,5
Borde libre de bandeja (cm)	2
Área del orificio (Ao) (m2)	0,00848230
Velocidad de desalojo por orificio (m/s)	0,001583
Concentración original de CO ₂ (mg/L)	1,63
K	0,12
Concentración de CO ₂ después de pasar por bandejas (mg/L)	0,712
Coeficiente de descarga	0,85
Altura de la lámina de agua sobre la bandeja (m)	0,1
Caudal descargado por orificio (m3/s)	0,0101

Fuente: Realización propia.

8.7.4. Coagulación

El ensayo se realizó utilizando como coagulante sulfato de aluminio tipo II, debido a que es un material muy utilizado y económico en el tratamiento de agua y es seleccionado como óptimo para la formación de floculos. El ensayo de jarras se realizó mediante una mezcla rápida a 100 rpm durante 18 segundos y luego a 30rpm a 20 minutos, con dosis de 80 a 150 mg/L de coagulante.

Una vez determinada la dosis del coagulante, se definió el mezclador rápido de forma mecánica, debido a que esta técnica de tratamiento es de preferencia para las industrias, en la cual la turbulencia es generada por una fuente externa, impartida por turbinas donde el gradiente de velocidad no varía con el caudal. (Romero 2018)

Para el diseño se estableció la relación de Letterman, para optimización de la mezcla se puede aplicar para dosis de sulfato de aluminio tipo II con la siguiente expresión (Romero 2008) :

$$GT_o C^{1,46} = 5.9 \times 10^6$$

Donde:

G : Gradiente de velocidad

T_o : Tiempo de mezcla el cual según la RAS 2000 debe ser menor a 60s, por ello se seleccionó el valor de 18 segundos para determinar el gradiente de velocidad:

C : Concentración del coagulante

Entonces se tiene:

$$GT_o * 80 \frac{mg^{1,46}}{l} = 5.9 \times 10^6$$

$$G = \frac{9825,18}{18 \text{ seg}}$$

$$GT_o = \frac{5,9 * 10^6}{80 \frac{mg^{1,46}}{l}} = 9825,18$$

$$G = 545,84 \text{ s}^{-1}$$

De la tabla y según el Ministerio De Ambiente y Desarrollo Sostenible en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico establece un rango permitido de gradiente entre 500 s^{-1} y 2000 s^{-1} , por lo que el gradiente de velocidad obtenido se encuentra en el rango óptimo., como lo es también el tiempo de mezcla.

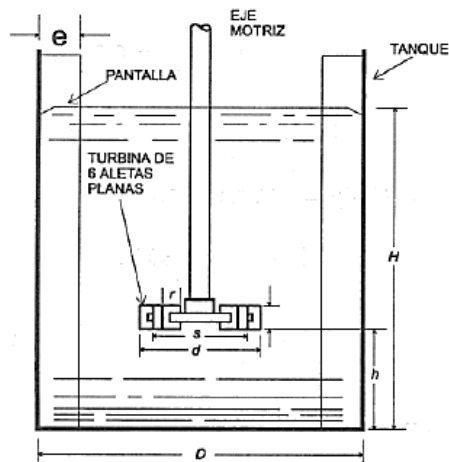
Tabla 29. Rango del gradiente hidráulico.

Tipo de mezclador	Rango de Gradiente de Velocidad medio	Tiempo de mezcla
Hidráulico	1000 s-1 - 2000 s-1	< 1 s
Mecánico	500 s-1 - 2000 s-1	< 60 s

Fuente: (Romero 2008)

El diseño por facilidad, se realizó con una turbina de 6 aletas planas de acuerdo a la siguiente figura:

Imagen 61. diseño del coagulador.



Fuente: (Romero 2008)

Para la estimar el volumen del mezclador se definió como:

$$V = Q * t = 1,305 \frac{m^3}{s} * 18 s = 0,000243 m^3$$

Donde el tiempo se asumió como 18 segundos ya que en la norma se determinó un tiempo de coagulación menor a 60 segundos.

A partir de este volumen se estableció las dimensiones del Mezclador:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * V}{\pi}} \quad D = \sqrt[3]{\frac{4 * 0,000243 m^3}{\pi}} \quad D = 0,0676 m$$

Según las relaciones de Ritcher:

$$\text{Diametro del impulsor } d = \frac{D}{3} = \frac{0,0676 m}{3} = 0,02255 m$$

$$\text{Altura del impulsor sobre el fondo } h = d = 0,02255 m$$

$$\text{Ancho de paleta del impulsor } W = \frac{d}{5} = \frac{0,02255 \text{ m}}{5} = 0,0045 \text{ m}$$

$$\text{Ancho de la paleta del impulsor } r = \frac{d}{4} = \frac{0,02255 \text{ m}}{4} = 0,00563 \text{ m}$$

$$\text{Altura del fluido } H = D = 0,0676 \text{ m}$$

de Pantallas = 4 montadas verticalmente desde el fondo hasta la superficie.

$$\text{Ancho de las pantallas } e = \frac{D}{10} = \frac{0,0676 \text{ m}}{10} = 0,0067 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro del disco central } s = \frac{D}{4} = \frac{0,0676 \text{ m}}{4} = 0,0169 \text{ m}$$

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos de la mezcla rápida de la muestra de agua debidamente coagulada:

Tabla 30. Resumen de datos

DATOS MEZCLA RAPIDA	
Diámetro (m)	0,0676
d (m)	0,0225
h (m)	0,0225
w (m)	0,0045
r (m)	0,0056
H (m)	0,0676
#paletas	4
e (m)	0,00676
s (m)	0,01691
G s-1	545,843
t (s)	18

Fuente: Realización propia.

Luego para los factores operativos, se estableció la potencia requerida, la cual está dada por:

$$P = G^2 \mu V$$

$$P = (545,843)^2 (0.001139 \text{ N } \frac{\text{s}}{\text{m}^2}) (0,000243 \text{ m}^3) = 0,08249 \text{ W}$$

Por lo tanto, la velocidad del impulsor fue:

$$N = \frac{P^{\frac{1}{3}}}{(K \rho d^5)}$$

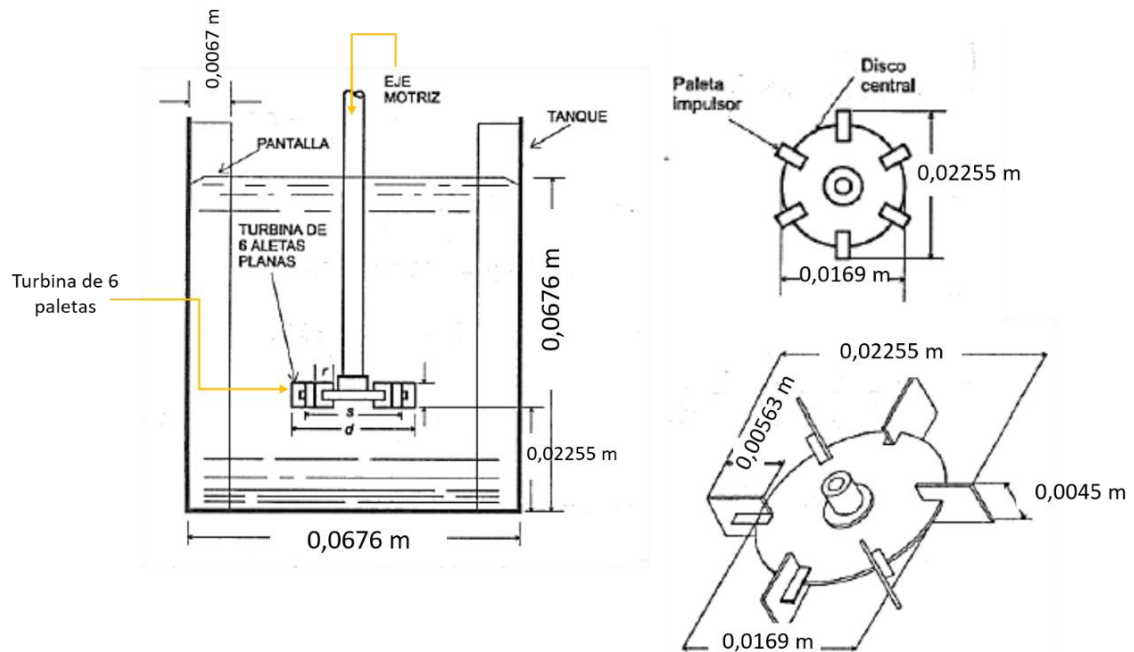
Donde K equivale a 6,3 segun el libro Romero 2008, entonces:

$$N = \frac{0,08249^{\frac{1}{3}}}{(6,3 * 1000 \text{ kg/m}^3 * 0,37^5)}$$

$$N = 0,1262 \text{ rps}$$

A continuación de mostrará el diseño final del coagulador:

Imagen 62. Dimensionamiento del coagulador.



8.7.5. Floculación

El caudal de diseño obtenido por la fábrica de bocadillos es 35 m³/mes y debido a que este es menor a $Q < 250 \text{ L/seg}$ se pudo utilizar un floculador mecánico o un floculador hidráulico, en este caso se utilizó un floculador hidráulico.

Para determinar el caudal de diseño se dejó el caudal total debido a que se manejó un solo floculador. El área transversal del canal se determinó por medio de la siguiente formula usando una velocidad de 0,02m/seg:

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{0,0000135 \text{ m}^3/\text{s}}{0,015 \text{ m/s}}$$

$$A = 0,001 \text{ m}^2$$

$$A = d * a$$

$$a = \frac{A}{d}$$

Donde se supuso d y se verificó, en este caso se determinó d=1m siendo la profundidad común, entonces:

$$a = \frac{0,001 \text{ m}^2}{1 \text{ m}}$$

$$a = 0,001 \text{ m}$$

Para determinar la separación entre los baffles y las paredes se tuvo:

$$\begin{aligned} e &= 1,5 * a \\ e &= 1,5 * 0,001 \text{ m} \\ e &= 0,00101 \text{ m} \end{aligned}$$

La longitud del recorrido del floculador se determinó por medio de la siguiente formula:

$$L_c = V * t$$

$$L_c = 0,02 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 30 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$L_c = 36 \text{ m}$$

La longitud efectiva del canal se determinó por medio de la siguiente formula asumiendo un ancho B de 2 metros:

$$L = B - e$$

$$L = 2 \text{ m} - 0,00101 \text{ m}$$

$$L = 1,99 \text{ m}$$

El número de canales o número de espacios se determinó por medio de la siguiente formula:

$$N = \frac{L_c}{L}$$

$$N = \frac{36 \text{ m}}{1,99 \text{ m}}$$

$$N = 18,009$$

Debido a que no dio exacto se determinó el siguiente valor:

$$N = 18$$

Para determinar el número de divisiones se usó la siguiente fórmula:

$$n = N - 1$$

$$n = 18 - 1$$

$$n = 17$$

Para determinar la longitud total del tanque se determinó por medio de la siguiente formula:

$$Lt = N * a + (N - 1) * b$$

Donde b=0,15 m se asumió siendo el grosor del tabique, entonces:

$$Lt = 18 * 0,001 \text{ m} + (18 - 1) * 0,15 \text{ m}$$

$$Lt = 2,564 \text{ m}$$

Para hacer las debidas verificaciones de los valores supuestos y teniendo en cuenta n= 0,014 siendo el número de Nanning, se hizo uso de las siguientes expresiones:

$$hf = \frac{(vn)^2}{R^{4/3}} ; R = \frac{A}{Pm} ; Pm = d * 2 + a * \#canales$$

Entonces:

$$Pm = 1m * 2 + 0,001m * 18$$

$$Pm = 2,012 \text{ m}$$

$$R = \frac{0,001m^2}{2,012 \text{ m}}$$

$$R = 0,000336 \text{ m}$$

$$hf = \frac{\left(0,02 \frac{m}{s} * 0,014\right)^2}{0,000336^{4/3}}$$

$$hf = 0,121m$$

Finalmente, para determinar el gradiente de velocidad G y h se hizo uso de las siguientes expresiones:

$$h = \frac{3,2(N - 1)V^2}{2g} ; G = \sqrt{\frac{\gamma * H}{\mu * t}}$$

Donde H es la sumatoria de hf y h, γ es igual a 9800 N/m³ igual a γ μ es igual a 1,139*10⁻³ Nseg/m², entonces:

$$h = \frac{3,2 (18 - 1)0,02^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h = 0,0011 \text{ m}$$

$$G = \sqrt{\frac{9800 \frac{N}{m^3} * 0,035}{1,139 * 10 - 3 \frac{Ns}{m^2} * 1800s^{-1}}} \quad G = 24,132 s^{-1}$$

$$Gt = G * t$$

$$Gt = 24,132 s^{-1} * 1800 s^{-1}$$

$$Gt = 43351,521 s^{-1}$$

Según la siguiente tabla y los rangos ilustrados, el G*t estaría en los valores establecidos:

Tabla 31. Gradiente de velocidad.

	Mecánicos	Hidráulicos
Tiempo de retención (min)	20 - 40	20 -30
Gradiente de Velocidad (s-1)	15 - 75	20 - 70
G*t	10.000 - 100.000	20.000 - 150.000
Velocidad de paletas	9 - 90 cm/s	-

Fuente: (Romero 2008)

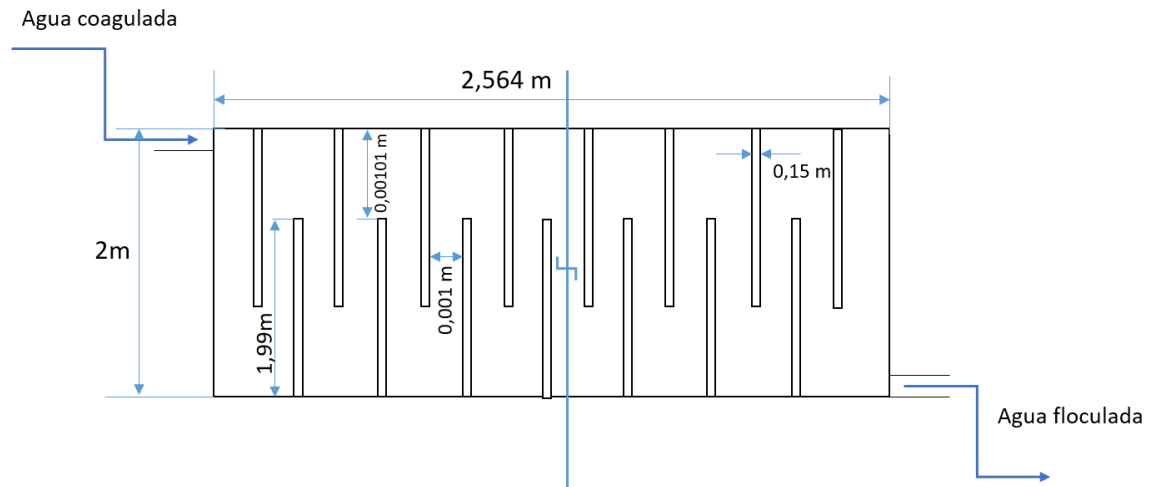
Tabla 32. Resumen de los datos obtenidos del floculador:

DATOS MEZCLA LENTA	
Q(m3/s)	0,000014
V(m/s)	0,020
Área trans canal A (m2)	0,001
Separación entre baffles a (m)	0,001
Separación entre baffles y pared e (m)	0,00101
Lc (m)	36,000
L (m)	1,999
N	18,009
N	17,000
Lt (m)	2,564
Pm (m)	2,012
R (m)	0,000336
hf (m)	0,121
h (m)	0,0011
H (m)	0,122
G (s-1)	24,132
Gt (s-1)	43436,817

Fuente: Realización propia.

A continuación, se mostrará un esquema del diseño del floculador hidráulico:

Imagen 64. Diseño de floculador hidraulico



Fuente: Realización propia.

8.7.6. Sedimentador

El objeto de este tratamiento es básicamente la remoción de los sólidos suspendidos en la muestra de agua, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación. A continuación, se describen los pasos experimentales para el diseño del sedimentador teniendo como referencia el análisis de un laboratorio en el cual emplearon muestras de agua residual con características similares a las obtenidas del agua proveniente de la fábrica de bocadillos. En la siguiente tabla se muestran los datos del tiempo de sedimentación en relación a la concentración:

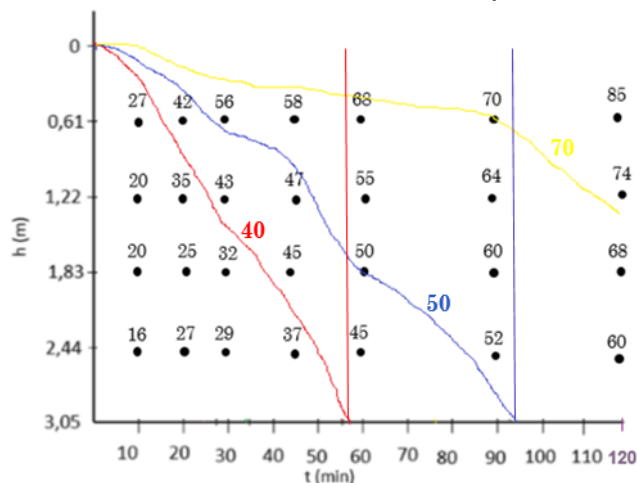
Tabla 33. Datos para el sedimentador.

Tiempo	0,61 m	1,22 m	1,83 m	2,44 m	3,05 m
0	0	0	0	0	0
10	27	20	20	16	0
20	42	35	25	27	0
30	56	43	32	29	0
45	58	47	45	37	0
60	68	55	50	45	0
90	70	64	60	52	0
120	85	74	68	60	0

Fuente: Realización propia.

Se tiene 60% de remoción por lo cual para determinar el tiempo de retención se hizo la siguiente gráfica:

Gráfica 7. Sedimentación tipo II.



Fuente: Realización propia.

Cálculo de porcentajes de remoción para 40 y 50 %

$$\Delta R_{40\%} = \left(\frac{0,4}{3,05} \right) * \frac{100 + 70}{2} + \left(\frac{1,75 - 0,4}{3,05} \right) * \frac{70 + 50}{2} + \frac{3,05 - 1,75}{3,05} * \frac{50 + 40}{2} = 56,9\%$$

$$\Delta R_{50\%} = \left(\frac{0,72}{3,05} \right) * \frac{100 + 70}{2} + \left(\frac{3,05 - 0,72}{3,05} \right) * \frac{70 + 50}{2} = 65,9\%$$

Como se puede evidenciar que en los cálculos para 40 y 50% de retención se encuentra el porcentaje de 60, es por ello que se interpola para hallar el tiempo de retención además de la velocidad como se muestra a continuación:

Tabla 34. Interpolación.

Tiempo de retención (min)	% Remoción	Velocidad (m/min)
57	56,9	0,0535
94	65,9	0,032
70	60	0,044

Fuente: Realización propia.

La velocidad se determinó teniendo como h la longitud total del recipiente la cual fue 3,05 m y se usó la siguiente expresión:

$$v = \frac{h}{t}$$

El dimensionamiento se determinó con las siguientes ecuaciones:

$$V = Q * t$$

$$V = 0,00081024 \frac{m^3}{min} * 70 min$$

$$V = 0,0567 m^3$$

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{0,00081024 \frac{m^3}{min}}{0,044 m/min}$$

$$A = 0,0184 m^2$$

$$D = \sqrt{\frac{A}{\pi}} * 2$$

$$D = \sqrt{\frac{0,0184 m^2}{\pi}} * 2$$

$$D = 0,15312 m$$

$$h = \frac{V}{A}$$

$$h = \frac{0,0567 m^3}{0,0184 m^2}$$

$$h = 3,08 m$$

Comparado con la RAS 2.000 la profundidad dio cercana a lo realizado experimentalmente, en cuanto al tiempo de retención basados en la RAS se estimó un tiempo de una hora, comparado con el método experimental se obtuvo un tiempo de 31 minutos, con base en esto, se tomó el dato obtenido por el método experimental ya que según la RAS el tiempo de una hora podría ser para tanques rectangulares y circulares lo cual podría causar una mayor incertidumbre. ANEXO C.

Por otro lado, los parámetros hallados se evaluaron basados en la normativa RAS Título E:

- Geometría: Para las dimensiones en este caso se utilizará un tanque rectangular con una longitud de 1,5 m y un ancho de 1 m, se descartan los tanques cuadrados y los circulares debido que los rectangulares no requieren pendiente.

-Tiempo de retención: Este debe basarse en el caudal a tratar y en el volumen del tanque. Se recomienda un período de retención mínimo de 1.0 hora tanto para los sedimentadores circulares como para los rectangulares, sin embargo, se hará el cálculo experimental para comparar el tiempo de retención.

-Profundidad: Para los tanques rectangulares se recomienda un rango de profundidades entre 2 y 5 m, en el caso del proyecto de agua proveniente de fábrica de bacadillos se estimará una profundidad de 3 m.

-Tasa de desbordamiento superficial: En el caso del proyecto a ejecutar existe un tratamiento secundario seguido del tanque de sedimentación por lo tanto se recomienda una TDS para flujo medio de 32 a 48 m³/m²/día.

- Entradas y salidas: Las entradas deben diseñarse evitando cortocircuitos y lo que más se usa es un canal de compuertas espaciadas. Se recomienda una distancia mínima de 3.0 m entre la entrada y la salida y una velocidad de entrada de 0.3 m/s. Además, se recomiendan situar las estructuras de disipación a una distancia entre 0.6 y 0.9 m de la entrada y sumergidos unos 0.45 a 0.60 m según la profundidad del tanque.

- Control de olores: Debe mantenerse una distancia mínima de amortiguamiento de 120 m. Además, debe evitarse una acumulación excesiva de lodos ya que estos pueden descomponerse y crear gases y olores indeseables.

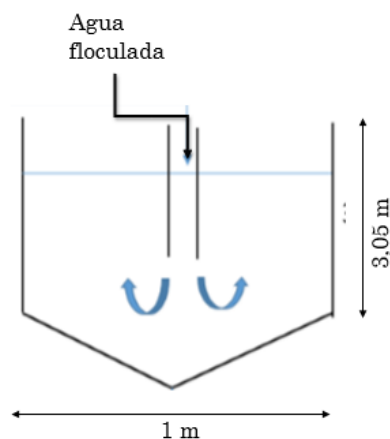
Tabla 35. Resumen de los datos obtenidos del sedimentador:

Datos sedimentación	
V (m3)	0,0567
A (m2)	0,0184
D (m)	0,15312
h (m)	3,08
Q(m³/s)	0,00081024

Fuente: Realización propia.

A continuación, se mostrará un esquema del diseño del sedimentador tipo II:

Imagen 65. Dimensionamiento del sedimentador tipo II



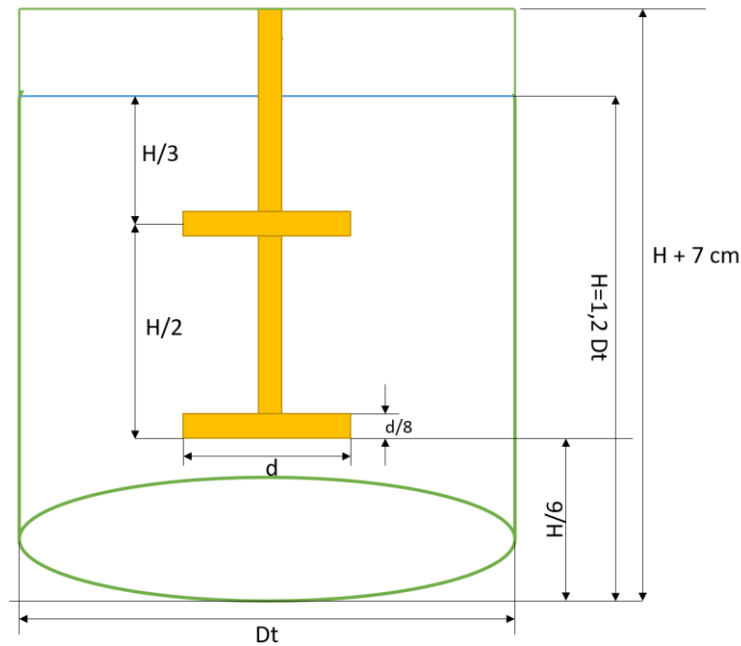
Fuente: Realización propia.

8.7.7. Nano-arcilla magnética

- Reactor batch (Nuñez y Udeos 2015)

El diseño que se hizo para la implementación de la nano-arcilla magnética fue la de un reactor batch por lo tanto se realizó lo siguiente:

Imagen 66. Dimensionamiento del reactor batch.



Fuente: Realización propia.

- Cálculo del volumen del tanque.

Los cálculos que se realizaron a continuación, fue realizando el volumen necesario para el tanque (cilindro), del que está compuesto el reactor batch, por lo tanto, para el volumen del reactor sería:

$$V_t = Q_o * t$$

Donde: $Q_o = \text{Caudal inicial} = 1,16 \frac{m^3}{d}$

$t = \text{Tiempo de residencia} = 60 \text{ minutos} = 0,04167 \text{ día}$

$$V_t = 1,16 \frac{m^3}{d} * 0,04167 d = 0,04833 m^3$$

de 5 galones que corresponden $0,04833 \text{ m}^3$ por lo tanto se utilizó la siguiente formula: (Nuñez y Udeos 2015)

$$V_t = \frac{\pi * Dt^2 * h}{4}$$

Donde se asume $h = 1,2 \text{ Dt}$. (Nuñez y Udeos 2015) Y despejando dt se tiene:

$$V_t = \frac{\pi * Dt^2 * Dt * 1,2}{4}$$

$$4 * V_t = \pi * Dt^2 * Dt * 1,2$$

$$\frac{4 * V_t}{\pi * 1,2} = Dt^3$$

$$\sqrt[3]{\frac{4 * V_t}{\pi * 1,2}} = Dt^3$$

$$\sqrt[3]{\frac{4 * V_t}{\pi * 1,2}} = Dt$$

$$\sqrt[3]{\frac{4 * 0,04833 \text{ m}^3}{\pi * 1,2}} = Dt$$

$$Dt = 0,3715 \text{ m} = 37,15 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

Se aproxima a 40 cm debido a que esto daría una mayor precisión de los demás cálculos.

$$h = 1,2 * 40 \text{ cm} = 48 \text{ cm}$$

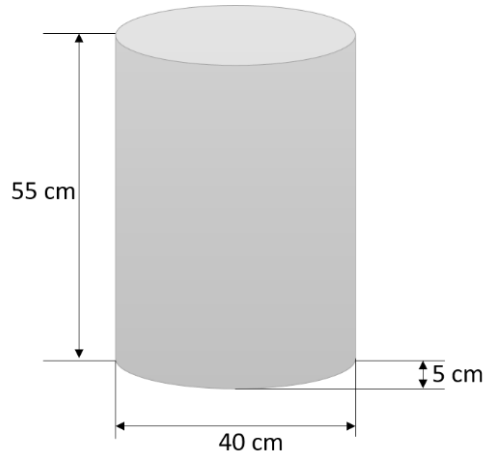
Se re calcula el volumen del tanque debido a que la altura y el radio se cambió por lo tanto el resultado de éste fue:

$$V_t = \frac{\pi * Dt^2 * h}{4}$$

$$V_t = \frac{\pi * (40 \text{ cm})^2 * 48 \text{ cm}}{4} = 60318,58 \text{ cm}^3 = 0,06032 \text{ m}^3$$

Como factor de seguridad se dejó 7 cm de altura adicional tomándolo como un factor de seguridad siendo la altura final del tanque de 55 cm.

Imagen 67. Dimensionamiento del tanque



Fuente: Realización propia.

- Cálculo del volumen del reactor batch.

Se tiene en cuenta que para el volumen total del reactor batch se tuvo un volumen del cilindro y el volumen de la parte baja de éste, que es redondeada, por lo tanto se manejó lo siguiente: (Nuñez y Udeos 2015)

$$V_{\text{reactor}} = V_t + V_r$$

Donde V_r = volumen del asiento redondeado, el cual fue calculado con la siguiente ecuación (Nuñez y Udeos 2015):

$$V_r = \frac{1}{3} * \pi * hc^2 * (3 * r - hc)$$

Donde el $hc = 5$ cm según lo mostrado en la imagen anterior y reemplazando se obtiene lo siguiente:

$$V_r = \frac{1}{3} * \pi * (5 \text{ cm})^2 * [(3 * 20 \text{ cm}) - 5 \text{ cm}]$$

$$V_r = \frac{1}{3} * \pi * (5 \text{ cm})^2 * [(3 * 20 \text{ cm}) - 5 \text{ cm}]$$

$$V_r = 1439,90 \text{ cm}^3 = 1,44 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Por lo tanto, se tiene que el volumen del reactor batch es de:

$$V_{\text{reactor}} = 0,06032 \text{ m}^3 + 1,44 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{reactor}} = 0,0618 \text{ m}^3$$

- Cálculos para el sistema de agitación

Para la longitud del eje de agitación se tiene que es igual a la altura del reactor en este caso es igual a 55 cm. (Nuñez y Udeos 2015).

Para la altura del eje de agitación se tiene que debe ser igual a la altura del tanque $h = 55$ cm y el eje tendrá un diámetro de 2 cm. (Nuñez y Udeos 2015).

- Cálculo de las dimensiones de las paletas

Se debe dar cumplimiento a lo siguiente para agitadores: (Nuñez y Udeos 2015):

$$0,3 < \frac{d}{Dt} < 0,6$$

$$0,3 < \frac{d}{35} < 0,6$$

$$10,5 < d < 21$$

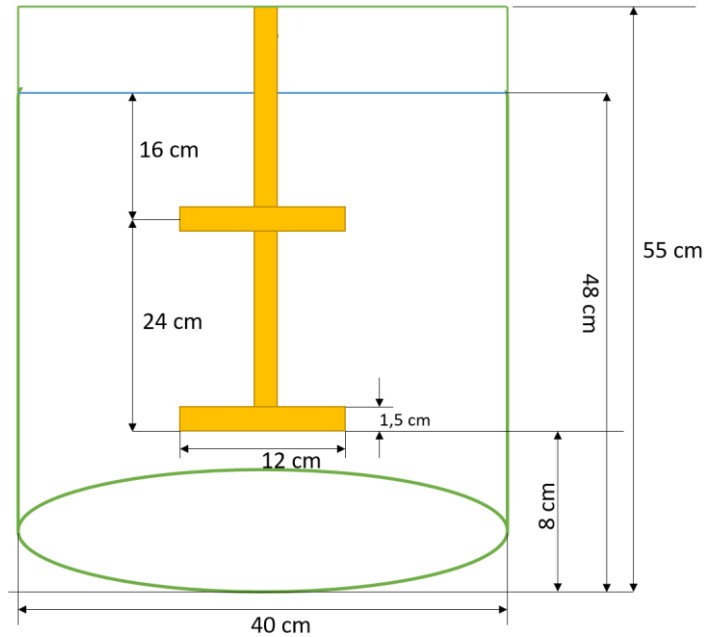
De esto se observa que el diámetro de las paletas debe estar entre el rango de 10,5 cm a 21 cm por lo tanto se selecciona un diámetro de 12 cm.

Según la imagen 57 la altura de las paletas debe cumplir $d/8$ por lo tanto se tiene que es igual a 1,5 cm.

Y por último como se ilustra en la imagen 57 el reactor está compuesto de dos paletas, donde la primera ésta ubicada a 8 cm y 32 cm desde el eje inferior respectivamente como se puede observar en la siguiente figura.

Por lo tanto, se tiene el siguiente dimensionamiento del reactor de batch:

Imagen 68. Dimensionamiento final del reactor batch.



Fuente: Realización propia.

• Diseño de imán

En este paso se desea saber el campo magnético necesario para la remoción de las nanopartículas por lo tanto se desea realizar el diseño del imán y para el dimensionamiento de éste se hizo el uso de la siguiente fórmula: (Lim, Yeap y Low 2014)

$$B_x = \frac{B_r}{2} \left[\frac{x + L}{\sqrt{(L + x)^2 + R^2}} - \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}} \right]$$

Dónde: R: Radio del cilindro (imán), L: Longitud del cilindro (imán), Br: Remanencia del material magnético: 1,45 Tesla, X: Distancia de separación, Bx: Campo magnético.

Se tiene que el campo magnético debe ser aproximadamente 0,0028 Tesla (Lim, Yeap y Low 2014), pero se decide según pruebas en el laboratorio aumentar el campo magnético al doble (0,00567 Tesla) debido a que es necesario uno mayor, por lo tanto se hizo el cambio de la distancia con la altura del reactor diseñado anteriormente ya que este va ubicado debajo del reactor y se dimensionó la longitud y el radio del imán reemplazando valores hasta obtener el campo magnético seleccionado:

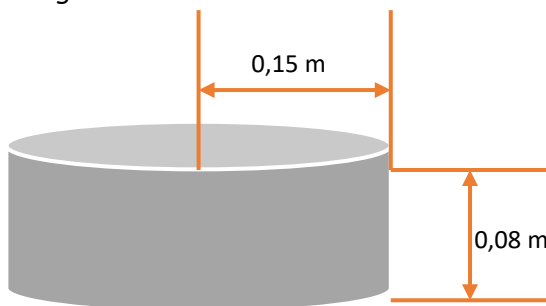
$$B_x = \frac{1,45 \text{ Tesla}}{2} \left[\frac{0,55 \text{ m} + 0,08 \text{ m}}{\sqrt{(0,08 \text{ m} + 0,55 \text{ m})^2 + (0,15 \text{ m})^2}} - \frac{0,55 \text{ m}}{\sqrt{(0,55 \text{ m})^2 + (0,15 \text{ m})^2}} \right]$$

$$B_x = 0,00583 \text{ Tesla}$$

Nota: El campo magnético también se puede hacer por medio de un electroimán.

Con lo anterior se tiene como resultado que el radio del imán debe ser de 0,15 m y su longitud de 8 cm de un material Neodimio, a continuación, se muestra una figura con el diseño del imán.

Imagen 69. Diseño del imán.



Fuente: Realización propia.

8.7.8. Filtración (Pérez P. Jorge Arturo 1981)

Para la filtración rápida se decidió realizar el filtro mixto de arena y antracita, debido a que es un método utilizado comúnmente.

- **Caudal:** 1,16m³/d

- **Número de filtros:** Morri1 y Wal1ace en 1934 sugirieron la siguiente expresión para calcular el número de filtros:

$$n = 0,044\sqrt{Q}$$

$$n = 0,044 * \sqrt{1,16 \frac{m^3}{d}} = 0.0474 \approx 1$$

- **Tasa de filtración:**

Tabla 36. Tasa de filtración.

Parámetro	Filtración lenta con lecho simple	Filtración rápida con lecho simple	Filtración rápida con lecho mixto
Tasa de filtración (m ³ /m ² /d)	7-14	<120	180-350
Profundidad del medio	0.8-1	0,6-0.9	Antracita: 0.4-0.6 Arena: 0.15-0.3

Fuente: (Pérez P. Jorge Arturo 1981)

- **Área por filtro:**

$$A = \frac{1,16 \frac{m^3}{d}}{180 \frac{m}{d}} = 0.00644 \text{ m}^2$$

- **Relación ancho largo B/L:**

$$\frac{B}{L} = \frac{n + 1}{2 * n} = \frac{1 + 1}{2 * 1} = 1$$

- **Largo (L):**

$$L = \sqrt{\frac{A}{B/L}} = \sqrt{\frac{0,00644 \text{ m}^2}{1}} = 0.0803 \text{ m}$$

- **Ancho (B):**

$$B = \frac{A}{L} = \frac{0,00644 \text{ m}^2}{0,0803 \text{ m}} = 0,0801 \text{ m}$$

Se tiene que si $L/B > 1$ "Cumple" y si $1 < L/B < 3$ "No cumple" en este caso cumple debido a que

$$\frac{L}{B} = \frac{0,0803 \text{ m}}{0,0801 \text{ m}} = 1 \text{ ¡ CUMPLE!}$$

- **Componentes del lecho mixto filtrante**

Para el caso de lechos de arena según el libro de tratamiento de aguas de la Universidad Nacional de la página 143.

Tabla 37. Lecho Filtrante.

MATERIALES	Espesor del Lecho			Tamaño Efectivo			COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD
	Rango (m)	Valor medio (m)	Recomendación	Rango (m)	Valor medio (m)	Recomendación	
Antracita	0.45 - 0.70	0.55	0.55	0.7 - 1.3	1	0.9	< 1.8
Arena	0.15 - 0.30	0.25	0.25	0.3 - 0.5	0.4	0.4	< 1.6

Fuente: (Pérez P. Jorge Arturo 1981)

Tabla 38. Datos escogidos para el lecho de arena y la antracita.

Tamaño efectivo de la arena T_e (mm)	0.4
Coeficiente de uniformidad de la arena C_u	1.4
Porosidad de la arena p_o	0.4
Abertura ideal del tamiz que deja pasar el 60% (mm)	0.56
Porosidad de la antracita p_o	0.8
d_{90} (antracita)	0.8
Coeficiente de uniformidad de la antracita C_u	1.6
Tamaño efectivo de la antracita por grafica T_e (mm)	0.9
$X_a - X_A$ (m)	0.8
Espesor del lecho X_a arena (m)	0.25
Espesor del lecho X_A antracita (m)	0.55

Fuente: Realización propia.

- **Grava de soporte**

Será colocada manualmente durante la construcción del filtro, por lo general se coloca una capa de 0.40 m, así:

Tabla 39. Grava de soporte

Grava de soporte		
Posición	Espesor (cm)	Tamaño (Pulg)
Fondo	12	2.0-1.0
Segunda capa	7	1.0-1/2
Tercera capa	7	1/2-1/4
Cuarta capa	7	1/4-1/8
Gravilla	7	1/8-1/12

Fuente: Realización propia.

- **Hidráulica de lavado.**

- Arena

$$\text{Número de galileo para la arena} = \frac{(\delta_{agua})(2,65 - 1)(d_{90}^3)}{g^2}$$

$$\text{Número de galileo para la arena} = \frac{\left(999,10 \frac{kg}{m^3}\right)(2,65 - 1)(0,118^3)}{0,011372^2} = 20943 \text{ Ga}$$

- Antracita

$$\text{Número de galileo para la antracita} = \frac{(\delta_{agua})(1,5 - 1)(d_{90}^3)}{g^2}$$

$$\text{Número de galileo para la antracita} = \frac{\left(999,10 \frac{kg}{m^3}\right)(1,5 - 1)(0,165^3)}{0,011372^2} = 17351 \text{ Ga}$$

Tabla 40. Hidráulica de lavado

Hidráulica de lavado	
d90 de Arena (cm)	0.118
d90 de Antracita (cm)	0.165
Temperatura (°C)	15
Viscosidad del agua v (cm2/s)	0.011372
Densidad del agua (kg/m3)	999.10
Número de Galileo para la arena Ga	20943
Número de Galileo para la antracita Ga	17351

Fuente: Realización propia.

- **Expansión del lecho filtrante.**

Según el libro de tratamiento de aguas de la Universidad Nacional de la página 159 se tiene una expansión del 10% - 30% para filtros rápidos mixtos con tamaño efectivo entre 0,5 – 0,6 mm tomando el promedio de ésta.

$$\text{Expansión total del lecho} = \frac{(Ea * Xa) + (XA * EA)}{Xa + XA}$$

$$\text{Expansión total del lecho} = \frac{(0,10 * 0,25) + (0,55 * 0,30)}{0,25 + 0,55} = 0,24 \text{ m}$$

Donde:

Xa: Espesor lecho de arena (m)

Ea: Expansión lecho de arena (m)

XA: Espesor lecho de antracita (m)

EA: Expansión lecho de antracita (m)

Tabla 41. Expansión del lecho filtrante.

Expansión del lecho filtrante.	
Expansión del lecho de arena Ea (m)	0.10
Expansión del lecho de antracita EA (m)	0.30
Expansión total del lecho filtrante Et (m)	0.24

Fuente: Realización propia.

- **Pérdida de carga durante el lavado.**

Para la condición de equilibrio, cuando el lecho filtrante se encuentra fluidificado, la pérdida de carga debe ser igual al peso de las partículas en el agua, o sea:

$$h = (s_s - 1)Lo(1 - P_o)$$

Donde:

Lo= Espesor del lecho sin expandir

Po= porosidad del lecho sin expandir

Ss= densidad relativa de los granos en el agua.

- Arena

$$hL = (2,65 - 1) * 0,25 \text{ m} (1 - 0,4) = 0,24 \text{ m}$$

Adicionalmente hay que considerar la pérdida de carga en la grava de soporte y las diferentes pérdidas locales, las cuales pueden ser calculadas de manera idéntica a como fue discutido en la pérdida de carga en filtración.

- Antracita

$$hL = (1,5 - 1) * 0,55 \text{ m} (1 - 0,8) = 0,06 \text{ m}$$

Pérdida de carga en la grava hLG (m)

$$hLG = \frac{0,8 * \frac{\sum \text{espesor grava (cm)}}{100}}{3} \quad hLG = \frac{0,8 * \left(\frac{12 + 7 + 7 + 7 + 7}{100} \right)}{3} = 0,11 \text{ m}$$

Pérdida de carga total en el lecho hL (m)

$$hL = (0,24 \text{ m} + 0,11 \text{ m} + 0,06) = 0,41 \text{ m}$$

Pérdida en el sistema de drenaje

$$Hd = \left(\frac{1}{2 * g} \right) * \left(\frac{0,0125}{\text{coeficiente del orificio} * \frac{\text{Relación del área total de orificios y el área del lecho B}}{100}} \right)^2$$

$$Hd = 0,61$$

Área del lecho Filtrante (m2)

$$A = L * B$$

$$A = 0,0801 \text{ m} * 0,0802 \text{ m} = 0,0064 \text{ m}^2$$

Pérdida total de carga durante el lavado H (m)

$$H (m) = Hd + hL$$

$$H (m) = 0,41 \text{ m} + 0,61 \text{ m}$$

$$H (m) = 1,020 \text{ m}$$

Tabla 42. Perdida de carga durante el lavado

Perdida de carga durante el lavado	
Perdida de carga en la arena hL (m)	0.24
Perdida de carga en la antracita hL (m)	0.06
Perdida de carga en la grava hLG (m)	0.11
Perdida de carga total en el lecho hL (m)	0.41
Coeficiente del orificio	0.6
Relación entre el área total de orificios y el área del lecho B	0.6
Perdida en el sistema de drenaje hd	0.61
Factor de fricción f	0.02
Diámetro de la tubería (m)	0.2032
Área del lecho filtrante A (m2)	0.0064
Tasa de lavado Vb (mm/s)	12.5
Pérdida total de carga durante el lavado H (m)	1.020

Fuente: Realización propia.

Y por último se hace la confirmación del sistema auto-lavante

$$\text{Caudal del lavado} = A_s (m^2) * V_a = 0,0081 \text{ L/s}$$

Dónde: A_s : Área superficial del filtro = área del lecho filtrante

V_a : Velocidad ascensional (m/s) = 0,00125 m/s

Tabla 43. Chequeo del funcionamiento del sistema auto-lavante

Chequeo del funcionamiento del sistema auto-lavante	
Área superficial de un filtro (m²)	0.0064
Velocidad ascensional V_a (m/s)	0.00125
Caudal de lavado Q_l (l/s)	0.0081
Caudal de diseño de la planta Q (l/s)	0.01343

Fuente: Realización propia.

Si el caudal de lavado es menor al caudal de diseño de la planta se garantiza que la expansión de haga. En este caso $0,0081 \text{ L/s} < 0,01343 \text{ L/s}$

- **Canaletas de lavado**

$$\text{Caudal por canaleta} = \frac{\text{Caudal del lavado}}{\text{Número de canaletas}} = \frac{0,0081 \frac{l}{s}}{1} = 0,0081 \frac{l}{s}$$

Suponiendo el resto de valores se obtiene lo el siguiente resumen de datos.

Tabla 44. Canaletas de lavado

Canaletas de lavado	
Caudal por canaleta q (l/s)	0.0081
Numero de canaletas por filtro	1.00
Suponiendo b (cm)	15.00
Lámina de agua h_m (cm)	8.00
Borde libre (cm)	3.00

Fuente: Realización propia.

Con lo anterior se obtienen las siguientes dimensiones para las canaletas de lavado a usar

- Altura interior = Lámina de agua + borde libre = 8 cm + 3 cm = 11 cm

- Altura total = $\frac{\text{Lamina de agua} + \text{espesor de la pared}}{100} = \frac{8 \text{ cm} + 15 \text{ cm}}{100 \text{ cm}} = 0.26 \text{ m}$

- Altura de la cresta de la canaleta W (m) = F.S + Altura total + Expansión total del lecho filtrante
 Altura de la cresta de la canaleta W (m) = 1 + 0,26 m + 0,24m = 0.60 m

$$\text{Altura de la lámina de agua sobre la canaleta, } h_c \text{ (m)} = \frac{\frac{Q_{\text{canaleta}} \left(\frac{L}{s}\right)}{100}}{(1.838 \cdot B)^{0.66667}}$$

$$\text{Altura de la lámina de agua sobre la canaleta, } h_c \text{ (m)} = \frac{\frac{0.0081 \left(\frac{L}{s}\right)}{100}}{(1.838 \cdot 0.0801)^{0.66667}} = 0.001439 \text{ m}$$

- Altura del vertedero que controla la hidraulica del lavado y (m) = hLT + hc

- Altura del vertedero que controla la hidraulica del lavado y (m) = 1,02 m + 0,001439m = 1,023 m

Tabla 45. Resumen de datos dimensiones de canaleta

Dimensiones de la canaleta	
Ancho interior (m)	0.15
Altura interior (cm)	11.00
Espesor de la pared supuesto (m)	0.15
Altura total (m)	0.26
Factor de seguridad (m)	0.10
Altura de la cresta de la canaleta W (m)	0.60
Perdida de carga durante el lavado hLT (m)	1.02
Altura de la lámina de agua sobre la canaleta, hc (m)	0.001439

Fuente: Realización propia

- Carga hidráulica disponible

Se aclara que los datos de color rojo que se observan a continuación son los datos asumidos para el diseño de dicho filtro.

Tabla 46. Carga hidráulica disponible

Carga hidráulica disponible	
$\Sigma(xi/di^2)$ para la arena	189.75
$\Sigma(xi/di^2)$ para la antracita	76.31
Coeficiente de esfericidad arena CE	0.80
Coeficiente de esfericidad antracita CE	0.70
Velocidad de filtración VF (m³/m².dia)	300.00
Perdida de carga inicial en la capa de arena en función de la velocidad de filtración. HF1 (m)	4.13E-03
Perdida de carga inicial en la capa de antracita en función de la velocidad de filtración. HF2 (m)	4.88E-03
Caudal por orificio del drenaje durante el proceso de filtración en función de la velocidad de filtración qo (m³/s)	9.32E-10 VF

Perdidas de carga inicial en función de la velocidad inicial HF3 (m)	3.02537E-07
Coeficiente de descarga Cd	0.65
Velocidad en el bloque de concreto en función de la velocidad de filtración VFF (m/s)	2.32E-06 VF
Perdida de carga en el drenaje durante el proceso en función de la velocidad de filtración. HF4 (m)	2.48E-08
Velocidad en la compuerta de entrada Vc1 (m/s)	0.6
Sección de la compuerta de entrada Ac (m2)	0.04
Perdida de carga en la compuerta de entrada HF5 (m)	1.60E-08
Sección de la compuerta de salida Ac2 (m²)	0.000033
Velocidad en la compuerta de salida en función de la velocidad de filtración Vc (m/s)	2.30E-03 VF
Perdida de carga en la compuerta de salida en función de la velocidad de filtración HF6 (m)	2.42E-02
Longitud de la cresta del vertedero de salida (m)	1.00
Sección transversal (m²)	0.032111
Numero de orificios por lateral (Un)	40.00
Numero de laterales (Un)	2.00
Número total de orificios en el drenaje NT	80
Altura del agua en el vertedero de salida en función de la velocidad de filtración HF7 (m)	0.000529
Carga hidráulica disponible para el proceso HT (m)	0.03
Borde libre (m)	0.3
Altura total del filtro (m)	3.15

Fuente: Realización propia

A continuación, en la tabla se mostrará un resumen de los datos obtenidos de las dimensiones del filtro a usar.

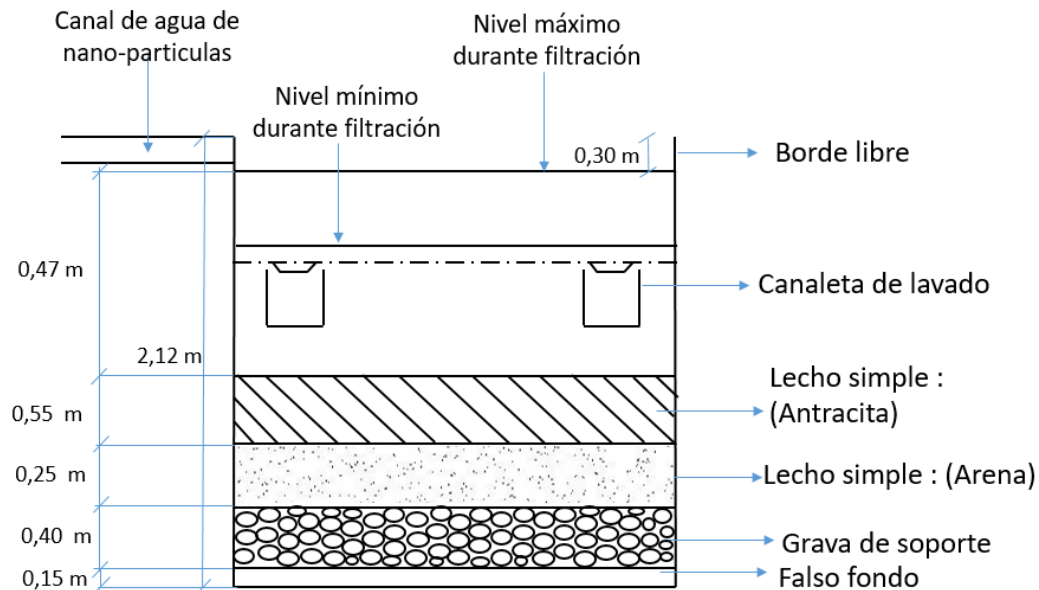
Tabla 47. Resumen de alturas del filtro.

Altura del falso fondo (m)	0,15
Altura del lecho de arena (m)	0,25
Altura del lecho de antracita (m)	0,55
Altura del lecho grava (m)	0,40
Altura del borde libre (m)	0,30
Carga hidráulica disponible para el proceso HT (m)	0.03
Altura de la cresta de la canaleta W (m)	0.60
Altura total del filtro (m)	2,12

Fuente: Realización propia

A continuación, se mostrará un esquema del diseño del filtro mixto:

Imagen 70. Dimensionamiento del filtro rápido mixto (antracita y arena)



Fuente: Realización propia

8.7.9. Diseño del canal.

El canal a usar será igual para cada tramo de tratamiento a tratamiento por lo tanto se diseñó de la siguiente manera donde se usó para el cálculo de la canaleta los siguientes datos:

Tabla 48. Datos de canal

DATOS CANAL	
Q (m3/s)	0,000013504
Distancia (m)	1
Perdida (m)	0,01
Pendiente	0,01
L canal (m)	1,000049999
Coefficiente de manning	0,012

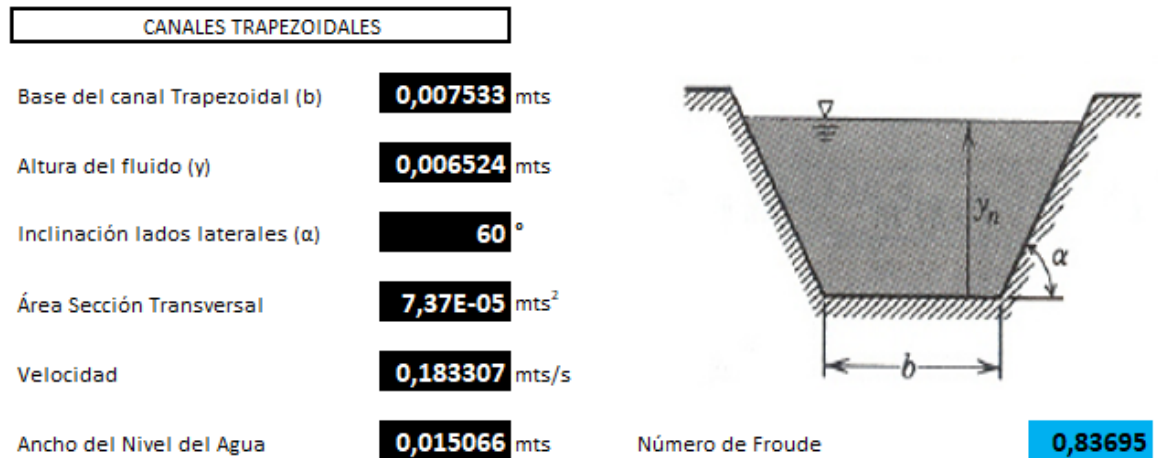
Fuente: Realización propia

El material del canal es de concreto, el cual determina la rugosidad influyendo en las pérdidas por fricción del sistema. El concreto presenta un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.014. De lo anterior se tiene la siguiente expresión:

$$\eta_{concreto}=0,014$$

Por otro lado, se hizo el uso de una plantilla de Excel la cual tiene en cuenta la ecuación de Chezy- Manning para obtener un diseño óptimo de la canaleta dependiendo del caudal. Se tienen 3 tipos de canales, trapezoidales, rectangulares y triangulares. A continuación, se ilustrarán las características del canal rectangular con su respectivo esquema el cual fue la opción más óptima:

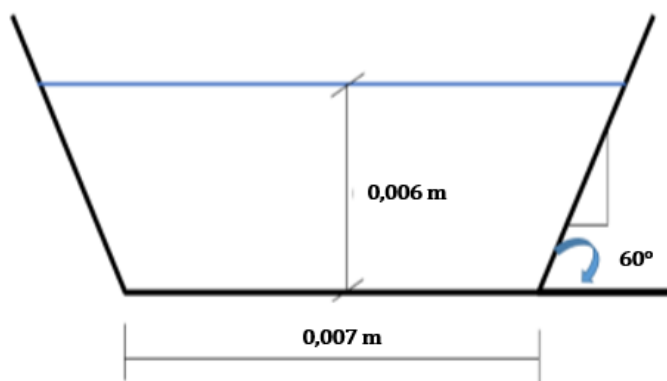
Imagen 71. Diseño del canal.



Fuente: (Diseño de canales, 2016)

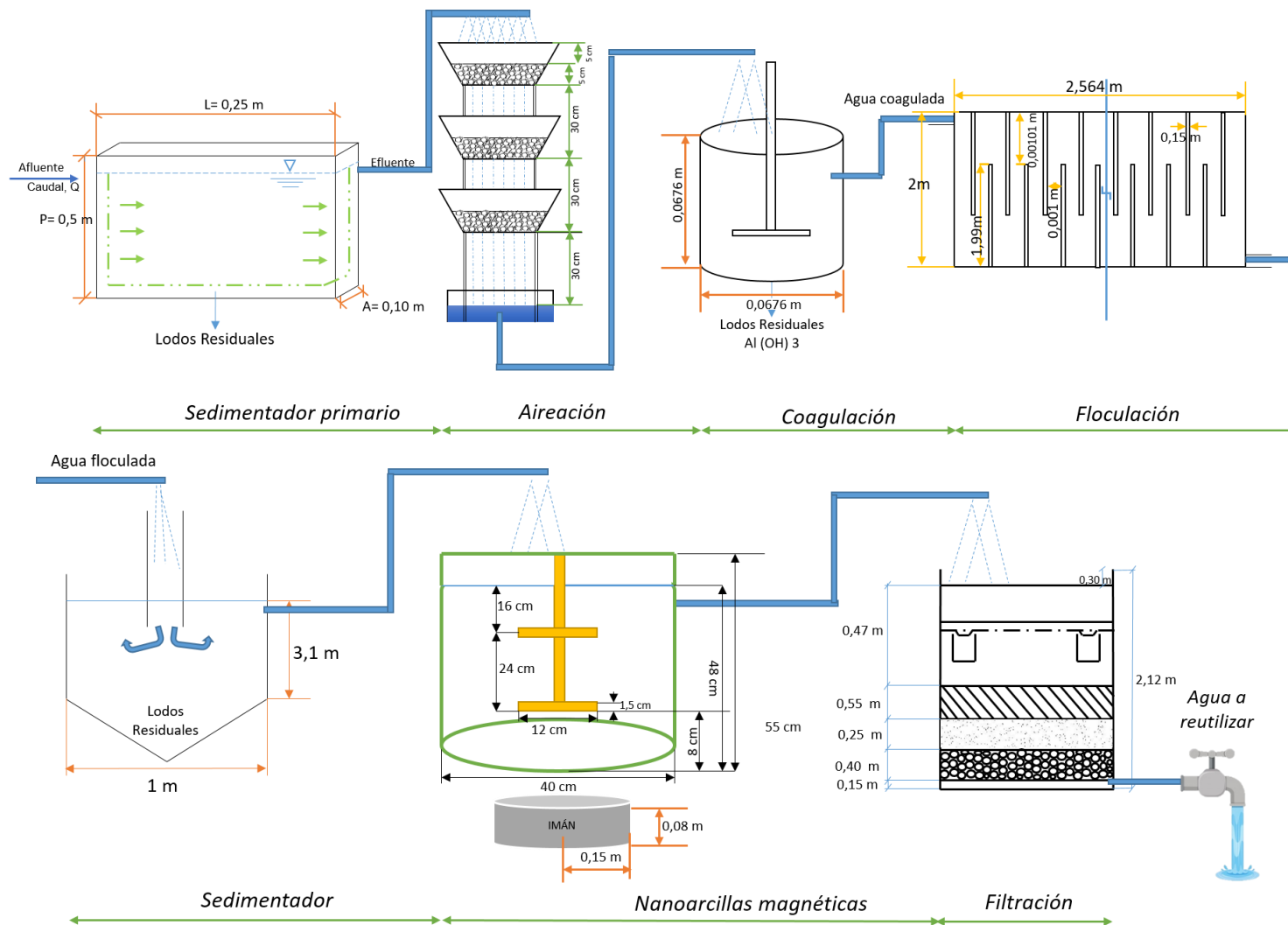
Finalmente, el canal para conducir el flujo en todo el tratamiento se debe construir con las siguientes características geométricas:

Imagen 72. Diseño final del canal.



Fuente: Propia.

Imagen 73. Diseño del canal



Fuente: Propia.

CONCLUSIONES

- El agua sintética empleada en los diferentes tratamientos para la reutilización en riego agrícola puede presentar analogía con el agua obtenida directamente de la fábrica de bocadillos ya que las dos presentan comportamientos y parámetros similares. Por otro lado, la obtención del agua sintética generó ventajas en cuanto al transporte hasta los diferentes laboratorios, la cantidad empleada en cada simulación de tratamiento y el traslado de la muestra de agua real, ya que la fábrica de bocadillos se encuentra ubicada en Vélez – Santander a 5 horas, por vía terrestre, aproximadamente de Bogotá.
- Las pruebas de laboratorio de pretratamiento, tratamientos primarios y terciarios lograron simular los procesos de una planta de tratamiento real, para llegar a reutilizar el agua residual industrial en riego agrícola, ya que se llevaron a cabo diferentes procesos como el test de jarras, sedimentación, aireación, filtración, entre otras prácticas de laboratorio, las cuales fueron necesarias para la obtención de parámetros admisibles según lo requiere la norma que brinda la Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA).
- La implementación de una sedimentación primaria logró la separación, gracias a la acción de la gravedad, de las fases sólidas (suspensión concentrada de residuos de guayaba) con la líquida (líquido claro), el cual fue de gran importancia debido a que al pasar la muestra de agua tratada al proceso de coagulación-floculación-sedimentación no había presencia de residuos que obstruyeran la agitación en el test de jarras.
- En el tratamiento simulado para la Coagulación-Floculación-Sedimentación (Test de jarras), las partículas se agruparon formando flóculos los cuales adquirieron mayor masa depositándose en el fondo mediante el proceso de sedimentación, es decir que, la velocidad, la cantidad de coagulante y la muestra de agua estuvieron adecuados para el desarrollo del test de jarras y sedimentación. Por otro lado, observando la función del sulfato de aluminio tipo II como coagulante, se concluye que el que tenía un volumen de 130 ml, formó los flóculos de mejor manera ya que en la toma de parámetros se evidenció la turbiedad más baja, teniendo en cuenta que para disminuir la turbidez en una muestra de agua no es necesario manejar las concentraciones de coagulante más altas. De la misma manera, en el tratamiento de coagulación se altera el equilibrio del sistema carbonatado, tendiendo a disminuir el pH y la alcalinidad debido a que cuando el coagulante se diluye la hidrólisis libera iones de hidrógeno, por lo que fue necesario antes de someter el agua al proceso de test de jarras, subir el pH ya que se encontraba en 3,65.
- Se logró realizar la síntesis de las nanopartículas magnéticas con la implementación de arcilla bentonita mediante el método de síntesis verde, es decir,

un método más ecológico a los convencionales, lo cual determinó el tamaño de las nanopartículas magnéticas de 90nm con remanencia de magnetización igual cero.

- En la implementación de las nano-arcillas la velocidad, el tiempo de agitación y el tiempo en el que se dejó el imán de neodimio, fueron los necesarios para que las nano-partículas de arcilla adsorbieran un porcentaje mayor, por ende, tener una eliminación alta de los metales presentes en la muestra de agua tratada. El uso del imán de neodimio fue indispensable ya que debido a sus propiedades magnéticas (campo magnético) llevo al fondo del recipiente las nano-partículas para que en los procesos de tratamiento consecuentes se pudieran decantar y retirar el líquido flotante. Con la implementación de nanotecnología en el tratamiento de aguas residuales se concluye que es un gran potencial ya que pueden dar solución global a algunos problemas, se puede decir que los contaminantes que contiene el agua residual pueden llegar a ser removidos de una forma efectiva, así sea en pequeñas concentraciones, dependiendo de la nanotecnología implementada.

- El diseño conceptual de cada tratamiento cumplió con los rangos establecidos respectivamente en la RAS y en las guías empleadas respectivamente, tales como alturas, profundidades o velocidades, teniendo en cuenta que en todos los diseños se empleó el caudal real proveniente de la fábrica de bocadillos ubicada en Vélez – Santander.

- En los ensayos donde se determinaron las características del nanomaterial se logró comprobar que la impregnación con las nanopartículas fue optima, debido a que en los resultados se observaron y se aseguraron que el nanomaterial estaba compuesto de magnetita y de arcilla bentonita.

- Se determinó que el agua residual tratada luego del proceso de nano-arcillas magnéticas, si se pasa por medio de la filtración, se podrá reutilizar en el riego agrícola debido a que cuando se filtró el agua, se eliminaron residuos contaminantes para el cumplimiento de los parámetros brindados en la norma EPA. Por otro lado, se concluye que, los tres materiales empleados en la fabricación del filtro (arena de río, grava y antracita) cumplieron las características necesarias para poder llevar a cabo una filtración eficiente junto con las dimensiones usadas.

RECOMENDACIONES

- Para llevar a cabo la obtención del agua sintética de la fábrica de bocadillos se debe tener en cuenta que la comparación de algunos parámetros de la caracterización inicial de la muestra real no debe cambiar de manera drástica ya que esto generaría dificultades al momento de someter la muestra a los diferentes tratamientos propuestos.
- Si el valor de pH después del proceso de filtración no se encuentra dentro del rango óptimo de 6- 9 se recomienda realizar un proceso para el balance de este
- Se recomienda refrigerar la muestra de agua en caso de que se demore la asignación de los laboratorios o mientras esta se vaya a someter en los tratamientos, de lo contrario podría generarse alteraciones en los parámetros físico-químicos y biológicos.
- En el caso de implementación de tratamientos al agua proveniente de una fábrica de bocadillos para el reúso en riego agrícola, no es recomendable utilizar el proceso de oxidación (Fenton) como tratamiento secundario, ya que éste causó alteraciones drásticas en la turbiedad y con base en esto se decidió anular la oxidación en el tratamiento a realizar y por ende en el diseño conceptual.
- El método de test de jarras como simulación de proceso de c-f-s se puede utilizar cuando se requiera determinar la dosis óptima exacta de coagulante a usar en una planta de tratamiento real ya que de esta manera no se desperdicia coagulante.
- En la fabricación del filtro no se debe compactar el material debido a que entre más espacio de vacíos se tenga entre las partículas de cada material el agua podrá filtrar de una manera más rápida. Es importante revisar las pérdidas del agua antes y después de ser filtrada el agua ya que este dato es necesario para conocer la cantidad exacta del agua que se va a reutilizar, teniendo en cuenta que la turbiedad final obtenida no cumplió con los parámetros admisibles según la Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA) se recomienda volver a filtrar el agua para que la turbiedad tenga un valor menor o igual a 2 NTU.
- Debido que, aunque el valor del hierro y el aluminio cumplieron los rangos establecidos por la Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA), uno de estos luego de ser sometido a las nano-partículas de arcilla aumento su valor, se recomienda usar un imán con una capacidad magnética más fuerte para que se pueda remover un porcentaje mayor al observado en la caracterización inicial de la muestra de agua.
- Para realizar el proceso de coagulación y floculación se recomienda que durante el proceso de coagulación de hacer la homogenización del agua residual con el

coagulante no se sobrepase la velocidad y tiempo de 100 rpm en un minuto para que no rompa los flóculos formados. Asimismo, después del proceso de floculación se debe dejar los recipientes en reposo durante 40 a 50 minutos para así garantizar una total sedimentación de los flóculos.

BIBLIOGRAFIA

1. AL-GHOUTI, M.A., AL-KAABI, M.A., ASHFAQ, M.Y. y DA'NA, D.A., 2019. Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. *Journal of Water Process Engineering* [en línea], vol. 28, pp. 222-239. [Consulta: 26 marzo 2019]. ISSN 2214-7144. DOI 10.1016/J.JWPE.2019.02.001. Disponible en: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/S2214714418306858>.
2. ALIANZA UNINORTE CON EL HERALDO, 2019. Abastecimiento de agua potable. *Agricultura en el mundo* [en línea]. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.elheraldo.co/economia/la-agricultura-consume-el-70-del-agua-en-el-mundo-188535>.
3. ALVAREZ, P.J.J., CHAN, C.K., ELIMELECH, M., HALAS, N.J. y VILLAGRÁN, D., 2018. Emerging opportunities for nanotechnology to enhance water security. *Nature Nanotechnology* [en línea], vol. 13, no. 8, pp. 634-641. [Consulta: 27 marzo 2019]. ISSN 1748-3387. DOI 10.1038/s41565-018-0203-2. Disponible en: <http://www.nature.com/articles/s41565-018-0203-2>.
4. ANDRADE, L., COVELO, E.F. y VEGA, F.A., 2005. Uso de Arcillas Especiales para Depuración de Aguas Residuales. *Información tecnológica* [en línea], vol. 16, no. 1. [Consulta: 13 marzo 2019]. DOI 10.4067/S0718-07642005000100002. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642005000100002&lng=en&nrm=iso&tlng=en.
5. BÉE, A., OBEID, L., MBOLANTENAINA, R., WELSCHBILLIG, M. y TALBOT, D., 2017. Magnetic chitosan/clay beads: A magsorbent for the removal of cationic dye from water. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* [en línea], vol. 421, pp. 59-64. [Consulta: 25 marzo 2019]. ISSN 0304-8853. DOI 10.1016/J.JMMM.2016.07.022. Disponible en: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/S0304885316309507>.
6. BIBIANA, N., POSADA, M., EUNICE, G. y NIÑO, A., 2010. SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* [en línea]. S.I.: [Consulta: 27 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v20n1/v20n1a03.pdf>.
7. CARL-AXEL, I., SODERBERG MIEMBRO, P. y ASESOR, C., 2012. Guías para el reuso de agua residual. [en línea]. S.I.: [Consulta: 14 marzo 2019]. Disponible en: http://www.anagmendez.net/umet/pdf/ambientales_carl_sodenberg_reuso_aguas_residuales.pdf.
8. CHANG, P.-H., LI, Z. y JIANG, W.-T., 2019. Clay minerals for pharmaceutical

wastewater treatment. *Modified Clay and Zeolite Nanocomposite Materials* [en línea], pp. 167-196. [Consulta: 26 marzo 2019]. DOI 10.1016/B978-0-12-814617-0.00011-6. Disponible en: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/B9780128146170000116>.

9. CHIKAZUMI, S., GRAHAM, C.D. (Chad D.. y CHIKAZUMI, S., 2009. *Physics of ferromagnetism*. S.l.: Oxford University Press. ISBN 9780199564811.

10. COCHACHIN ALIAGA ANDRÉS, 2011. Procesos de Manufactura. *PROCESO DE FLOCULACION* [en línea]. [Consulta: 27 marzo 2019]. Disponible en: <http://manu2-2011.blogspot.com/2011/05/proceso-de-floculacion.html>.

11. COLOMBIA, 1991. Constitución Política de Colombia. [en línea]. S.l.: [Consulta: 14 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.registraduria.gov.co/IMG/pdf/constitucion-politica-colombia-1991.pdf>.

12. CONGRESO DE COLOMBIA, 2003. Ley 373. [en línea]. S.l.: [Consulta: 26 marzo 2019]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf.

13. CORAL, D.F. y MERA, J.A., 2017. Ingeniería y Ciencia. *ing. cienc* [en línea], vol. 13, no. 26, pp. 207-232. [Consulta: 26 marzo 2019]. ISSN 2256-4314. DOI 10.17230/ingciencia.13.26.8. Disponible en: <http://www.eafit.edu.co/ingciencia>.

14. CORAL DIEGO F. & MERA JENNY A., 2017. Una guía para el estudio de nanopartículas magnéticas de óxidos de hierro con aplicaciones biomédicas. Parte II. [en línea], [Consulta: 28 septiembre 2019]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v13n26/1794-9165-ince-13-26-00207.pdf>.

15. CREUS, A., FONT, M., HUERTAS, S., HUGUET, J., MARCÓ, J., MOLINAS, P., MORANT, M., MORCILLO, L., ORÓ, J., PELAEZ, C., SANTASMASAS, C., TORMO, V. y VALL, P., 2011. Guía Técnica Española de Recomendaciones para el Reciclaje de Aguas Grises en Edificios. ,

16. CRITTEN, JOHN C. TRUSSELL, RHODES. HAND, DAVID. HOWE, KERRY. TCHOBANOGLIOUS, G., 2014. *MWH Water Treatment Principles and Design*. S.l.: s.n. ISBN 9780123820921.

17. DE AGUA, C. y -ECUADOR, G., 2016. ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA MARITIMA Y CIENCIAS DEL MAR. [en línea]. S.l.: [Consulta: 13 marzo 2019]. Disponible en: [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6145/2/Calidad de Agua Unidad 1,2,3.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6145/2/Calidad%20de%20Agua%20Unidad%201,2,3.pdf).

18. FEDEVELEÑOS, 2011. Proceso del Bocadoillo | bocadoilloveleno. [en línea].

[Consulta: 6 octubre 2019]. Disponible en:
<https://www.bocadillovelenodo.com/proceso-del-bocadillo>.

19. FERNÁNDEZ DEIMAR, D.H.M.F., 2014. *Chef-Ticker Personalprobleme sicher lösen* [en línea]. S.l.: Huss-Medien. [Consulta: 26 marzo 2019]. Disponible en:
http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2305-60102014000200002&script=sci_arttext.

20. FIBRAS Y NORMAS DE COLOMBIA S.A.S., 2018. AGUAS RESIDUALES: *MÉTODOS DE TRATAMIENTO, VENTA | Definiciones FYN ingeniería en agua* [en línea]. [Consulta: 12 marzo 2019]. Disponible en:
<https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/aguas-residuales-metodos-de-tratamiento/>.

21. GHIMPUSAN, M., NECHIFOR, G., NECHIFOR, A.-C., DIMA, S.-O. y PASSERI, P., 2017. Case studies on the physical-chemical parameters' variation during three different purification approaches destined to treat wastewaters from food industry. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 203, pp. 811-816. [Consulta: 26 marzo 2019]. ISSN 0301-4797. DOI 10.1016/J.JENVMAN.2016.07.030. Disponible en: [https://www.sciencedirect-com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/S0301479716304674](https://www.sciencedirect.com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/S0301479716304674).

22. IRAWAN, C., NATA, I.F. y LEE, C.-K., 2019. Removal of Pb(II) and As(V) using magnetic nanoparticles coated montmorillonite via one-pot solvothermal reaction as adsorbent. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea], vol. 7, no. 2, pp. 103000. [Consulta: 25 marzo 2019]. ISSN 2213-3437. DOI 10.1016/J.JECE.2019.103000. Disponible en: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/S221334371930123X>.

23. ISSA, J., 2019. No TitleEΛENH. *Αγανη*, vol. 8, no. 5, pp. 55.

24. LIM, J., YEAP, S.P. y LOW, S.C., 2014. Challenges associated to magnetic separation of nanomaterials at low field gradient. *Separation and Purification Technology* [en línea], vol. 123, pp. 171-174. ISSN 13835866. DOI 10.1016/j.seppur.2013.12.038. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2013.12.038>.

25. MARIMÓN-BOLÍVAR, W. y GONZÁLEZ, E.E., 2018. Green synthesis with enhanced magnetization and life cycle assessment of Fe₃O₄ nanoparticles. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* [en línea], vol. 9, pp. 58-66. [Consulta: 26 marzo 2019]. ISSN 2215-1532. DOI 10.1016/J.ENMM.2017.12.003. Disponible en: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/S2215153217301745>.

26. MARIMÓN-BOLÍVAR, W. y GONZÁLEZ, E.E., 2018. Study of agglomeration

and magnetic sedimentation of Glutathione@Fe₃O₄ nanoparticles in water medium. *DYNA*, vol. 85, no. 205, pp. 19-26. ISSN 2346-2183. DOI 10.15446/dyna.v85n205.68245.

27. MARIMÓN-BOLÍVAR, W., TEJEDA-BENÍTEZ, L. y HERRERA, A.P., 2018. Removal of mercury (II) from water using magnetic nanoparticles coated with amino organic ligands and yam peel biomass. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* [en línea], vol. 10, pp. 486-493. [Consulta: 26 marzo 2019]. ISSN 2215-1532. DOI 10.1016/J.ENMM.2018.10.001. Disponible en: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/S2215153218301612>.

28. MARIMON BOLIVAR, W., 2018. Ingeniería de Nanopartículas Magnéticas para la remoción de metales pesados en aguas. [en línea]. S.l.: [Consulta: 27 marzo 2019]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/39649/Documento.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

29. MARIMON BOLIVAR, W., [sin fecha]. Ingeniería de Nanopartículas Magnéticas para la remoción de metales pesados en aguas. [en línea]. S.l.: [Consulta: 26 marzo 2019]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/39649/Documento.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

30. MARYAM, B. y BÜYÜKGÜNGÖR, H., 2017. Wastewater reclamation and reuse trends in Turkey: Opportunities and challenges. *Journal of Water Process Engineering* [en línea], [Consulta: 25 marzo 2019]. ISSN 2214-7144. DOI 10.1016/J.JWPE.2017.10.001. Disponible en: <https://www-sciencedirect-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/science/article/pii/S2214714416306237>.

31. MAURICIO LUQUE, 2016. Problemática global del agua - Estadísticas clave. *Estadísticas del agua en el mundo* [en línea]. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.solociencia.com/ecologia/problematika-global-agua-estadisticas-clave.htm>.

32. MUÑOZ CRUZ AMILCAR, 2008. Caracterización y tratamiento de aguas residuales. [en línea]. S.l.: [Consulta: 12 marzo 2019]. Disponible en: http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/514/Caracterizacion_y_tratamiento_de_aguas_residuales.pdf;jsessionid=B32A11765558BD76CCC1FFB303D89226?sequence=1.

33. NADOLL, P., ANGERER, T., MAUK, J.L., FRENCH, D. y WALSHE, J., 2014. The chemistry of hydrothermal magnetite: A review. *Ore Geology Reviews* [en línea], vol. 61, pp. 1-32. [Consulta: 26 marzo 2019]. ISSN 0169-1368. DOI 10.1016/J.OREGEOREV.2013.12.013. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169136813003028?via%3Dihub>.

34. Nanotechnology for water purification: applications of nanotechnology methods in wastewater treatment. [en línea], 2017. pp. 33-74. [Consulta: 26 marzo 2019]. DOI 10.1016/B978-0-12-804300-4.00002-2. Disponible en: [https://www.sciencedirect-com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/B9780128043004000022](https://www.sciencedirect.com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/B9780128043004000022).

35. Nanotechnology for water treatment: A green approach. [en línea], 2019. pp. 485-512. [Consulta: 26 marzo 2019]. DOI 10.1016/B978-0-08-102579-6.00021-6. Disponible en: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/B9780081025796000216>.

36. NATIONAL MARINE SANCTUARIES, 2017. Water Quality. *describes the condition of the wate* [en línea]. [Consulta: 12 marzo 2019]. Disponible en: <https://floridakeys.noaa.gov/ocean/waterquality.html>.

37. NUÑEZ, J.. y UDEOS, T., 2015. «Diseño, Construcción y Operación de un Reactor Batch para saponificar Acetato de Etilo&». [en línea], pp. 171. Disponible en: https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/34064/1/20151SFMAR052801_2.PDF.

38. OLGA, M., BACTERIÓLOGA, N.R., ACTUALIZADO, R.Y., MARÌA, P., GAITAN, S. y DE ALIMENTOS, I., 2007. Demanda Bioquímica De Oxígeno – 5 Días En Aguas. [en línea], Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioquímica+de+Oxígeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>.

39. ÖLMEZ, H., 2013. Water Consumption, Reuse and Reduction Strategies in Food Processing. *Sustainable Food Processing*, pp. 401-434. DOI 10.1002/9781118634301.ch17.

40. PADILLA, A., 2013. Flujos de CO2 agua-atmósfera en sistemas costeros. , pp. 35.

41. PAL, P. y PAL, P., 2017. Nanotechnology in Water Treatment. *Industrial Water Treatment Process Technology* [en línea], pp. 513-536. [Consulta: 12 marzo 2019]. DOI 10.1016/B978-0-12-810391-3.00007-2. Disponible en: [https://www-sciencedirect-com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/B9780128103913000072](https://www.sciencedirect-com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/B9780128103913000072).

42. PAREDES DAISSY, 2015. Síntesis de nano-partículas metálicas nano-encapsuladas. [en línea], [Consulta: 28 septiembre 2019]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2015/156123.pdf>.

43. PATANJALI, P., SINGH, R., KUMAR, A. y CHAUDHARY, P., 2019. Nanotechnology for water treatment: A green approach. *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles* [en línea], pp. 485-512. [Consulta: 26 marzo 2019]. DOI 10.1016/B978-0-08-102579-6.00021-6. Disponible en: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/B9780081025796000216>.
44. PATRICIA RESTREPO MEJÍA, A., ARANGO RUIZ, Á. y FERNANDO GARCÉS GIRALDO, L., 2006. Electrocoagulation: Challenges and opportunities in water treatment Artículo de Revisión. [en línea]. S.l.: [Consulta: 13 marzo 2019]. Disponible en: http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/514/1/pl_v1n2_58-77_electrocoagulacion.pdf.
45. PEÑA MIXZAIDA, 2017. Problemas con el recurso agua. [en línea]. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/mixzaida-pena/problemas-recurso-agua>.
46. PÉREZ P. JORGE ARTURO, 1981. Tratamiento de aguas. [en línea], [Consulta: 30 septiembre 2019]. Disponible en: http://bdigital.unal.edu.co/70/6/45_-_5_Capi_4.pdf.
47. RODRIGUEZ SADDYS, 2007. OBTENCIÓN DE NANOPARTÍCULAS Y NANOORDENAMIENTOS METÁLICOS EMPLEANDO LA QUÍMICA DE LOS COMPUESTOS DE INCLUSIÓN. [en línea], [Consulta: 28 septiembre 2019]. Disponible en: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/105243/rodriguez_s.pdf?sequence=3&isAllowed=y.
48. ROMERO, J.A., 2002. *Romero Rojas Jairo Alberto - Potabilizacion Del Agua.pdf*. 2002. S.l.: s.n.
49. SÁENZ GERARDO, 2018. Calidad del Agua. *Producción de Alimentos y Bebidas* [en línea]. [Consulta: 26 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.domosagua.com/blog/calidad-agua-produccion-alimentos-bebidas>.
50. Teoría de Sedimentación – Tratamiento del Agua. «*Tratamiento del agua*» [en línea], 2015. [Consulta: 27 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.tratamientodelagua.com.mx/teoria-de-sedimentacion/>.
51. ÚNICO, C. y INDICADOR, I., 2012. República de Colombia Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales Índice de calidad del aire (ICA) (Hoja metodológica versión 1 , 00). , no. 571, pp. 1-14.
52. VELIZ, E., LLANES, J.G., FERNÁNDEZ, L.A. y BATALLER, M., 2016.

Tecnología y Ciencias del Agua. [en línea]. S.l.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. [Consulta: 25 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353544005002>.

53. Wastewater treatment. *Conventional wastewater treatment processes* [en línea], 2016. [Consulta: 12 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/t0551e/t0551e05.htm>.

54. Water Quality. [en línea], 2019. [Consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/>.

55. YADAV, V.B., GADI, R. y KALRA, S., 2019. Clay based nanocomposites for removal of heavy metals from water: A review. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 232, pp. 803-817. [Consulta: 25 marzo 2019]. DOI 10.1016/J.JENVMAN.2018.11.120. Disponible en: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/S0301479718313859>.

ANEXOS

ANEXO A. Caracterización inicial y final de la muestra.

-Caracterización inicial

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS			
INFORME DE ENSAYO			
CÓDIGO ORDEN:	039-19 y 039(1)-19	CLIENTE:	Universidad Católica de Colombia
PROYECTO:	Desarrollo de un metodología para la evaluación de autodepuración de corrientes superficiales a nivel cuenca	TELEFONO:	3277300/3245
1. CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA Muestra preservada para ensayos de aniones y sólidos totales			
Temperatura	(°C)	4°C	
Volumen de muestra	(L)	1000	
Tipo de preservación	Refrigerado		
Tipo de recipiente	Plástico		

CAMPAÑA DOS							
Código de muestras	Referencia	Fecha de muestreo	Fecha de recepción	Fecha de análisis	Fosforo total mgP-PO ₄ /L	Fecha de análisis	NTK mgN-NH ₄ /L
V1	039-V1	27/08/2019	28/08/2019	2019-09-06	0.853	2019-09-04	44.79
V2	039-V2	27/08/2019	28/08/2019			2019-09-04	1.36
Limite detectable					0,007 mg/L		0,1 mg/L

CAMPAÑA DOS							
Fecha de análisis	Sólidos totales mg-ST/L	Fecha de análisis	Cloruros mg-Cl/L	Nitritos mgN-NO ₂ /L	Nitratos mgN-NO ₃ /L	Fosfatos mgP-PO ₄ /L	Sulfatos mgSO ₄ /L
2019-09-04	9400.0	2019-08-29	151.0	ND	10.6	9.7	11.9
2019-09-04	61.0	2019-08-29	3.6	ND	20.2	0.3	3.2
Limite detectable	2,5 mg/L		0,5 mg/L	0,5 mg/L	0,5 mg/L	0,5 mg/L	0,5 mg/L

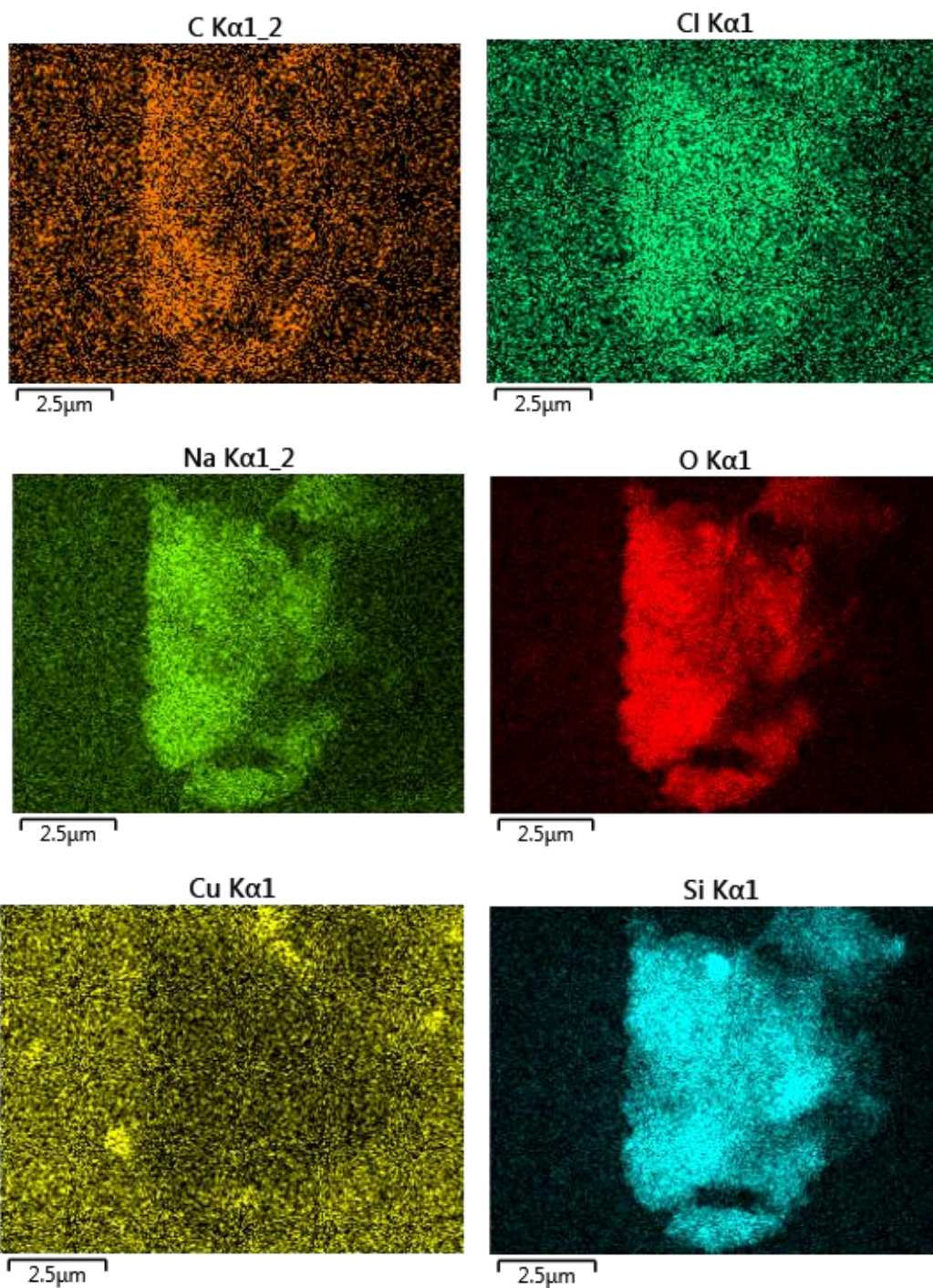
- **Caracterización Final.**

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS INFORME DE ENSAYO																											
CÓDIGO ORDEN: 040 Desarrollo de un metodología para la evaluación de autodepuración de corrientes superficiales a nivel cuenca	CLIENTE: Universidad Católica de Colombia																										
PROYECTO:	TELEFONO: 3277300/3245																										
1. CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA <p style="text-align: center;">Muestra preservada para ensayos de aniones y sólidos totales</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="width: 30%;">Temperatura</td> <td style="width: 20%;">(°C)</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">4°C</td> </tr> <tr> <td>Volumen de muestra</td> <td>(L)</td> <td style="text-align: center;">1000</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Tipo de preservación</td> <td>Refrigerado</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Tipo de recipiente</td> <td>Plástico</td> </tr> </table> <p style="margin-top: 10px;">Muestras preservadas para ensayos de fósforo total y NTK</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="width: 30%;">Temperatura</td> <td style="width: 20%;">(°C)</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">4°C</td> </tr> <tr> <td>Volumen de muestra</td> <td>(L)</td> <td style="text-align: center;">500</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Tipo de preservación</td> <td>H2SO4</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Tipo de recipiente</td> <td>Vidrio ámbar y plástico</td> </tr> </table>				Temperatura	(°C)	4°C	Volumen de muestra	(L)	1000	Tipo de preservación		Refrigerado	Tipo de recipiente		Plástico	Temperatura	(°C)	4°C	Volumen de muestra	(L)	500	Tipo de preservación		H2SO4	Tipo de recipiente		Vidrio ámbar y plástico
Temperatura	(°C)	4°C																									
Volumen de muestra	(L)	1000																									
Tipo de preservación		Refrigerado																									
Tipo de recipiente		Plástico																									
Temperatura	(°C)	4°C																									
Volumen de muestra	(L)	500																									
Tipo de preservación		H2SO4																									
Tipo de recipiente		Vidrio ámbar y plástico																									

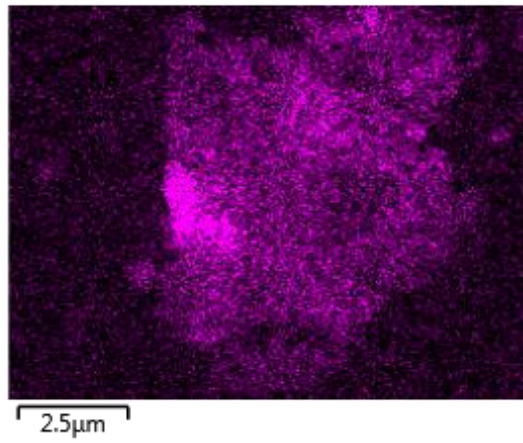
CAMPAÑA UNO									
Código de muestras	Fecha de recepción	Fecha de análisis	Fosforo total mgP-PO ₄ /L	Cloruros mgCl/L	Nitritos mgN-NO ₂ /L	DBO mg/L	Nitratos mgN-NO ₃ /L	Fosfatos mgP-PO ₄ /L	Sulfatos mgSO ₄ /L
Residual	8/10/2019	15/10/2019	1.27	0.92	1.00	6.80	2.50	0.98	2.50
Limite detectable			0,007 mg/L	0,5 mg/L	0,5 mg/L		0,5 mg/L	0,5 mg/L	0,5 mg/L

ANEXO B. Microscopia electrónica de barrido.

Diagrama EDS que revela la presencia de Cobre, Cloro, Sodio, Hierro, Sílice, carbono y oxígeno en la muestra.



Fe K α 1



ANEXO C. RAS 2000.

E.4.6.2.9 Sedimentador secundario

E.4.6.2.9.1 Geometría

Se recomienda el uso de sedimentadores secundarios circulares y rectangulares. El empleo de otro tipo de sedimentadores debe ser sustentado técnicamente. Para los circulares se recomienda usar diámetros entre 3 y 60 m y que el radio no exceda cinco veces la profundidad del agua. Para diámetros mayores o iguales a 27 m se recomienda utilizar profundidades entre 4.9 y 6 m. Se recomienda la colocación de pantallas verticales desde el fondo e inclinados desde las paredes con el fin de prevenir la salida de sólidos del tanque por corrientes de densidad o térmicas. Para los tanques rectangulares se recomienda que la longitud no exceda de 10 a 15 veces la profundidad. Si el ancho del tanque es mayor a 6 m, se recomienda usar un mecanismo colector de lodos múltiple. Independientemente de la forma del tanque, el colector de lodos debe cumplir con las siguientes características operacionales:

- Debe tener una alta capacidad para que, cuando se desee una alta tasa de recirculación de lodos, no se formen canales en la capa superior del líquido a través del lodo.
- El mecanismo debe ser suficientemente resistente para transportar y remover los lodos densos que pueden acumularse en el tanque de sedimentación durante períodos de fallas mecánicas o en el suministro de energía.

El área superficial debe calcularse como la mayor entre las áreas calculadas con la tasa de desbordamiento superficial y la tasa másica de carga. El criterio hidráulico recomendado para determinar el área requerida es el siguiente: para sedimentadores secundarios siguiendo un proceso de filtros percoladores o un proceso de lodos activados, escoger la mayor área calculada con el caudal pico y el caudal promedio. Con respecto a la carga por el rebosadero se recomienda un rango entre 124 y 375 m³/m/día. Para tanques circulares alimentados por el centro, se recomienda una colocación del rebosadero a dos tercios o tres cuartos de la distancia radial.

E.4.6.2.9.2 Tasa de desbordamiento superficial

En los casos en que no es posible realizar ensayos de sedimentación para determinar la tasa de desbordamiento superficial, se recomiendan los siguientes valores según el tipo de tratamiento que la preceda y para caudales medio diario y máximo horario.

TABLA E.4.15
Valores de TDS recomendadas

Tipo de tratamiento	Tasa de desbordamiento superficial (m ³ /m ² /d)	
	Caudal promedio	Caudal pico
Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados (excluyendo aireación extendida)	16-32	40-48
Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados con oxígeno	16-32	40-48
Sedimentación siguiendo un proceso de aireación extendida	8-16	24-32
Sedimentación seguida por filtros percoladores	16-24	40-48
Sedimentación seguida por biodiscos		
<i>Efluente secundario</i>	16-32	40-48
<i>Efluente nitrificado</i>	16-24	32-40

E.4.6.2.9.3 Tasa másica de carga

La tasa másica de carga debe calcularse dividiendo la tasa de sólidos totales aplicados, (kg/día), entre el área superficial del tanque. Se deben usar los siguientes valores de TMC para condiciones de caudal promedio y pico:

TABLA E.4.16
Tasas de carga másica

Tipo de tratamiento	Carga másica (kg/m ² /día)	
	Caudal promedio	Caudal pico
Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados (excluyendo aireación extendida)	98-147	245
Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados con oxígeno	123-172	245
Sedimentación siguiendo un proceso de aireación extendida	25 -123	168
Sedimentación seguida por filtros percoladores	72-123	192
Sedimentación seguida por biodiscos		
<i>Effluente secundario</i>	100 - 144	245
<i>Effluente nitrificado</i>	72 - 123	192

E.4.6.2.9.4 Profundidad del tanque

Se recomiendan los siguientes valores de profundidad de agua en el tanque de sedimentación secundaria :

TABLA E.4.17
Valores de profundidad de agua

Tipo de tratamiento	Profundidad (m)
Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados (excluyendo aireación extendida)	3.6-4.6
Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados con oxígeno	3.6-4.6
Sedimentación siguiendo un proceso de aireación extendida	3.6-4.6
Sedimentación siguiendo un proceso de filtros percoladores	3.0-3.6
Sedimentación siguiendo un proceso de biodiscos	
<i>Effluente secundario</i>	3.0-3.6
<i>Effluente nitrificado</i>	3.0-3.6

TABLA E.4.17
Valores de profundidad de agua

Tipo de tratamiento	Profundidad (m)
Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados (excluyendo aireación extendida)	3.6-4.6
Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados con oxígeno	3.6-4.6
Sedimentación siguiendo un proceso de aireación extendida	3.6-4.6
Sedimentación siguiendo un proceso de filtros percoladores	3.0-3.6
Sedimentación siguiendo un proceso de biodiscos	
<i>Effluente secundario</i>	3.0-3.6
<i>Effluente nitrificado</i>	3.0-3.6

5. Espesor del manto de lodos

La profundidad de la sección de espesamiento del tanque de sedimentación debe ser adecuada para:

- Asegurar el mantenimiento de una profundidad adecuada del manto de lodos para que no recirculen los sólidos que aún no se han espesado.
- Almacenar temporalmente los sólidos que se aplican periódicamente, cuando haya exceso de la capacidad de transmisión de la suspensión dada.

E.4.6.2.9.5 Evaluación de valores experimentales de tasa másica de carga.

En caso de que el diseñador utilice diferentes valores de tasa másica de carga a los que aparecen en la tabla E.4.16 para obtener el área del sedimentador, éste, debe obtener dichos valores a partir de un análisis de flujo de sólidos en el laboratorio y demostrar ante la autoridad competente la veracidad de los resultados obtenidos así como la metodología utilizada para realizar dicho ensayo. En caso de utilizar un procedimiento distinto, también debe sustentar la calidad de los datos obtenidos.