

**ANÁLISIS DE DIFERENTES ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS
AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS GENERADAS EN EL HEMOCENTRO DEL
CAFÉ Y TOLIMA GRANDE**

**Andy Sebastián Casallas Téllez
Johanna Valeria Sánchez Duque**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Manizales

2019 – I

**ANÁLISIS DE DIFERENTES ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS
AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS GENERADAS EN EL HEMOCENTRO DEL
CAFÉ Y TOLIMA GRANDE**

**ANDY SEBASTIAN CASALLAS TELLEZ
JOHANNA VALERIA SANCHEZ DUQUE**

**Trabajo de grado articulado al:
Hemocentro del café y Tolima grande**

**Como requisito parcial para obtener el título de
Ingenieros Ambientales**

**PhD Javier Mauricio Naranjo Vasco
Profesor investigador**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Manizales

2019 – I

Tabla de contenidos

1.	Resumen.....	11
2.	Abstract.....	13
3.	Introducción.....	14
4.	Planteamiento central.....	15
5.	Objetivos.....	16
	5.1 Objetivo general.....	16
	5.2. Objetivos específicos.....	16
6.	Marco teórico.....	17
	6.1 Tratamientos a nivel nacional e internacional.....	17
	6.2 Neutralización.....	17
	6.3 Sangre.....	19
	6.4 Adsorbentes.....	20
	6.5 Carbón activado.....	26
	6.6 Tratamientos avanzados.....	29
	6.7 Isotermas de adsorción.....	30
	6.8 Regeneración del carbón.....	32
	6.9 Normatividad.....	40
7.	Metodología.....	44
8.	Resultados.....	46
	8.1 Diseño experimental.....	46
	8.1.1 Experimento 1.....	46
	8.1.2 Experimento 2.....	49
	8.1.3 Experimento 3.....	54
	8.1.4 Experimento 4.....	74
	8.1.5 Experimento 5.....	83
	8.1.6 Experimento 6.....	85
9.	Conclusiones.....	96
10.	Recomendaciones.....	99
11.	Bibliografía.....	101
12.	Anexos.....	105

Tabla de figuras.

Figura 1: Estructura molecular de la sangre.	20
Figura 2. Tecnología de membranas de nanofiltración.	23
Figura 3. Representación esquemática del proceso (Fenton)	24
Figura 4. Vista tridimensional del carbón activado.	27
Figura 5. Mecanismo de regeneración.	32
Figura 6. Disoluciones (Agua-sangre).	46
Figura 7. Medición de pH inicial con papel tornasol.	46
Figura 8. Medición de pH final con papel tornasol.	47
Figura 9. Mezcla de muestras con carbón activado.	47
Figura 10. Sedimentación de carbón activado.	48
Figura 11. Muestra filtrada C1.	48
Figura 12. Muestra filtrada C2.	49
Figura 13. Muestra filtrada C3.	49
Figura 14. Solución madre 250 ml.	50
Figura 15. Solución madre.	50
Figura 16. Disoluciones a diferentes concentraciones.	51
Figura 17. Resultados de la absorbancia.	51
Figura 18. Curva de calibración.	51
Figura 19. Carbón vegetal.	57
Figura 20. Etapa de pulverización del carbón vegetal.	56
Figura 21. Carbón vegetal pulverizado.	56
Figura 22. Tamizaje.	56
Figura 23. Tamizaje del carbón.	57

Figura 24. Peso del carbón vegetal de 0,26g a una concentración del 5%.	58
Figura 25. Carbón vegetal.	58
Figura 26. Carbón vegetal con 5 ml de las diluciones preparadas.....	59
Figura 27. Muestras en agitación por un periodo de 88 horas aproximadamente.	59
Figura 28. Tamizaje carbón activado.	65
Figura 29. Carbón activado pulverizado.	65
Figura 30. Peso del carbón activado (0.26g).	66
Figura 31. Disoluciones con carbón activado.....	66
Figura 32. Muestra 1 y muestra 2 con 500 ml de agua destilada.	74
Figura 33. Muestra de sangre humana.	74
Figura 34. Adición de las gotas de sangre a las muestras con agua destilada.	75
Figura 35. Muestra 1 (40 gotas de sangre humana).	75
Figura 36. Muestra 2 (80 gotas de sangre humana).	75
Figura 37. Hipoclorito de sodio.	77
Figura 38. Adición de 1 ml de hipoclorito para la muestra 1 (40 gotas).	77
Figura 39. Adición de 1 ml de hipoclorito de sodio para la muestra 1 (80 gotas).....	78
Figura 40. Adición de 2 ml de hipoclorito de sodio muestra 1 (40gotas) y 2 (80 gotas).78	
Figura 41. Adición de 3 ml de hipoclorito de sodio muestra 1(40 gotas) y 2 (80 gotas).79	
Figura 42. Adición de 4 ml de hipoclorito de sodio muestra 1(40 gotas) y 2 (80 gotas).79	
Figura 43. Muestras finales con hipoclorito de sodio a diferentes concentraciones.....	79
Figura 44. Carbón vegetal pulverizado para la muestra 1 y 2.....	81
Figura 45. Carbón vegetal pulverizado para la muestra 1 (40 gotas).	81
Figura 46. Carbón vegetal pulverizado para la muestra 2 (80 gotas).	58

Figura 47. Muestra con NaOH para neutralizar.	83
Figura 48. Muestra con pH de 12.	83
Figura 49. Titulación para neutralizar la muestra.	84
Figura 50. Diseño de columnas.	92
Figura 51. Columnas de adsorción	92
Figura 52. Tanque de alimentación.....	93
Figura 53. Columnas de adsorción.	93
Figura 54. Vista de lecho de adsorción y espacio de retrolavado.....	94
Figura 55. Comparativo de remoción de color por cada columna.....	94
Figura 56. Diseño de las columnas de adsorción.....	94
Figura 57. Afluente del ARnD del Hemocentro del Café y Tolima grande.....	95
Figura 58. Efluente del ARnD del Hemocentro del Café y Tolima grande.....	95
Figura 59. Diseño completo de las columnas de adsorción.	95

Lista de tablas.

Tabla 1. Tecnología para el tratamiento de Aguas Residuales	25
Tabla 2. Características del carbón vegetal para tratamientos de aguas residuales.....	27
Tabla 3. Disoluciones de agua destilada con sangre humana.....	51
Tabla 4. Resultados de absorbancia	52
Tabla 5. Tabla de cantidad de carbón vegetal.	57
Tabla 6. Resultados de la absorbancia	59
Tabla 7. Procesamiento de datos en excel.....	61
Tabla 8. Cálculos de las variables de las isothermas de adsorción.....	61
Tabla 9. Datos remoción de adsorción para poder generar los gráficos.	64
Tabla 10. Procesamiento de datos en excel para la construcción de la isoterma de F.....	64
Tabla 11. Cantidad de carbón por cada disolución.....	67
Tabla 12. Promedio y concentraciones de las disoluciones	68
Tabla 13. Datos procesados en excel	69
Tabla 14. Datos para generar isoterma de Langmuir.....	70
Tabla 15. Datos para generar isoterma de Freundlich	71
Tabla 16. Muestras de agua con diferentes cantidades de sangre	76
Tabla 17. Resultados de absorbancia muestra 1	80
Tabla 18. Resultados de absorbancia muestra 2.....	80
Tabla 19. Adición de carbón vegetal muestra 1 y 2.....	82
Tabla 20. Resultados de adsorción	82
Tabla 21. Parámetros de diseño	85
Tabla 22. Materiales y parámetros.....	89

Tabla 23. Materiales y costos	91
-------------------------------------	----

Lista de tablas.

Gráfico 1. Concentración vs absorbancia	53
Gráfico 2. Isoterma de Langmuir.....	62
Gráfico 3. Isoterma de Langmuir.....	70
Gráfico 4. Isoterma de Freundlich.	71

Lista de anexos

Figura 60. Hoja de datos seguridad para materiales peligrosos	105
Figura 61 Hoja de datos seguridad para materiales peligrosos.	106
Figura 62. Hoja de datos seguridad para materiales peligrosos.	107
Figura 63. Ficha de seguridad.....	108
Figura 64. Ficha de seguridad.....	109
Figura 65 Ficha de seguridad.	110
Figura 66. Ficha de seguridad.....	111
Figura 67. Ficha de seguridad.....	112
Figura 68. Ficha de seguridad	113
Figura 69. Ficha de seguridad.....	114
Figura 70. Hoja de datos de seguridad carbonato de calcio.	115
Figura 71. Hoja de datos de seguridad carbonato de calcio	116
Figura 72. Hoja de datos de seguridad carbonato de calcio.	117
Figura 73. Hoja de datos de seguridad carbonato de calcio.	118
Figura 74. Hoja de datos de seguridad Ácido sulfúrico	119
Figura 75. Hoja de datos de seguridad Ácido sulfúrico.	120
Figura 76. Hoja de datos de seguridad Ácido sulfúrico	121
Figura 77. Hoja de datos de seguridad Ácido sulfúrico.	122
Figura 78. Hoja de datos de seguridad Ácido sulfúrico.	123
Figura 79. Hoja de seguridad ácido clorhídrico.	124
Figura 80. Hoja de seguridad ácido clorhídrico.	125
Figura 81. Hoja de seguridad ácido clorhídrico.	126

Figura 82. Hoja de seguridad ácido clorhídrico.	127
Figura 83. Hoja de seguridad ácido clorhídrico.	128
Figura 84. Hoja de seguridad ácido clorhídrico.	129
Figura 85. Hoja de seguridad ácido clorhídrico.	130
Figura 86. Hoja de seguridad ácido clorhídrico.	131
Figura 87. Hoja de seguridad ácido clorhídrico.	132
Figura 88. Hoja de seguridad ácido clorhídrico.	133
Figura 89. Hoja de seguridad ácido clorhídrico.	134
Figura 90. Hoja de seguridad ácido acético.	135
Figura 91. Hoja de seguridad ácido acético.	136
Figura 92. Hoja de seguridad ácido acético.	137
Figura 93. Hoja de seguridad ácido acético.	138
Figura 94. Hoja de seguridad ácido acético.	139
Figura 95. Hoja de seguridad ácido acético.	140

1. RESUMEN

El presente trabajo pretende analizar las diferentes tecnologías y tratamientos que existen en la actualidad para aguas residuales no domesticas provenientes del Hemocentro del Café y Tolima Grande. El Hemocentro del Café y Tolima Grande, realizó una caracterización de las aguas residuales no domesticas provenientes de las actividades que realizan allí. Se realizó un muestreo puntual en la salida de la recamara el 16 de febrero de 2017 con el fin de determinar los parámetros que se están incumpliendo según la Resolución 0631 de 2015 y se conoció que uno de los valores de incumplimiento es el pH ya que éste presenta valores alrededor de 12,15 sobrepasando los valores límites permisibles establecidos en la norma. El lavado de los materiales está presentando una coloración en el agua que va directamente al alcantarillado. Por lo anterior, es necesario desarrollar un sistema de tratamiento de aguas residuales no domesticas para proteger la salud pública y dar cumplimiento a la norma.

Se desarrolló una fase experimental a partir del método de adsorción que partió inicialmente de la construcción de una curva de calibración a partir 9 diluciones al 5% con concentraciones diferentes de sangre, se encuentra en un rango de 0 a 0,262 de absorbancia. Posterior a ello se propuso un diseño experimental de isotermas de adsorción utilizando el modelo de Langmuir y de Freundlich, estas se crearon a partir de diferentes adsorbentes como el carbón vegetal y el carbón activado.

También se realizó una prueba cualitativa de color utilizando como desinfectante el hipoclorito de sodio y una muestra de agua destilada y sangre, a las muestras se le adicionaron diferentes concentraciones de sangre (1) absorbancia inicial 0,236 y la absorbancia final 0,013 a esta se le agrego carbón vegetal y la absorbancia disminuyó a 0,003, (2) absorbancia inicial de 0,395 y la absorbancia final 0,079, se le adiciono carbón vegetal y la absorbancia final fue de 0,062.

Para la disminución del pH se utilizó vinagre comercial, este se utiliza con el fin de neutralizar las aguas provenientes del Hemocentro del Café y Tolima grande, se determinó la dosis óptima que por cada litro de muestra se debe agregar un volumen de 3,1 L de vinagre. El vinagre comercial

es una buena alternativa para neutralizar el aguas ya que este es fácil adquisición y en temas de costos es económico, de igual forma el ácido sulfúrico también funciona de forma optima al momento de neutralizar (se recomienda adquirir un pH-metro, para la medición del pH)

También se propone la tecnología de columnas de adsorción para que se pueda incorporar a futuro, para que el Hemocentro Del Café y Tolima Grande cuente con un sistema de tratamiento más completo y optimizado que se pueda remover el color del agua residual no doméstica teniendo en cuenta los materiales de construcción, parámetros de diseño y costos de operación.

Palabras clave: Revisión de tema, adsorción, Isotermas, remoción, color, desinfectante, absorbancia, columnas de adsorción, carbón vegetal.

2. ABSTRACT

The present work intends to analyze the different technologies and treatments that currently exist for non-domestic wastewater from the Coffee Hemocenter and Tolima Grande. The Coffee Hemocenter and Tolima Grande, performed a characterization of non-domestic wastewater from the activities carried out there. A punctual sampling was carried out at the exit of the bedroom on February 16, 2017 in order to determine the parameters that are not being complied with according to Resolution 0631 of 2015 and it was known that one of the non-compliance values is the pH since it has values around 12.15 exceeding the permissible limit values established in the norm. The washing of materials is presenting a coloration in the water that goes directly to the sewage system. Therefore, it is necessary to develop a non-domestic wastewater treatment system to protect public health and comply with the standard.

An experimental phase was developed from the adsorption method that initially started from the construction of a calibration curve from 9 dilutions at 5% with different blood concentrations, ranging from 0 to 0.262 absorbance. Subsequently, an experimental design of adsorption isotherms was proposed using the Langmuir and Freundlich models. These were created from different adsorbents such as charcoal and activated charcoal.

A qualitative color test was also performed using sodium hypochlorite and a sample of distilled water and blood as disinfectant, to the samples were added different concentrations of blood (1) initial absorbance 0.236 and the final absorbance 0.013 to this was added charcoal and the

absorbance decreased to 0.003, (2) initial absorbance 0.395 and the final absorbance 0.079, charcoal was added and the final absorbance was 0.062.

For the decrease of the pH commercial vinegar was used, this one is used with the purpose of neutralizing the waters coming from the Hemocentro of the Coffee and big Tolima, was determined the optimal dose that by each liter of sample a volume of 3.1 L of vinegar must be added. The commercial vinegar is a good alternative to neutralize the waters since this is easy to acquire and in terms of costs is economic, likewise sulfuric acid also works optimally at the time of neutralizing (it is recommended to acquire a pH meter, for the measurement of pH).

The technology of adsorption columns is also proposed so that it can be incorporated in the future, so that the Hemocentro Del Café y Tolima Grande has a more complete and optimized treatment system that can remove the color of non-domestic wastewater taking into account construction materials, design parameters and operating costs.

Keywords: Subject review, adsorption, Isotherms, removal, color, disinfectant, absorbance, adsorption columns, charcoal.

3. INTRODUCCIÓN

Los bancos de sangre son todo establecimiento o dependencia público o privado con licencia de funcionamiento para adelantar actividades relacionadas con la promoción, obtención, procesamiento y almacenamiento de sangre humana destinada a la transfusión de la sangre total o en hemocomponentes, a procedimientos de aféresis y a otros procedimientos preventivos, terapéuticos y de investigación, con procesos definidos que aseguran la calidad de la sangre y sus hemocomponentes (Gobernación de Antioquia, s.f)

A partir de los procesos generados en los bancos de sangre por medio del lavado del material y de los procesos que se llevan a cabo para la separación de componentes de la sangre, se generan aguas residuales no domesticas (ARnD), estas aguas se caracterizan por incluir algunos contaminantes importantes como microbios patógenos, metales pesados y materia orgánica persistente, así como sedimentos en suspensión.

El Hemocentro del Café y Tolima grande es un Banco de Sangre que presta el servicio en Medicina Transfusional a través del desarrollo de los procesos de Obtención, Procesamiento, Almacenamiento y distribución de Sangre, este trabaja para fomentar la cultura de la donación voluntaria y repetitiva de la sangre con tecnología de punta que permite garantizar un producto de alta calidad en la ciudad de Manizales, Caldas. (Hemocentro del café, s.f). La generación de las aguas residuales no domesticas en el lugar son provenientes de la utilización de tamizaje ya que este procedimiento es una prueba que se le realiza a la sangre “Las pruebas de laboratorio para marcadores infecciosos contribuyen a preservar la seguridad sanguínea al eliminar las unidades que se obtienen de personas que pudieran ser la fuente de alguna infección transmitida por transfusión” (Organización Panamericana de la Salud, 2012). Para este proceso se utilizan diferentes soluciones y se generan diferentes desechos líquidos, como:

Tabla 1. Soluciones utilizadas en el Hemocentro del Café y Tolima Grande

RESIDUOS	pH DESECHOS	SOLUCIONES UTILIZADAS	pH SOLUCIONES
Inmunohematología	7,0	Solución salina 0,9%	6,5
		Buffer phix	7,0
Infecciosas	10,0	Wash buffer	7,0
		Trigger	14
		Pretrigger	2,5
		Probe Conditioning	7,3
Hematología	6,5	Diluyente	7,0
		Rinse	7,0
		Lisante	10

A partir de la actualización de la normativa colombiana, la resolución 0631 de 2015 da a conocer los valores límites permisibles establecidos para las diferentes actividades económicas, el Hemocentro del Café y Tolima Grande realiza una caracterización de las aguas residuales no domésticas con el laboratorio de análisis de aguas ACUATEST, ya que al ser una institución de servicios debe cumplir con la normativa vigente. En torno al marco legal de la resolución 0631 de 2015 para el Hemocentro del café aplican los artículos “ Artículo 15 Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas - ARnD para las actividades industriales, comerciales o de servicios diferente a la contempladas en los capítulos V y VI con vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales” y “Artículo 16 Vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas ARnD al alcantarillado público”

A partir de la caracterización realizada por el Hemocentro del Café el 16 de febrero de 2017 a la salida de la recamara, se identificaron 2 parámetros (pH y color) que incumplen con la Resolución 0631 de 2015, el pH presenta valores alrededor de 12,15 sobrepasando los valores límites permisibles establecidos en la normativa vigente, este se da debido a la utilización de diferentes soluciones en el proceso que aumentan el pH y el lavado de los materiales utilizados aportan una coloración en el agua que va directamente al alcantarillado.

Parámetro	Unidades	Salida de la recámara	Art 15 y 16. Valores límites permisibles Res. 0631 de 2015	Cumplimiento o incumplimiento
pH		12.15	5.00 a 9.00	X
Temperatura	°C	23.5	-----	
Caudal	L/s	0.052	-----	
DBO5	mg O2/L	55.7	75	✓
DQO	mgO2/L	89	225	✓
SSED	mL/L	<-0.1	1.00	✓
SST	mg/L	43.0	50	✓
Grasas y aceites	mg/L	<-0.1	10	✓
Fenoles totales	mg/l	<-0.157	0.20	✓
SAAM	mg/L	4.61	Análisis y reporte	
Ortofosfatos	mg/L	1.486	Análisis y reporte	
Nitratos	mg/L	<-0.0113	Análisis y reporte	
Nitritos	mg/L	<-0.0152	Análisis y reporte	
Nitrógeno amoniacal	mg/L	<-0.988	Análisis y reporte	
Nitrógeno total (N)	mg/L	<5.31	Análisis y reporte	
Nitrógeno total calculado	mg/L	<5.34	Análisis y reporte	
Cianuro total	mg/L	<-0.011	0.10	✓
Cadmio	mg/L	<-0.0048	0.01	✓
Cromo	mg/L	0.0080	0.10	✓
Mercurio	mg/L	<-0.0006	0.002	✓
Plata	mg/L	<-0.007	0.20	✓
Plomo	mg/L	0.0100	0.10	✓
Acidez total	mg/L CaCo3	10.5	Análisis y reporte	
Alcalinidad total	mg/L CaCo3	115	Análisis y reporte	
Dureza cálcica	mg/L CaCo3	55.7	Análisis y reporte	
Dureza total	mg/L CaCo3	58.77	Análisis y reporte	
Color real	m ⁻¹ (436 nm)	0,560	Análisis y reporte	
	m ⁻¹ (525 nm)	0,277		
	m ⁻¹ (620 nm)	0,179		

Sánchez V & Casallas A. (2018). *Caracterización de las aguas residuales no domesticas (ARnD) del Hemocentro del Café y Tolima [Figura 1].*

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Analizar alternativas para el tratamiento de las aguas residuales no domesticas generadas en el Hemocentro del café y Tolima, con el fin de cumplir con los parámetros que se rigen en la resolución 0631 de 2015.

4.2 Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica de alternativas para tratamientos de aguas (generadas en diferentes bancos de sangre) a nivel nacional e internacional
- Proponer alternativas de tratamiento (planta de tratamiento de aguas residuales o neutralización) de los vertimientos generados en el Hemocentro del café y Tolima.

5 METODOLOGÍA

Se llevaron a cabo 2 fases para el cumplimiento de los objetivos:

- Fase 1: Revisión de tema sobre las operaciones del homocentro a nivel nacional e internacional.
- Fase 2: Proponer alternativas de tratamiento, teniendo en cuenta el costo y espacio de cada una

Cumplimiento de los objetivos:

- Realizar una revisión bibliográfica de alternativas para tratamientos de aguas (generadas en diferentes bancos de sangre) a nivel nacional e internacional

Se realizó una búsqueda de información en todas las bases de datos posibles, artículos, noticias, blogs, tesis, trabajos de grados e información general con el fin de encontrar las posibles tecnologías y tratamientos que se están realizando en los bancos de sangre para el tratamiento de las aguas residuales no domesticas a nivel nacional e internacional. La revisión de tema se centró en las tecnologías que existen en la actualidad para el manejo de aguas residuales no domesticas provenientes de los bancos de sangre, sectores farmacéuticos y hospitales, se buscó información de la normativa colombiana para conocer de los equipos requeridos que deben tener todos los Hemocentros, los causantes de generar la coloración y variaciones del pH del agua residual no doméstica. También se buscó información de las isotermas de adsorción utilizando como adsorbente el carbón vegetal, carbón activado y otros adsorbentes que se emplean en la remoción de color a nivel internacional en la eliminación de colorantes rojos, la hemoglobina entre otros. Al final se proponen diferentes alternativas de desorción del carbón vegetal para poder utilizarlo nuevamente como adsorbente dentro de la operación.

- Proponer alternativas de tratamiento (planta de tratamiento de aguas residuales o neutralización) de los vertimientos generados en el Hemocentro dl café y Tolima.

Para cumplir este objetivo lo que se realizo fue proponer un diseño experimental que partió inicialmente de la construcción de una curva de calibración, que se elaboró inicialmente de la preparación de una solución madre a partir de ella se prepararon 9 diluciones con concentraciones de sangre diferentes y finalmente se tomaron los datos de absorbancia para poder construir la curva de calibración. Después de ello se construyeron dos isotermas de adsorción con los modelos de Langmuir y Freundlich cada isoterma se elaboraron con las 9 diluciones que se preparan anteriormente y por cada una se sacaron 3 muestras y a cada una se le adiciono carbón vegetal y carbón activado y así sacar los datos de absorbancia. Por último, se procesaron los datos para poder construir las isotermas con los dos modelos mencionados anteriormente.

Se hace un experimento con ácido acético y con vinagre comercial para poder neutralizar la muestra y así hallar la dosis optima, esto se hizo con el finde disminuir el pH de la muestra, se determinó por costos y fácil adquisición que el vinagre comercial es óptimo para el proceso.

También se realizó un experimento cualitativo de desinfección para la remoción del color utilizando dos soluciones con diferentes concentraciones de sangre humana y se utilizó como desinfectante el hipoclorito de sodio para identificar variaciones en el cambio de color. Como propuesta final se propone como alternativa de tratamiento una columna de adsorción, donde se muestra el diseño teórico a escala real y se mencionan los costos de los materiales para la construcción del diseño.

6. RESULTADOS

MARCO TEÓRICO

6.1.1 Tratamientos y/o metodologías a nivel nacional e internacional implementadas en los bancos de sangre

Una de las metodologías más utilizadas en la actualidad es el método colorimétrico, el color en agua puede tener origen orgánico o inorgánico. Puede ser ocasionado por la presencia de iones metálicos (hierro, manganeso), humus, lodo, arcilla y residuos industriales. Tal coloración debe ser eliminada del agua para usos generales o industriales. El color aparente es el color causado por la materia suspendida y disuelta, se determina en la muestra original, sin filtrado ni centrifugado y el color real es el color del agua, cuya turbidez ha sido eliminada, mediante centrifugación o filtración. El color se expresa en la escala PLATINO-COBALTO (Pt-Co), y se determina por método colorimétrico, se ha definido la unidad de color como el color producido por 1 mg/l de platino (Pt) en forma de ion cloroplatinato. El índice Cobalto Platino puede variarse para equiparar tonalidades en casos especiales. El color se determina mediante comparación colorimétrica de soluciones de concentraciones conocidas; la comparación puede hacerse con discos de cristal calibrados o midiendo la absorbancia de la muestra a una longitud de onda de 364 nm. (Giraldo, 1995).

6.1.2 Neutralización

Reactivos más comunes para la neutralización:

Tabla 1. Reactivos más comunes para la neutralización

Reactivos	Justificación
Lechada de cal o hidróxido cálcico	Se trata de un producto químico muy utilizado en reacciones de neutralización debido a su bajo precio, aunque presenta los

	inconvenientes de su baja solubilidad en agua, su lenta velocidad de reacción y la formación de precipitados, como es el caso de los residuos conteniendo ácido sulfúrico, al originarse sulfato cálcico, lo que obligaría a utilizar un decantor posteriormente.
Carbonato cálcico (calizas, dolomitas, etc)	Presenta los mismos inconvenientes que el reactivo anterior en cuanto a la cinética de la reacción, además de ser muy insoluble en agua. Al tratarse de reactivos de origen natural, llevan formando parte de su composición, otros elementos que provocan la aparición de gran cantidad de lodos. Su utilización esta recomendada para neutralizar flujos residuales muy ácidos a través de lechos filtrantes de este material, aprovechando, también su bajo precio en el mercado. Suele producir CO_2 como resultado de la neutralización.
Sosa caustica	Se considera como el agente más efectivo para tratar flujos residuales ácidos, aunque presenta el inconveniente de su elevado costo, en comparación con los reactivos previamente estudiados. Presenta, igualmente, una elevada velocidad de reacción que permite su empleo a grandes concentraciones, no requiriendo grandes equipos de dosificación.
Ácido sulfúrico	Es el reactivo más utilizado para neutralización de flujos residuales alcalinos, por su costo, competitivo respecto de otros agentes neutralizantes, y su fácil manipulación. En cuanto al comportamiento químico, es de resaltar el carácter corrosivo que presenta a bajas concentraciones, aunque puede ser almacenado en tanques de acero al carbono, cuando se encuentra en altas concentraciones, así como la formación de precipitados con metales alcalino-térreos.
Ácido clorhídrico	Este reactivo neutralizante de flujo residual alcalino, se caracteriza por su costo, superior al anterior, una corrosividad alta a cualquier concentración y la posibilidad de gases tóxicos en las reacciones donde interviene.
Gases de combustión	Estos gases, con un contenido de CO_2 de alrededor del 15%, en contacto con el agua, forma H_2CO_3 (ácido carbónico), utilizable para neutralizar sustancias básicas. El proceso

	<p>consiste en hacer burbujear los gases en el flujo residual líquido o mediante la utilización de una columna con elementos de relleno, como los anillos Rasching (Junta de andalucia, s.f).</p> <p>.</p>
Ácido acético	<p>Es un compuesto puro (99,8% mínimo), que lo diferencia de las soluciones acuosas frecuentemente halladas y que reciben el nombre de ácido acético.</p> <p>Éste es un ácido que se encuentra en el vinagre, el cual le da su sabor y olor agrios.</p> <p>Es un líquido claro e incoloro, con olor muy picante. Miscible con agua, alcohol, glicerol y éter; insoluble en sulfuro de carbono; temperatura de autoignición 426°C. Combustible. (VadeQuimica, s.f)</p>
Vinagre	<p>El vinagre es una disolución que contiene diferentes tipos de ácidos (principalmente ácido acético) además de otros componentes como sulfatos, cloruros, dióxido de azufre, etc. Un índice de la calidad de un vinagre es la denominada acidez total (o grado acético) que es la cantidad total de ácidos que contiene el vinagre expresada como gramos de ácido acético por 100 mL de vinagre. La cantidad total de ácidos puede determinarse fácilmente por valoración con una disolución de hidróxido sódico previamente normalizada, calculándose la concentración en ácido acético a partir de la ecuación de la reacción ácido-base ajustada: $\text{CH}_3\text{-COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$ (UAM, s.f)</p>

6.1.3 Adsorción

La adsorción es un proceso mediante el cual se extrae materia de una fase y se concentra sobre la superficie de otra fase (generalmente sólida). La sustancia que se concentra en la superficie o se adsorbe se llama "adsorbato" y la fase adsorbente se llama "adsorbente". El proceso inverso a la adsorción se conoce como desorción. (Káiser H. Et al, 1881).

El adsorbente dispone de nanoporos, lo que se conoce como centros activos, en los que las fuerzas de enlace entre los átomos no están saturadas. Estos centros activos admiten que se instalen moléculas de naturaleza distinta a la suya, procedentes de un gas en contacto con la superficie. Los materiales sólidos como adsorbentes son productos naturales o sintéticos. En cualquier caso, el proceso de fabricación ha de asegurar un gran desarrollo superficial mediante una elevada porosidad. Los adsorbentes naturales (arcillas, zeolitas) tienen pequeñas superficies. Los adsorbentes industriales y los carbones activados de buena calidad puede llegar a tener entre 1.000 y 1.500 m²/g. La adsorción y muchas otras tecnologías se utilizan para retirar las sustancias colorantes de las soluciones acuosas (Rentería C., 2014)

Existen diferentes tipos de adsorción:

- Adsorción eléctrica: Cuando la atracción entre el soluto y el adsorbente sea de tipo eléctrico, siendo el intercambio iónico el ejemplo más representativo por lo que a menudo se le llama adsorción por intercambio, que es un proceso mediante el cual los iones de una sustancia se concentran en una superficie como resultado de la atracción electrostática en los lugares cargados de la superficie. (Káiser H. Et al, 1881).
- Adsorción física: O también conocida por fuerzas de Van der Waals producto a las fuerzas que la producen donde la molécula adsorbida no está fija en un lugar específico de la superficie, sino más bien está libre de trasladarse dentro de la interface. Ocurre fundamentalmente a temperaturas bajas. La adsorción de la mayoría de las sustancias orgánicas en el agua con carbón activado se considera de naturaleza física. (Káiser H. Et al, 1881).
- Adsorción química: Es cuando el adsorbato sufre una interacción química con el adsorbente, las energías de adsorción son elevadas, del orden de las de un enlace químico, debido a que el adsorbato forma unos enlaces fuertes localizados en los

centros activos del adsorbente. Esta adsorción suele estar favorecida a una temperatura elevada. (Káiser H. Et al, 1881).

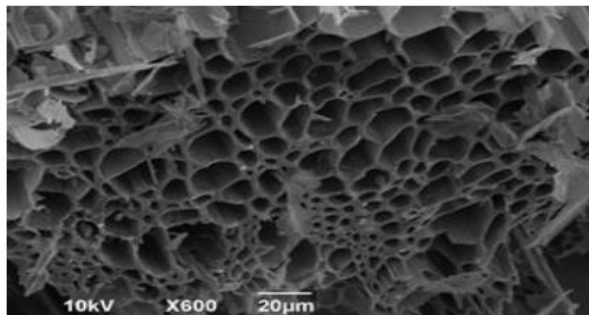
Entre las diversas tecnologías, se ha utilizado la tecnología de adsorción que es simple y eficaz, existen varios adsorbentes en uso y carbones activados son los adsorbentes más utilizados debido a su excelente capacidad de adsorción de contaminantes orgánicos. (Yan, Naiyun, Wenhai and Cong, 2012).

Materiales utilizados en la adsorción:

- **Carbón activado**

La actividad del carbón activado en los procesos de adsorción viene dada fundamentalmente, por la naturaleza de su materia prima y el proceso de activación utilizado en la producción del mismo. Su capacidad adsorbente se ve muy favorecida por la estructura porosa y la interacción con adsorbatos polares y no polares generada por su estructura química, además el intercambio iónico en su superficie está influenciado por centros activos, dislocaciones y discontinuidades, debido a que la matriz carbonacea tiene electrones desapareados y valencias insaturadas presentando mayor energía potencial. (Arroyo, L. et al. 2018).

Las propiedades que presenta el carbón activado; tales como el área superficial, capacidad adsorción y facilidad de regeneración, este es utilizado para remover contaminantes presentes en aguas a través de filtros; en la actualidad el carbón activado se considera como un adsorbente universal para la eliminación de contaminantes, destacando el carbón activado mesoporoso como el adsorbente pertinente para el tratamiento de aguas residuales industriales y municipales. (Arroyo, L. et al. 2018).



Arroyo, L. et al (2018). Vista tridimensional del carbón activado, [Figura 2]. Recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14093/T41.08%20N622e.pdf?sequence=7>.

El carbón activado al tener la capacidad de retener o adherir iones, átomos y moléculas en su superficie puede ser utilizado en la purificación, desodorización y decoloración de agua u otros líquidos. (Arroyo, L. et al. 2018).

- **Carbón vegetal**

Los carbones vegetales de celulosa o madera son suaves y desmenuzables. Se utilizan principalmente para decolorar soluciones de azúcar y otros alimentos, y para quitar sabores y olores desagradables del agua. Los carbones duros y densos se obtienen de la cascara de nuez y de la turba. Se utilizan en máscaras antigás, en la separación de mezclas en la industria química y, también, en el tratamiento terciario de aguas residuales, dado que adsorben en forma eficaz la materia orgánica y mejoran la calidad del agua (EcuRed, s.f)

Tabla 2. Características del carbón vegetal para tratamientos de aguas residuales

Materia prima	Aplicación en tratamiento de agua	Observaciones
Carbón vegetal	Agua residual con colores intensos y/o con cantidades de aceites y otros compuestos de alto peso molecular	Se requiere un CA macroporoso
	Potabilización de agua en gran contenido de materia orgánica natural	Se usa en la industria textil, petrolera y de alimentos.

Imagen 1: Principales Aplicaciones del carbón activado en tratamiento de agua de acuerdo con su origen, recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14093/T41.08%20N622e.pdf?sequence=5>

- **Té verde**

El té verde es originario de Asia y es mundialmente conocido por sus propiedades medicinales y antioxidantes. En las últimas décadas del siglo pasado, el té verde retomó una importancia por sus propiedades curativas y analgésicas. De acuerdo a su composición química, las hojas de té verde contienen mucha fibra (carbohidratos insolubles en agua) y polifenoles (catequina, epicatequina, galocatequina, epilogalocatequinas-3-galato y otros). Estos grupos funcionales presentes en las hojas de té verde son de vital importancia para la adsorción, ya que la presencia de fibras en su estructura promueve la absorción de agua y por lo tanto aumenta la superficie específica para hacer más accesibles los centros de adsorción (i.e. polifenoles) para los contaminantes. En la actualidad no hay resultados reportados en la retención de los contaminantes con té verde, excepto un estudio con cromo 8, con resultados de la adsorción casi despreciables. (Bellatin, L. Et al. 2014). Las hojas molidas de desecho de té verde (TV) tiene la capacidad de adsorber los colorantes, con una buena eficiencia. El adsorbente TV es mejor para el colorante rojo y tiene una buena capacidad de adsorción y se ajusta a los modelos de Langmuir y Freundlich, y tiene una capacidad máxima de adsorción de 287,2 mg g⁻¹. (Bellatin, L. Et al. 2014).

6.1.4 Columnas de adsorción

La adsorción en columnas de lecho adsorbente provee una ventaja técnica frente a otros ya que es fácil de operar porque está basada en la natural y fuerte afinidad de fuerzas electrostáticas de sus componentes celulares a los iones metálicos, además el adsorbente puede ser regenerado; mientras que otras tecnologías resultan ser inadecuadas ya que generan problemas secundarios, como lodos difíciles de tratar en el caso de la precipitación y presiones muy altas en la osmosis inversa para su funcionamiento además de un mantenimiento frecuente para evitar la saturación de la membrana. (Cárdenas, S. Et al, 2015).

6.2 Carbón Granulado (GAC) y Carbón Activado en Polvo (PCA)

El carbón granulado (GAC) se usa típicamente en una planta de tratamiento de agua después de los procesos de coagulación y sedimentación y, comúnmente, después de los pasos preliminares de desinfección durante los cuales pueden ocurrir reacciones químicas. Además, el agua a menudo se desinfecta antes de que pase a través de los adsorbedores de GAC para prevenir crecimientos biológicos molestos. En muchos casos, el carbón activado funciona como un medio de filtro granular para eliminar partículas, aunque en algunos casos en los Estados Unidos y en la mayoría de los casos en Europa los adsorbedores de GAC están precedidos por filtros para la eliminación de partículas. (Comité de agua potable segura del Consejo Nacional de Investigación, 1980).

El agua generalmente se pasa hacia abajo a través de lechos llenos de GAC. La frecuencia del lavado a contracorriente depende de la cantidad de partículas que se eliminan y del grado de crecimiento microbiano. Durante este paso, se produce cierta mezcla de los gránulos de GAC, aunque esta tendencia se contrarresta con la estratificación del tamaño de partícula durante el lavado a contracorriente. Mientras que los adsorbedores de flujo descendente de lecho empacado en paralelo son los más utilizados, se pueden usar muchos otros patrones de flujo, como el funcionamiento en serie, el lecho empacado de flujo ascendente y el lecho expandido de flujo ascendente. (Comité de agua potable segura del Consejo Nacional de Investigación, 1980).

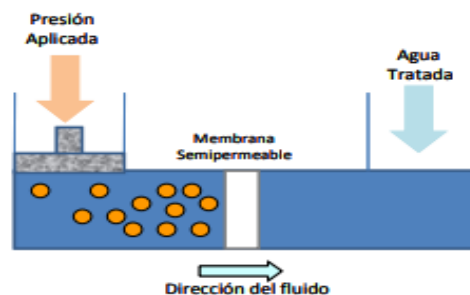
La regeneración de GAC no se practica generalmente en plantas acuáticas en los Estados Unidos como en Europa. Si el objetivo del uso de GAC es incluir la eliminación de compuestos orgánicos además de los que causan sabor color y olor, es probable que la regeneración se vuelva más común en los Estados Unidos. El tipo de contactor seleccionado para el GAC se verá afectado por la frecuencia de regeneración. (Comité de agua potable segura del Consejo Nacional de Investigación, 1980).

Para la eliminación de compuestos orgánicos, especialmente para compuestos del fenol el carbón activado en polvo (PAC), en comparación con el carbón activado granular, tiene

un mucho más rápido tasa de adsorción y una mayor capacidad de adsorción de varios orgánicos generalmente relacionados con su superficie mucho mayor, volumen de poro, y porosidad. Teniendo en cuenta que es rápido tasa de adsorción y gran capacidad de adsorción, PAC es ampliamente utilizado en la purificación de agua potable, aguas residuales. (Yan, Naiyun, Wenhai and Cong, 2012).

6.3 Nanofiltración

La nanofiltración es una tecnología de membrana de ultra/baja presión con el mismo fundamento que la osmosis inversa y difusión controlada. La diferencia principal es el grado de retención que logran estas membranas, operando en rangos más altos de corte de peso molecular (0,001 – 0,01 mm). La nano-filtración se selecciona cuando la ósmosis inversa o ultrafiltración no son opciones factibles para una separación. Puede utilizarse en aplicaciones tales como desmineralizado, remoción de color, material orgánico y desalinización. En concentraciones de solutos orgánicos, sólidos en suspensión y iones polivalentes, el permeado contiene iones monovalentes y soluciones orgánicas de sustancias de bajo peso molecular, como alcohol y se puede utilizar en la industria farmacéutica ya que incrementa el valor de los productos farmacéuticos al obtenerlos más purificados. (Sanchez, 2017).



Sanchez, J. (2017). Tecnología de membrana nanofiltración [Figura 3]. Recuperado de: <https://docplayer.es/26346030-Tecnologias-de-membrana-nanofiltracion.html>

6.4 Tecnología de membranas

La tecnología de membranas permite una separación efectiva de las moléculas de colorante y otros compuestos de tamaño mayor al del poro de la membrana seleccionada. Principalmente se emplean membranas de ósmosis inversa y nanofiltración. Mediante este procedimiento es posible tratar grandes volúmenes de afluente de forma continua y con un alto grado de separación. Los efluentes son de una calidad excelente y en la mayoría de los casos permiten la reutilización del mismo. Las principales desventajas de estas técnicas son la generación de un residuo con una alta concentración de contaminante y la dificultad y coste de sustitución de las membranas. (CONDORCHEM, 2019).

6.5 Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales

Tabla 3. Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales

Tecnología aplicada	Ventajas	Desventajas
Precipitación química	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicidad de operación • Bajo costo de operación 	<ul style="list-style-type: none"> • El agente activo no puede ser recuperado para su posterior reutilización. • Problemas con concentraciones bajas de metales. • Lodo final de difícil eliminación. • No es selectivo. • Se desarrolla en pH altos para lograr la precipitación, que depende del metal a precipitar.
Intercambio iónico	<ul style="list-style-type: none"> • Efectiva • Efluente puro • Recuperación del metal • Alta selectividad 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado costo de instalación. • Las resinas son vulnerables a la oxidación por agentes químicos. • El proceso se ve fuertemente afectado por la presencia de otros cationes. • Las resinas no son muy tolerantes al cambio de pH.

Adsorción	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema convencional • Fácil de operar • Altamente efectivo a muy bajas concentraciones 	<ul style="list-style-type: none"> • No es selectivo • Solo efectiva para bajos niveles de metales pesados • La capacidad de adsorción es altamente dependiente del pH.
Tecnología de membranas	<ul style="list-style-type: none"> • Efluente puro • Proceso automatizado • Recuperación del metal posible 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo energético • Las membranas son especialmente deterioradas (baja tasa de vida media) • Mediana actividad • Poca tolerancia a cambios de pH. • Requiere de presiones muy altas para su funcionamiento. • Requiere de mantenimiento frecuente para evitar saturación de membrana. • Es necesario separar las partículas insolubles o en suspensión para evitar la saturación de membranas
Extracciones orgánicas	<ul style="list-style-type: none"> • Es altamente selectivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere el empleo de grandes cantidades de agentes orgánicos extractores • Tiene un alto costo de operación • Solo viable para concentraciones elevadas de metales • Mediante el aumento del pH se logra la desorción del orgánico.

Nota. Ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales.
Recuperado de: http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf

6.6 Tratamientos avanzados

Los tratamientos avanzados, las técnicas biológicas como los biorreactores de membrana (MBR) o los métodos fisicoquímicos como los procesos de oxidación avanzada (AOP), la adsorción de carbón activado (GAC) o el tratamiento con membrana aplicando nano filtración (NF) o ósmosis inversa (RO) pueden desarrollar como método de elección. Estos procesos de tratamiento pueden eliminar contaminantes completamente o remover el color en las aguas. (Tambosi, Et al. 2010).

La tecnología de biorreactor de membrana (MBR), es una tecnología emergente, resultado de innovaciones de la separación por membranas, incorporándola al proceso de fangos activados. Actualmente, el número de plantas con tecnología MBR está en auge. Los MBR ofrecen ventajas tales como compacidad, flexibilidad y capacidad de operar de una manera totalmente fiable bajo control remoto. (iagua, 2017).

El ozono, es el segundo oxidante más poderoso, superado en su potencial de oxidación solamente por el flúor. La química de la ozonización es compleja y se caracteriza por la actuación a través de dos mecanismos: reacción directa, con ozono molecular disuelto y reacción indirecta, con especies radicales formadas cuando el ozono se descompone en el agua en condiciones alcalinas. La combinación de estos dos mecanismos en la remoción de las sustancias, depende de la naturaleza del agua, del pH del medio y de la dosis aplicada de ozono. La ozonización de compuestos disueltos en agua se considera como un proceso de oxidación avanzada cuando el radical hidroxilo es el agente oxidante, esto es cuando el medio presenta condiciones alcalinas. (Grisales, P. Et al, 2011).

6.7 Sangre

En los seres humanos la sangre es de color rojo, igual que en la mayoría de animales mamíferos. La sangre es roja debido a una sustancia llamada hemoglobina que se encuentra dentro de nuestros hematíes o glóbulos rojos. La hemoglobina se encarga de atrapar y transportar el oxígeno, por todo el torrente circulatorio, desde los pulmones al resto de células de nuestro cuerpo que necesitan oxígeno y glucosa para vivir. La sangre puede tener un color un poco más rojo y brillante, o más oscuro casi negruzco dependiendo de los niveles de oxígeno que contenga la hemoglobina de nuestros hematíes. Cuando los glóbulos rojos mediante la hemoglobina, van cargados de oxígeno, la sangre tiene un color rojo brillante (sangre arterial) al contrario cuando los glóbulos rojos han dejado esas partículas de oxígeno en las células y han captado el CO₂ (dióxido de carbono) tienen un color más oscuro, casi negruzco (sangre venosa). (PORQUE.ES, 2016).

La hemoglobina es el pigmento rojo que da el color en la sangre, cuya misión exclusiva es transportar casi todo el oxígeno y la mayor parte del bióxido de carbono. La hemoglobina tiene la notable propiedad de formar una unión química poco estrecha con el oxígeno; los átomos de oxígeno están unidos a los átomos de hierro en la molécula de la hemoglobina. En el órgano respiratorio, pulmón, el oxígeno se difunde hacia el interior de los glóbulos rojos desde el plasma, y se combina con la hemoglobina (Hb) para formar oxihemoglobina (HbO₂): $Hb + O_2 = HbO_2$. La reacción es reversible y la hemoglobina libera el oxígeno cuando llega a una región donde la tensión oxígeno es baja, en los capilares de los tejidos. La hemoglobina se compone de un pigmento, el hem, combinado de una proteína la globina

6.8 Isotermas de adsorción

Las isotermas permiten el análisis de los procesos de adsorción, las cuales son importantes para modelar el fenómeno y por tanto conocer los valores de las eficiencias y costos del tratamiento. Estas isotermas pueden ayudar a deducir la capacidad de purificación del absorbente y la cantidad que sea necesaria. (Valbuena, D. Et al. 2018).

Según la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) las isotermas de adsorción pueden ser clasificadas en cinco tipos los cuales fueron propuestos por Brunauer S, Deming L.S, Deming W. S y Teller E. las cuales son conocidas más popularmente como BDDT. Los tipos de isotermas son: Tipo I: Esta clase de isotermas también denominadas Isotermas de Langmuir es característica para materiales microporosos lo que hace que la energía para adsorber el adsorbato sea alta y al alcanzar la saturación del material la isoterma permanezca constante en un rango de presiones con una monocapa de adsorción. Tipo II: Esta isoterma es característica para sólidos no porosos o macro porosos en donde se genera una segunda capa de moléculas adsorbidas. Tipo III: Para este tipo de isotermas las interacciones entre el adsorbato y el sólido absorbente es muy baja. Tipo IV y V: Con esta isoterma se identifica todos aquellos sólidos mesoporosos. (Valbuena, D. Et al. 2018).

La cantidad de adsorbato retenido está en función de sus características, la función resultante es lo que se conoce como isoterma de adsorción, cada proceso de adsorción tiene su propia isoterma según las condiciones en las que ocurre; Freundlich, Langmuir y Temkin desarrollaron modelos de isotermas basados en datos experimentales en sistemas sólido-gas. (Arroyo, L. et al. 2018).

- **Isoterma de Freundlich**

Ecuación de la isoterma de Freundlich

$$Y = \frac{X}{M} = KC^n$$

Donde:

Y = Gramos de tensoactivos adsorbidos/ gramos de carbón activado

X = Gramos de tensoactivos adsorbidos

M = Gramos de carbón activado

C_e = Concentración de la solución en equilibrio

K_f y n = Constantes bajo condiciones dadas

La ecuación de la isoterma de adsorción puede escribirse en la forma logarítmica mostrada a continuación:

$$\text{Log} \frac{X}{m} = \frac{1}{n} \text{Log} C_e + \text{Log} K_f$$

Cuando el $\log \frac{x}{m}$ es graficado contra $\log C_e$ se obtiene una línea recta. Las constantes K_f y n , se toman de la intersección de la línea y la pendiente de esta respectivamente.

- **Isoterma de Langmuir**

Ecuación de la isoterma de Langmuir

$$q = KC^n$$

$$q = \frac{q_m K_l C_e}{1 + K_l C_e}$$

Donde:

q = Capacidad de adsorción de equilibrio del adsorbente

q_m = Capacidad máxima de adsorción

C_e = Concentración de equilibrio en la solución acuosa

K_l = Energía libre de adsorción

- **Isoterma de Temkin**

Ecuación de la isoterma de Temkin

$$q_{eq} = B_t \times \ln (A_t \times C_e)$$

Dónde B_t (J/mol) relaciona el calor de adsorción del fenómeno y A_t (L/mg) es la constante de unión de equilibrio (máxima energía de unión). La isoterma de Temkin linealizada queda expresada de la siguiente manera:

$$q_{eq} = B_t * \ln (A_t) + B_t * \ln (C_e)$$

Características de las isotermas de adsorción.

Mono capas- multicapas

Sitios de adsorción homogéneos – heterogéneos.

No interactúan entre vecinos.

Decrecimiento lineal.

6.9 Regeneración del carbón

La regeneración del carbón implica la eliminación de los contaminantes presentes en el carbón, reactivación significa destruir los contaminantes y reactivar el carbón, proceso que generalmente ocurre a muy altas temperaturas. (ec-en & Aktas, Activated Carbon Regeneration and Reactivation, 2012). Algunos tipos de regeneración logran la reducción del contaminante o materia orgánica presente en el carbón activado como la regeneración por vapor, térmica, Gases calientes, con ácido, Solución acuosa, biológica, entre otras. (Valbuena, D. Et al. 2018)

		Tipos de Mecanismos de regeneración				
		Extracción	Cambios de pH	Reacción/Degradación	Desorción Térmica	Vacio
Tipo de agente de la regeneración	Gases Calientes			REGENERACIÓN TÉRMICA		
	Ondas Físicas			REGENERACIÓN TÉRMICA		
	Corrientes Eléctricas			REGENERACIÓN QUÍMICA		
	Reactivos Químicos			REGENERACIÓN QUÍMICA		
	Fluidos Supercríticos			REGENERACIÓN QUÍMICA		
	Microorganismos			REGENERACIÓN BIOLÓGICA		
						REGENERACIÓN AL VACÍO

Valbuena, D. Et al. (2018). Mecanismos de regeneración, [Figura 4]. Recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14093/T41.08%20N622e.pdf?sequence=1>

Algunos mecanismos para regenerar el carbón son:

- Regeneración térmica La regeneración térmica es una de las más empleadas debido a que tiene la capacidad de eliminar todos los contaminantes orgánicos retenidos por

adsorción física, junto con compuestos inorgánicos. (Cruzado, 2010). Para este proceso se debe tener en cuenta tres pasos los cuales son (Menéndez, 2008).

El paso secante: el carbón activado se debe colocar en un deshidratador a una temperatura aproximada de 30-100°C,

Paso de calentamiento: la Evaporación de las sustancias adsorbidas debe ser 100-800°C. Reactivación: Mediante hornos rotativos o camas fluidizadas. (Valbuena, D. Et al. 2018).

- **Regeneración por ácido:** Para aguas que contengan carbonatos o hidróxidos de calcio se puede realizar la regeneración mediante una solución ácida como el Ácido Clorhídrico al 5% y a continuación se sumerge completamente el carbón en el ácido. Este proceso dura alrededor de 10-40 horas. (Cruzado, 2010). (Valbuena, D. Et al. 2018).
- **Regeneración biológica:** Para la regeneración del carbón, éste es colocado en una columna por la cual se recircula una solución aireada con nutrientes como fosforo y nitrógeno, con el fin de asemejarlo a una unidad de lecho expandido, lo cual demora alrededor de 96 horas logrando un 80% en regeneración. (Cruzado, 2010). (Valbuena, D. Et al. 2018).
- **Regeneración química del carbón activado:** La regeneración química y térmica son los más importantes tipos de regeneración de adsorbentes carbonáceos. La regeneración química nace como una alternativa para reducir los requerimientos energéticos y mejorar la eficiencia de regeneración. La regeneración química es uno de los mecanismos para regenerar el carbón una vez está completamente exhausto. Este método tiene ciertas desventajas con respecto a las demás, ya que se requieren disolventes especiales para eludir las partículas adsorbidas. También su eficacia está fuertemente influenciada, por la solubilidad de las especies adsorbidas; aparte de esto se requiere recuperar las sustancias químicas utilizadas. (Da'na & Awad, 2017). (Valbuena, D. Et al. 2018).

- Tipos de regeneración química:

A continuación, se enuncian los tipos de regeneración química más empleados:

1. Regeneración con agua líquida:

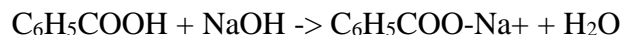
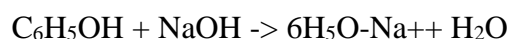
El mecanismo de la regeneración con agua líquida es el más sencillo para la regeneración, utilizado a condiciones de presión y temperatura atmosférica. La extracción es la principal técnica involucrada en este método utilizando el agua como solvente. La eficiencia de extracción y la eficiencia de regeneración de este método son muy bajas y disminuyen con cada ciclo de adsorción- regeneración. (Salvador. M Et al, 2014) Además de la implementación del agua como agente regenerador implica que el mismo fluido sea contaminado. Muchos autores regeneran el adsorbente con agua hirviendo ya que el aumento de la temperatura no solo mejora la desorción, sino que también aumenta la solubilidad de los compuestos orgánicos. Este método es eficiente con sustancias muy solubles, como el fenol. (Valbuena, D. Et al. 2018).

Por otro lado, la utilización de elevadas presiones permite que el agua aumente la temperatura sin cambiar de estado, alcanzando temperaturas de hasta 350°C. Experimentos con agua supercrítica a 120-150 Bar y 300-350°C, tienen una eficiencia de regeneración cercanos o superiores del 100%. (Fenol, orto-clorofenol, 4-nitrofenol, atrazina, sirius rojo, etc.). (Salvador. M Et al, 2014) El calentamiento del adsorbente y el aumento de la solubilidad de las especies orgánicas se logran gracias a las altas temperaturas y presiones. (Valbuena, D. Et al. 2018). (Valbuena, D. Et al. 2018).

2. Regeneración con NaOH:

Dependiendo de las propiedades del adsorbato la regeneración con NaOH tiene lugar a través de una reacción química o un cambio de pH en el medio que contiene el carbón activado. (Salvador, Martin Sanchez, Sanchez Hernandez, Sanchez Montero, & Izquierdo,

2014). Los adsorbatos, que como producto de una reacción tienen sales solubles son fáciles de remover. Por ejemplo, Fenol y ácido benzoico:



Los adsorbatos que no reaccionan con el hidróxido de sodio como las anilinas, bencil, alcoholes o tintes, son removidos cuando el pH de la superficie del adsorbente cambia. El carbón activado está cargado negativamente, entonces, a altos pH's junto con la intensificación de las fuerzas repulsivas entre las moléculas aniónicas adsorbidas y la superficie del carbón rompen la unión entre el adsorbato y el adsorbente. Una de las variables más importantes en la regeneración con NaOH es la concentración. La regeneración no se llevará a cabo satisfactoriamente si la concentración no es suficientemente alta. Autores han demostrado que con concentraciones del 4% se obtienen buenos resultados. (Sun, Jian, J.-C., Xu, & J.-m, 2009). (Valbuena, D. Et al. 2018).

3. Regeneración con solventes:

Esta técnica mejora la regeneración térmica en aspectos como: ausencia de pérdida de masa, no hay daño a la estructura de los poros y los adsorbatos son fáciles de recuperar. (Salvador, M Et al, 2014).

Por otro lado, la utilización de solventes orgánicos tiene desventajas debido a su alto costo y son altamente tóxicos. Por lo tanto, no se considera un método amigable con el medio ambiente. Los solventes más utilizados han sido metanol, etanol y acetona. (Valbuena, D. Et al. 2018).

El paso fundamental de la regeneración con solventes es la extracción del adsorbato de la superficie carbonácea. Es un fenómeno basado en la mayor solubilidad del adsorbato en el

solvente regenerador que en el líquido contaminado, por lo general agua, tratado durante el paso de adsorción. (Salvador, M. Et al, 2014).

Una molécula de solvente reemplaza físicamente una molécula de adsorbato de la superficie. Lo que significa que las moléculas de solvente quedan retenidas en el material adsorbente. La extracción directa depende de ciertas interacciones entre el solvente, el adsorbente y el adsorbato:

Solvente – Adsorbente: El solvente debe penetrar en la estructura del adsorbente y alcanzar los lugares activos; usualmente localizados en los microporos. Los solventes más efectivos por lo general son los más pequeños estructuralmente o los más livianos. (Salvador, Martin Sánchez, Sánchez Hernández, Sánchez Montero, & Izquierdo, 2014, Solvente – Adsorbato: a mayor solubilidad del contaminante en el solvente, mayor será la eficiencia de extracción. Otro factor importante es el tamaño. Pequeños adsorbatos alcanzan los microporos más profundos, lo que complica el acceso a estas zonas del fluido de extracción. Por lo tanto, es recomendable utilizar solventes que posean un tamaño de molécula menor que la molécula de adsorbato. Adsorbente – Adsorbato: La extracción es dificultada cuando los contaminantes son fuertemente adsorbidos. (Valbuena, D. Et al. 2018).

La retención del solvente por parte del carbón activado durante la extracción dificulta la adsorción del contaminante durante el ciclo siguiente. Por lo tanto, una remoción final del solvente retenido es vital para recuperar la capacidad de adsorción. Este enjuague no solo tiene que ser eficiente si no también permite la recuperación del solvente. Algunos métodos de enjuague son: Circulación de N₂, agua líquida, agua bullendo o caliente o vapor (Salvador, Martin Sánchez, Sánchez Hernández, Sánchez Montero, & Izquierdo, 2014). (Valbuena, D. Et al. 2018).

Dentro de algunos procedimientos que pueden optimizar este método se encuentran: Desechar los regenerantes después de varios ciclos y reemplazarlos por solventes frescos, regenerar los adsorbentes a través de múltiples procesos de extracción en tanques a

contracorriente, utilizar materiales carbonáceos que tengan interacciones adsorbente-adsorbato débiles. (Valbuena, D. Et al. 2018).

4. Regeneración supercrítica

Cuando un fluido excede sus puntos críticos, se convierten en excelentes solventes de compuestos orgánicos, estos se vuelven agentes potencialmente regenerantes de carbón activado saturado. La ventaja de este método es que los fluidos usados, CO₂ y agua, no implican problemas ambientales, además, el último enjuague para remover el solvente retenido no es necesario. Pero las condiciones severas que se necesitan son una notable desventaja. Varios estudios demuestran que la regeneración con agua supercrítica es uno de los más eficientes métodos de todos los estudiados (Salvador, Martin Sánchez, Sánchez Hernández, Sánchez Montero, & Izquierdo, 2014). El agua supercrítica es capaz de limpiar y abrir la microporosidad del sólido. Gracias a este fenómeno, después de la regeneración el material tiene un área superficial mayor que la original. (Valbuena, D. Et al. 2018).

La más importante interacción en este método es la del solvente – Adsorbatos; en general la alta densidad y la baja viscosidad de los fluidos supercríticos hacen que los compuestos orgánicos sean diluidos de una mejor manera. El efecto de la temperatura es engañoso. A presiones por encima del punto crítico (80 – 90 bar), la densidad es el parámetro que toca controlar, entonces, la regeneración decae con el aumento de temperatura (Salvador, Martin Sanchez, Sanchez Hernandez, Sanchez Montero, & Izquierdo, 2014). Si el fluido es comprimido (125 – 150 bar), la viscosidad se vuelve progresivamente más influyente y el efecto negativo de la temperatura es mitigado. Por lo tanto, entre más comprimido el fluido supercrítico este, mejor será la solubilidad y la extracción. (Salvador. M Et al, 2014).

La densidad y la viscosidad no cambian cuando la regeneración se hace con diferentes caudales, pero esta variable afecta la eficiencia de extracción y la velocidad del procedimiento. Los altos caudales extraen mayores cantidades de adsorbato y requieren

tiempos cortos de desorción (Salvador, Martin Sanchez, Sanchez Hernandez , Sanchez Montero, & Izquierdo, 2014). (Valbuena, D. Et al. 2018).

5. Regeneración electroquímica:

La regeneración electroquímica y termoeléctrica comparten corrientes eléctricas como agente regenerativo. La diferencia está en que en el método termoeléctrico restaura el adsorbente saturado haciendo pasar una corriente a través del medio; el calor generado por la corriente eléctrica que circula por un conductor, desorbe los adsorbatos retenidos. El método electroquímico ocurre cuando un material adsorbente saturado es expuesto a una corriente eléctrica en una celda electroquímica. Las celdas electroquímicas consisten en un tanque que contiene una solución electrolítica en donde dos electrodos inmersos son conectados a una fuente de poder externa. Una membrana de intercambio iónico puede ponerse entre los electrodos. (Valbuena, D. Et al. 2018).

Los iones OH⁻ generados en el cátodo permiten que el pH aumente, lo que permite la conversión de grupos superficiales y adsorbatos retenidos en su forma aniónica. Además, las interacciones electrostáticas repulsivas entre las cargas negativas creadas en la superficie carbonácea y los adsorbatos aniónicos favorecen la desorción. La desorción a veces es promovida por reacciones entre el adsorbato y el electrolito que produce especies no adsorbibles (Salvador, Sánchez, Hernández, & Jesús Sánchez Montero, Regeneration of Carbonaceous Adsorbents. Part II: Chemical, Microbiological and Vacuum Regeneration, 2014) y la hidrólisis de los enlaces Adsorbente – Adsorbato que es provocada por electrolitos alcalinos. Los adsorbatos desorbidos migran hacia el ánodo donde usualmente son oxidados por el oxígeno generado en este electrodo o por algunas especies oxidantes procedentes del electrolito. (Salvador, Martin Sanchez , Sanchez Hernandez , Sanchez Montero, & Izquierdo, 2014). (Valbuena, D. Et al. 2018).

6. Regeneración por oxidación:

Este método además de rehabilitar el carbón activado destruye los contaminantes retenidos a través de un tratamiento oxidativo. Existen varios métodos de regeneración por oxidación dependiendo del agente oxidante cómo: (Valbuena, D. Et al. 2018).

7. Regeneración por Oxidación con O₂:

Regeneración térmica oxidativa: En este método una corriente de aire caliente es circulada a través del carbón exhausto para regenerarlo. Este método puede ser usado para gasificar los residuos carbonizados depositados en el carbón activado luego de la desorción térmica; pero generalmente los autores recomiendan regenerar los adsorbentes exponiéndolos directamente al aire caliente, primero el oxígeno tiene que ser adsorbido químicamente por la superficie antes de oxidar los adsorbatos. Una vez adsorbido el O₂ empieza a oxidar los contaminantes y las especies gaseosas son desorbidas. Sin embargo, el oxígeno no solo reacciona con las moléculas contaminantes, sino también con los sitios activos del carbón. Si el adsorbato es únicamente retenido en los microporos el oxígeno adsorbido en las zonas exteriores puede gasificar severamente los sitios activos y causar daños en la estructura porosa y puede haber pérdida de masa.

6.10 Normatividad

Equipos del área clínica

(Decreto 1571 de 1993, Resolución 901 de 1996, Decreto 4725 de 2005, Resolución 4002 del 2007)

En este sentido el inspector del INVIMA en cumplimiento sus funciones de inspección, vigilancia y control de los productos que puedan afectar la calidad de los servicios que presta el Banco de Sangre, deben aplicar los siguientes criterios establecidos en los Artículos 5,13 y 14 del Decreto 1571 de 1993. Una vez definida la incorporación de los equipos quien sea el responsable de estas debe presentar la hoja de vida respectiva donde resalte el plan d mantenimiento y rangos de calibración estipulados por el fabricante. Para

constatar si se realizan los mantenimientos de los equipos, es necesario que aleatoriamente por cada área del banco de sangre, se inspeccione una hoja de vida donde se debe evidenciar la trazabilidad del historial de dichos mantenimientos confrontados con el cronograma de mantenimiento preventivo, además se debe revisar cuando aplique los controles de calidad de dichos equipos. Es necesario contar con un cronograma de mantenimiento, el cual será revisado para la verificación de funcionamiento de los equipos según lo definido en el plan de mantenimiento. (INVIMA, 2014).

En el decreto 1571 de 1993, en el artículo 5o. indica que la obtención de la sangre humana y la práctica de cualquiera de las actividades a que se refiere el artículo 2o. de este Decreto sólo podrá hacerse en instituciones médico - asistenciales, servicios de medicina transfusiones y bancos de sangre que hayan obtenido Licencia Sanitaria de Funcionamiento para tal fin, expedida por la autoridad competente. (Gaviria, 1993). En el artículo 13, del decreto 1571 de 1993 indica que los bancos de sangre, cuales quiera que sea su categoría, requieren como mínimo, entre otros para su funcionamiento, de la siguiente dotación y suministros:

- Camillas o sillas adecuadas para la extracción de sangre
- Nevera o depósito frío para el almacenamiento de sangre o de sus componentes, con sistema de registro y control de temperatura entre 1o.C y 6o.C, así como de alarma audible que alerte cambios próximos al límite en que la sangre almacenada pueda deteriorarse
- Congelador con un registro y control de temperatura por debajo de menos dieciocho grados centígrados (-18o.C), con sistema de alarma audible que alerte cambios próximos al límite en que el componente almacenado pueda deteriorarse.
- Centrífugas dotadas de sistema de control de velocidad y tiempo.
- Microcentrífuga, espectrofotómetro o hemoglobínómetro, así como cualquier otro sistema apropiado para determinar concentraciones de hematocrito y hemoglobina.

- Equipo con control de temperatura para incubación de pruebas, tipo baño serológico, estufa o bloque de calor seco.
- Equipos y reactivos para pruebas de diagnóstico de sífiles, hepatitis B, Virus de Inmunodeficiencia Humana y otras enfermedades transmisibles por la sangre que, previa calificación del Consejo Nacional de Bancos de Sangre y el Ministerio de Salud, constituyan un problema de salud pública.
- Reactivos para la determinación de grupos sanguíneos correspondientes a los sistemas A, B, O, Rh.
- Equipos de esterilización.
- Tensiómetro.
- Estetoscopio.
- Equipo para peso de donantes.
- Balanzas para determinar el peso de las unidades de sangre recolectadas.
- Serófugas.
- Nevera para el almacenamiento de sueros y reactivos, con termómetro interno para control de la temperatura.
- Equipo separador de plasma.
- Pinza exprimidora del tubo piloto.
- Sistema de sellamiento del tubo piloto.
- Pipetas automáticas.
- Microscopio parasitológico binocular.
- Lámpara para la lectura de pruebas con visor de aglutinación.

En el párrafo primario el almacenamiento de sangre, componentes y reactivos a que se refieren los literales b), g) y h) del presente artículo, podrá hacerse en una sola nevera o depósito frío, que por sus condiciones permitan su adecuada conservación, distribución y separación. El Parámetro segundo dice que los bancos de sangre que transitoriamente no cuenten con los elementos descritos en el literal g), deben enviar, ya sea la sangre recolectada o una muestra de ella al banco de sangre de referencia o a otro de mayor o igual categoría para las pruebas necesarias. El párrafo tercero indica que los bancos de sangre,

cuales quiera que sea su categoría, deberán disponer de un botiquín de primeros auxilios, el cual debe contar con los equipos necesarios para el manejo de reacciones adversas a la donación. Los servicios de transfusión además, dispondrán de los elementos necesarios para el manejo de reacciones adversas a la transfusión, de acuerdo con las normas técnicas que expida el Ministerio de Salud. (Gaviria, 1993).

En el párrafo cuarto expresa que el personal que labora en los bancos de sangre y servicios de transfusión deben utilizar ropa de trabajo y elementos de protección que garanticen condiciones higiénico - sanitarias y de bioseguridad. En el artículo 14 Los bancos de sangre pertenecientes a la categoría A requieren para su funcionamiento, además de los requisitos de los artículos 12 y 13 del presente Decreto, los siguientes elementos:

- Congelador a menos de treinta grados centígrados (-30o.C), con sistema de registro y control de alarma audible, que alerte cambios próximos al límite en que pueda deteriorarse su contenido, destinado para el almacenamiento de los componentes sanguíneos que se procesen.
- Centrífuga refrigerada para separación de componentes sanguíneos.
- Agitador o rotador de plaquetas.
- Para aquellos bancos de sangre categoría A, que además sirvan como de referencia dentro de la Red de Bancos de Sangre, deberán tener reactivos para pruebas de detección e identificación de anticuerpos irregulares, así como los necesarios para determinar otros grupos sanguíneos correspondientes a los sistemas diferentes del A - B - O y antígeno D del sistema Rh.
- Contar con un sistema de eliminación o incineración de desechos biológicos, cumpliendo con la resolución sobre desechos sólidos especiales, expedida por el Ministerio de Salud.

En el párrafo primero del decreto 1571 de 1993 indica: El Ministerio de Salud podrá establecer otros requisitos complementarios de dotación a los establecidos en el presente

artículo. En el párrafo segundo el Ministerio de Salud determinar los elementos que del conjunto de los equipos utilizados para la toma o transfusión de sangre o de sus componentes, deber ser de uso único, individual y desechable. (Gaviria, 1993).

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

La resolución 0631 de 2015 da a conocer los cambios presentados en la Norma de Vertimientos, que reglamenta el artículo 2.2.3.3.4.7 del Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible 1076 de 2015.

La participación del Gobierno Nacional, integrantes de los diferentes sectores productivos, las autoridades ambientales, la academia, las entidades relacionadas, el sector consultor y la comunidad en general, deben tener claridad sobre los nuevos cambios presentados, que ahora cobijan los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y al alcantarillado público.

Cinco (5) de las características principales de la Norma de Vertimientos Puntuales a Cuerpos de Agua Superficiales y a los Sistemas de Alcantarillado Público son:

1. Establecer los parámetros y los valores límites máximos permisibles de vertimientos por actividad productiva.
2. Se pasó de los valores límites máximos permisibles expresados en carga (kg/día) a los expresados en concentración (mg/l), lo cual cambia el concepto de remoción en el tratamiento por concentración final.
3. Hace una diferenciación entre Aguas Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales no Domésticas (ARND).
4. Elimina los conceptos de usuario nuevo y usuario existente.

5. Se establecen parámetros de análisis y reporte para construcción de la línea base de País. (MADS,s.f)

DISEÑO EXPERIMENTAL

6.10.1 Experimento 1

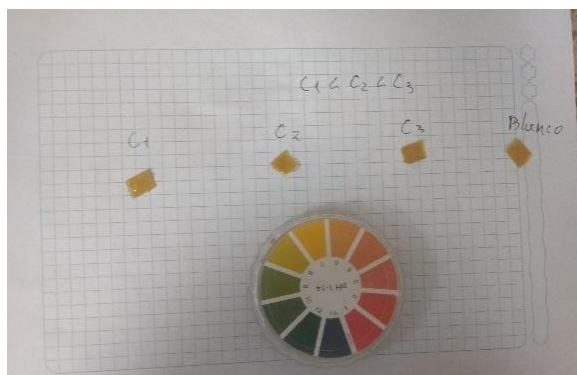
Este experimento se realiza para determinar si el carbón activado tendrá eficacia para poder disminuir el color de las disoluciones.

- Se prepararon 3 disoluciones a diferentes concentraciones (Agua-Sangre)



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Disoluciones (Agua-sangre) [Figura 6]. Elaboración propia

A cada una de las muestras se le midió el pH inicial, el cual fue aproximadamente de 7 en cada una de las disoluciones, se midió con papel indicador



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Medición de pH inicial con papel tornasol [Figura 7]. Elaboración propia

- Para poder alcalinizar las muestras se agregó 0,15 gr de NaOH en un volumen de 500 ml de muestra.
- Se mide el pH: 11,3



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Medición final de pH con papel tornasol [Figura 8]. Elaboración propia

- Se adiciona 0,5 gramos de carbón activado y se deja agitando por un tiempo de 5 min



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Mezcla de muestras con carbón activado [Figura 9]. Elaboración propia

- Después de 5 días se observa un cambio de coloración y se mide de nuevo el pH

C1: 11,151

C2: 10,746

C3: 11,037



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Sedimentación de carbón activado [Figura 10]. Elaboración propia

- Se filtra la muestra y se mide de nuevo el pH

C1: 11,072

C2: 10,716

C3: 10,011



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Muestra filtrada C1 [Figura 11]. Elaboración propia



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Muestra filtrada C2 [Figura 12]. Elaboración propia



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Muestra filtrada C3 [Figura 13]. Elaboración propia

Se pudo observar el cambio de coloración en cada una de las disoluciones, esto debido a la acción del carbono activado, esto quiere decir que el carbón activado si nos servirá para realizar las siguientes pruebas.

6.10.2 Experimento 2

Inicialmente se realiza una curva patrón con una solución madre preparada con agua y sangre, para ello se utilizó 1 ml de sangre humana en 249 ml de agua destilada. A partir de esta solución se prepararon 9 soluciones más de 100 mL, con concentración más baja, para

realizar una lectura de espectroscopía a una longitud de onda de 540 nm, esta longitud se determinó luego de hacer una investigación y determinar que a este valor se mide la sangre.

- Solución madre



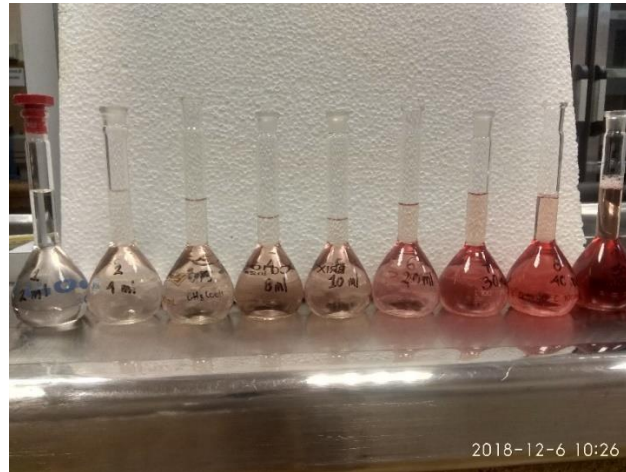
Casallas, A, & Sánchez V (2018). Solución madre 250 ml [Figura 14]. Elaboración propia

- Se filtra la solución madre para eliminar las partículas suspendidas



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Solución madre filtrada [Figura 15]. Elaboración propia

- Posterior a ello, se prepararon 9 diluciones con diferentes volúmenes de la solución madre.



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Diluciones a diferentes concentraciones, [Figura 16]. Elaboración propia.

- Después de ello se construyó una curva de calibración a partir de las diluciones preparadas de la solución madre.

Editar método		06/12/18 10:30
	Valor nominal	Absorbancia
E0	0.00 v/v	
1	2.00 v/v	0.017
2	4.00 v/v	0.045
3	8.00 v/v	0.046
4	10.00 v/v	0.050
5	20.00 v/v	0.099
6	30.00 v/v	0.157
7	40.00 v/v	0.211
8	50.00 v/v	0.262

Retroceder Agregar Borrar Siguiete

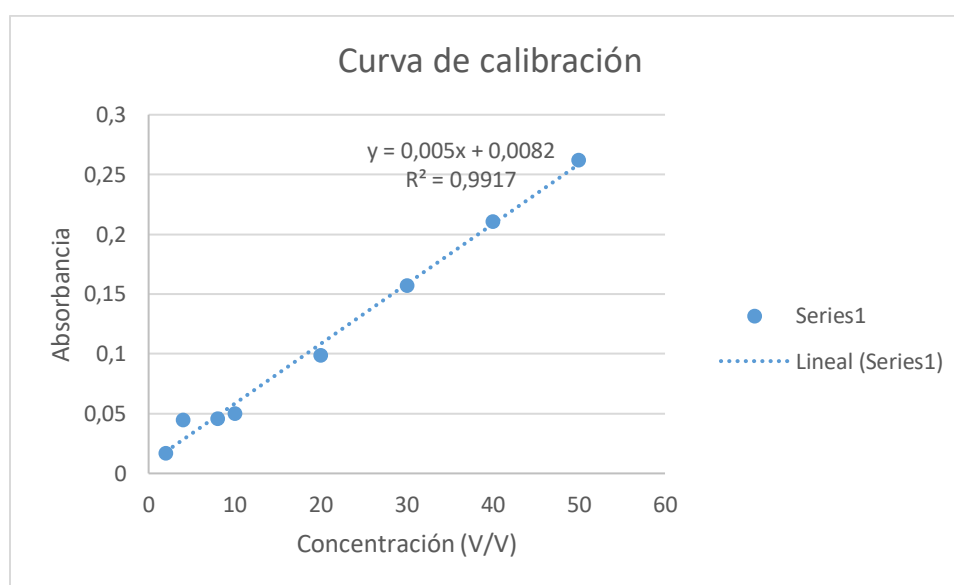
Casallas, A, & Sánchez V (2018). Resultados de la absorbancia de las diluciones, [Figura 17]. Elaboración propia.

Tabla 3. Diluciones de agua destilada con sangre humana

Diluciones	Cantidad de volumen de la solución madre (ml)
1	2 ml
2	4 ml
3	6 ml

4	8 ml
5	10 ml
6	20 ml
7	30 ml
8	40 ml
9	50 ml

Nota. En las diluciones presentadas anteriormente, se le adicionaron diferentes concentraciones de sangre humana



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Curva de calibración, [Figura 18]. Elaboración propia

Tabla 4. Resultados de absorbancia

Diluciones	Absorbancia
1	0,017
2	0,045
4	0,046
5	0,05
6	0,099
7	0,157

8	0,211
9	0,262

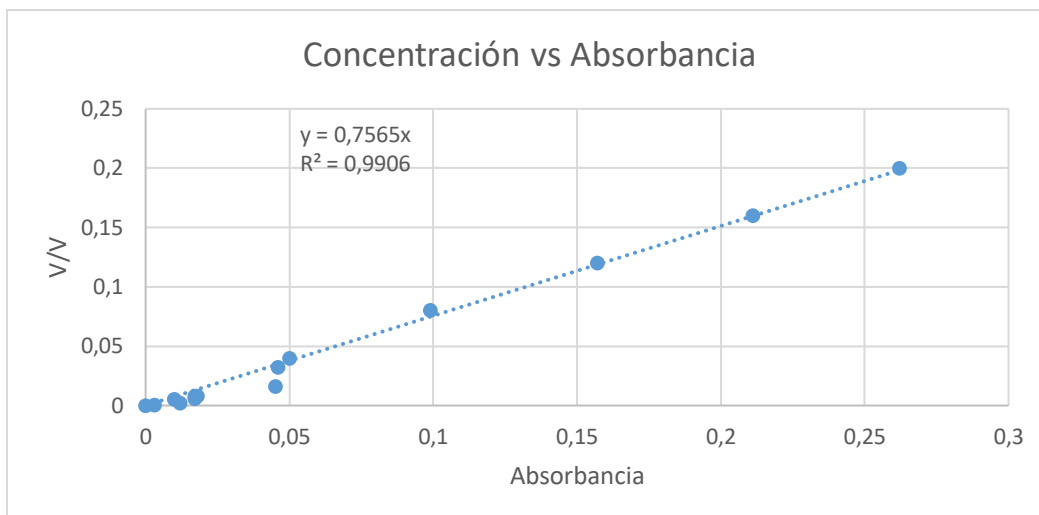
Nota. Los valores presentados en la tabla corresponden a la absorbancia de las diluciones anteriores para construir la curva de calibración

Es importante mencionar que en el experimento 2 los resultados de la absorbancia algunos no se encontraban dentro del rango de la curva de calibración, por ende, se realizó un ajuste para que de esta manera todos los valores obtenidos se puedan incorporar en la curva de calibración.

Tabla 4. Resultados de absorbancia

Valor sin madre	Volumen en agua	% V/V	Absorbancia
0		0	0
0,1	99,9	0,0004	0,003
0,5	99,5	0,002	0,012
1,3	98,7	0,0052	0,01
1,5	98,5	0,006	0,017
2	98	0,008	0,018
2	98	0,008	0,017
4	96	0,016	0,045
8	92	0,032	0,046
10	90	0,04	5
20	80	0,08	0,099
30	70	0,12	0,157
40	60	0,16	0,211
50	50	0,2	0,262

Grafica 1. Concentración vs absorbancia



Nota. Con los resultados finales de las absorbancias de las 9 diluciones se elaboró la curva de calibración

6.10.3 Experimento 3

Se realizaron 2 ensayos, uno de ellos con carbón vegetal y el otro con carbón activado, para este método se empleó como adsorbente carbón vegetal y carbón activado a una concentración del 5%.

Para la disolución 1 (carbón vegetal) se sacó 1 blanco y 2 muestras de 5mL y se le agregó el carbón vegetal. El tiempo de agitación de las muestras fue de 88 horas aproximadamente.

Para la disolución 2 (carbón activado) se sacó 1 blanco y 3 muestras de ml y se le agregó el carbón activado. El tiempo de agitación fue de 48h con 18min.

5% $\frac{W}{W}$ Carbon vegetal y carbón activado

Densidad del agua = 1 g/ml

Donde:

$\% \frac{W}{W}$ = Porcentaje de peso – peso

$M_{Sólido}$ = Masa del sólido

$$M_{Total} = \text{Masa total}$$

$$M_{Liquido} = \text{Masa del líquido}$$

$$\% \frac{W}{W} = \frac{M_{Solido}}{M_{Total}} \times 100\%$$

$$\% \frac{W}{W} = \frac{M_{Solido}}{M_{Solido} + M_{Liquido}} \times 100\%$$

Despejar M_{Solido}

$$5\% = \frac{M_{Solido}}{M_{Solido} + 5} \times 100\%$$

$$\frac{5\%}{100\%} = \frac{M_{Solido}}{M_{Solido} + 5}$$

$$\frac{100\%}{5\%} = \frac{M_{Solido} + 5}{M_{Solido}}$$

$$1 + \frac{5}{M_{Solido}} = \frac{M_{Solido}}{M_{Solido}} + \frac{5}{M_{Solido}}$$

$$\frac{100}{5} = 1 + \frac{5}{M_{Solido}}$$

$$M_{Solido} = \frac{5}{\frac{100}{5} - 1} = 0,26 \text{ g}$$

$$\text{Total carbón activado} = 0,26\text{g} * 27$$

$$\text{Total carbón vegetal} = 0,26\text{g} * 18$$

$$\text{Total carbón carbon activado} = 7,02\text{g}$$

$$\text{Total carbón carbon activado} = 4,68\text{g}$$

CARBÓN VEGETAL

Para el carbón vegetal el primer paso que se realizó fue molerlo, se realizó el proceso del tamizado para separar las partículas más gruesas y se utilizó el carbón de las partículas

más pequeñas y después se pesó la cantidad de los 0,26 gramos aproximadamente que corresponden a una concentración del 5% para agregarlos a las dos muestras de cada dilución.



Casallas, A & Sánchez V (2018). Carbón vegetal, [Figura 19]. Elaboración propia.



Casallas, A & Sánchez V (2018). Etapa de pulverización del carbón vegetal, [Figura 20]. Elaboración propia.



Casallas, A & Sánchez V (2018). Carbón vegetal pulverizado, [Figura 21]. Elaboración propia.



Casallas, A & Sánchez V (2018). Tamizaje, [Figura 22]. Elaboración propia



Casallas, A & Sánchez V (2018). Tamizaje del carbón vegetal pulverizado, [Figura 23]. Elaboración propia



Casallas, A & Sánchez V (2018). Peso del carbón vegetal de 0,26 g a una concentración del 5%, [Figura 24]. Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestran las cantidades exactas que se le agrego a cada tubo de ensayo del carbón vegetal pulverizado:

Tabla 5. Tabla de cantidad de carbón vegetal

Muestras de las diluciones	Cantidad de carbón (gramos)
Muestra 1	0,2565
Muestra 1	0,2589
Muestra 2	0,2579
Muestra 2	0,256
Muestra 3	0,26
Muestra 3	0,2639
Muestra 4	0,2739
Muestra 4	0,2675
Muestra 5	0,2697
Muestra 5	0,265
Muestra 6	0,2647
Muestra 6	0,2595
Muestra 7	0,2597
Muestra 7	0,2608
Muestra 8	0,2591
Muestra 8	0,2601
Muestra 9	0,2697
Muestra 9	0,2615

Nota: A cada tubo se le adiciono aproximadamente 0,26 gramos de carbón vegetal pulverizado a una concentración del 5%



Casallas, A & Sánchez V (2018). Carbón vegetal, [Figura 25]. Elaboración propia



*Casallas, A & Sánchez V (2018). Carbón vegetal con 5 ml de las diluciones preparadas, [Figura 26].
Elaboración propia*



Casallas, A & Sánchez V (2018). Muestras en agitación por un periodo de 88 horas aproximadamente, [Figura 27]. Elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados de la absorbancia de las muestras anteriores:

Tabla 6. Resultados de absorbancia

Muestras de las diluciones	Absorbancia
Blanco 1	0,017
Muestra 1	0,012
Muestra 1	0,011
Blanco 2	0,045
Muestra 2	0,031
Muestra 2	0,028
Blanco 3	0,046
Muestra 3	0,030
Muestra 3	0,029
Blanco 4	0,046
Muestra 4	0,032
Muestra 4	0,029
Blanco 5	0,050
Muestra 5	0,041
Muestra 5	0,039
Blanco 6	0,099
Muestra 6	0,079
Muestra 6	0,077
Blanco 7	0,157
Muestra 7	0,124
Muestra 7	0,127
Blanco 8	0,211
Muestra 8	0,174
Muestra 8	0,179
Blanco 9	0,262
Muestra 9	0,201
Muestra 9	0,211

Nota. Resultados finales de la absorbancia después de adicionar el carbón vegetal por 88 horas aproximadamente

Una vez obtenidos los resultados se deben procesar para poder construir las isotermas de adsorción, en el presente trabajo se propuso un procedimiento experimental de la isoterma Freundlich de y la isoterma de Langmuir.

Tabla 7. Procesamiento de datos en excel para la construcción de las isotermas de adsorción

Numero de experimentos	Absorbancia	Concentraciones iniciales %V/V	Promedios de las concentraciones finales %V/V	Volumen de la solución (ml)	Gramos del adsorbente (gr)	Promedio del adsorbente gr
Blanco 1	0,017	0,0128605		5		
Muestra 1	0,012	0,009078	0,00869975	5	0,2565	0,2577
Muestra 1	0,011	0,0083215		5	0,2589	
Blanco 2	0,045	0,0340425		5		
Muestra 2	0,031	0,0234515	0,02231675	5	0,2579	0,25695
Muestra 2	0,028	0,021182		5	0,256	
Blanco 4	0,046	0,034799		5		
Muestra 4	0,032	0,024208	0,02307325	5	0,2739	0,2707
Muestra 4	0,029	0,0219385		5	0,2675	
Blanco 5	0,050	0,037825		5		
Muestra 5	0,041	0,0310165	0,03026	5	0,2697	0,26735
Muestra 5	0,039	0,0295035		5	0,265	
Blanco 6	0,099	0,0748935		5		
Muestra 6	0,079	0,0597635	0,059007	5	0,2647	0,2621
Muestra 6	0,077	0,0582505		5	0,2595	
Blanco 7	0,157	0,1187705		5		
Muestra 7	0,124	0,093806	0,09494075	5	0,2597	0,26025
Muestra 7	0,127	0,0960755		5	0,2608	
Blanco 8	0,211	0,1596215		5		
Muestra 8	0,174	0,131631	0,13352225	5	0,2591	0,2596
Muestra 8	0,179	0,1354135		5	0,2601	
Blanco 9	0,262	0,198203		5		
Muestra 9	0,201	0,1520565	0,155839	5	0,2697	0,2656
Muestra 9	0,211	0,1596215		5	0,2615	

Nota: Se debe sacar los promedios ya que los datos se tomaron varias veces

Tabla 8. Cálculos de las variables de las isotermas de adsorción

Numero de experimentos	Concentraciones iniciales %V/V	Promedios de las concentraciones finales %V/V	Volumen de la solución (ml)	Gramos del adsorbente (gr)
1	0,0128605	0,00869975	5	0,2577
2	0,0340425	0,02231675	5	0,25695
4	0,034799	0,02307325	5	0,2707
6	0,0748935	0,059007	5	0,2621
7	0,1187705	0,09494075	5	0,26025
8	0,1596215	0,13352225	5	0,2596
9	0,198203	0,155839	5	0,2656

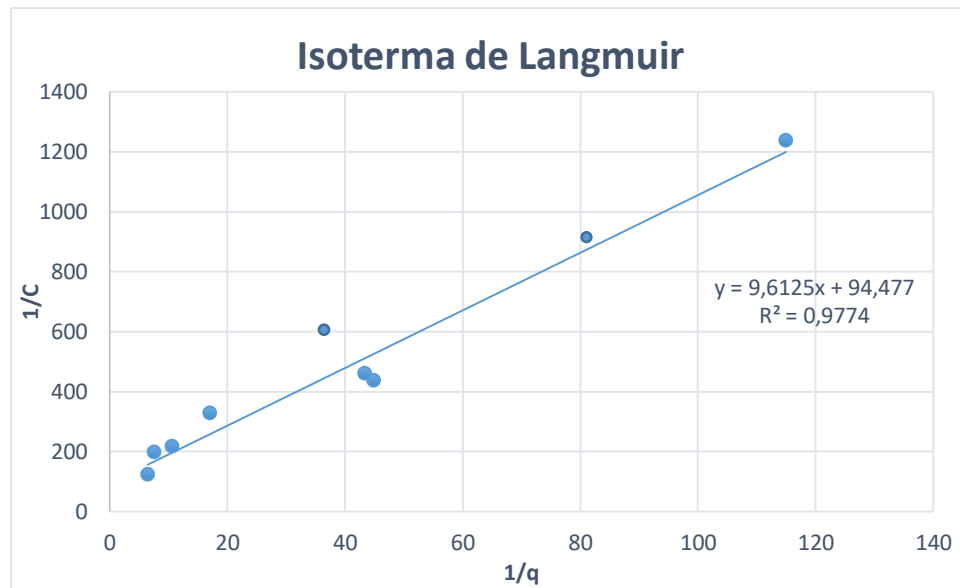
Nota: Isotherma de adsorción

Tabla 9. Datos remoción de adsorción para poder generar los gráficos

1/q	q (ml sangre/g carbon)	1/C
1238,718981	0,000807286	114,9458318
438,266209	0,002281718	44,80939205
461,7188666	0,00216582	43,34023165
329,9656941	0,003030618	16,94714186
218,4244484	0,004578242	10,53288498
198,9329195	0,00502682	7,489388473
125,3894816	0,007975151	6,416878958

Nota: Datos para generar la isoterma de Langmuir

Grafica 2. Isotherma de Langmuir



Nota: Después de procesar todos los datos en excel, se grafica 1/C Vs 1/q

$$q = KC^n$$

$$q = \frac{q_m K_l C_e}{1 + K_l C_e}$$

Ecuación linealizada

$$\frac{1}{q} = \frac{1 + K_l C_e}{q_m K_l C_e}$$

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m K_l C_e} + \frac{1}{q_m}$$

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K_l q_m C_e}$$

Ecuación de la recta:

$$y = b + mx$$

Donde:

$$y = \frac{1}{q}$$

$$b = \frac{1}{q_m}$$

$$m = \frac{1}{K_l q_m}$$

$$x = \frac{1}{C_e}$$

Regresión lineal de la isoterma de Langmuir

$$y = 9,6125x + 94,477$$

Usando el modelo

$$b = \frac{1}{q_m} \text{ entonces reemplazando } 94,477 = \frac{1}{q_m}$$

$$q_m = \frac{1}{94,477} = 0,01058458458672488113$$

$$m = \frac{1}{K_l q_m} \text{ Reemplazando } 9,6125 = \frac{1}{K_l q_m}$$

$$K_l = \frac{1}{9,6125 \times 0,01058458458672488113} = 9,822855656697009$$

Reemplazando en la ecuación

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K_l q_m C_e}$$

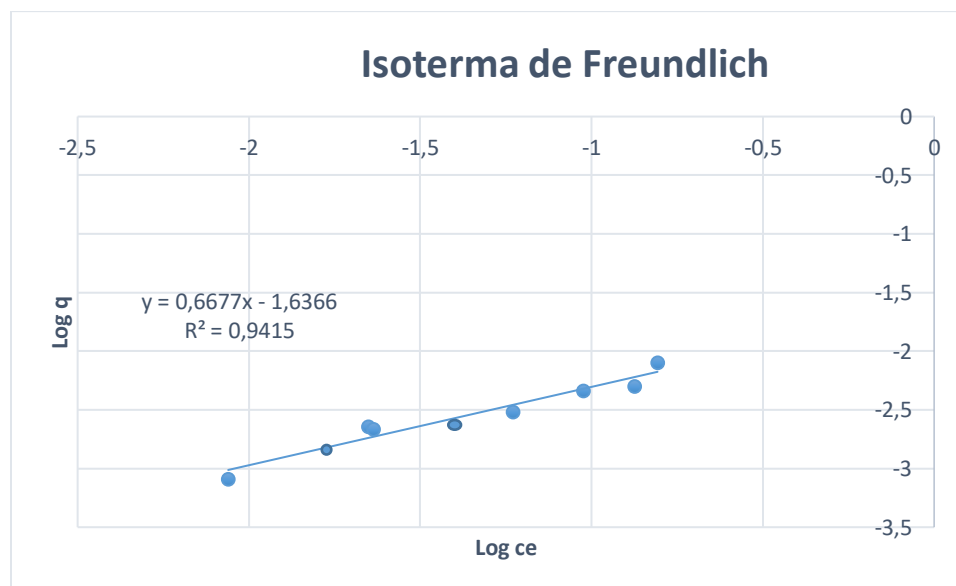
$$430,2028314 = (9,6125 * 34,9259642511515) + 94,477$$

$$430,2028314 = 430,2028314$$

Tabla 10. *Procesamiento de datos en excel para la construcción de la isoterma de Freundlich,*

Log ce	Log q
-2,060493	-3,092973
-1,651369	-2,641738
-1,636891	-2,664378
-1,229096	-2,518469
-1,022547	-2,339301
-0,874446	-2,298707
-0,807324	-2,098261

Grafica 3. *Isoterma de Freundlich*



Nota: *Grafico de log q Vs Log Ce*

Según el resultado de la ecuación de la gráfica, los valores no se ajustan al modelo ya que la intersección en el eje Y es negativo

CARBÓN ACTIVADO

Para el carbón activado se tomó una cantidad de 8g, como este estaba un poco grueso, se muele para realizar el proceso de tamizado, este se hace con el fin de separar las partículas más gruesas.



Casallas, A & Sánchez V (2018). Tamizado del carbón activado, [Figura 28]. Elaboración propia

Al final queda el carbón tamizado con las partículas más pequeñas.



Casallas, A & Sánchez V (2018). Carbón activado pulverizado [Figura 29]. Elaboración propia

Se pesó la cantidad de los 0,26 gramos aproximadamente que corresponden a una concentración del 5%



Casallas, A & Sánchez V (2018). Peso del carbón activado (0,26g aproximadamente) [Figura 30]. Elaboración propia

Se agrega el carbón a cada una de las disoluciones



Casallas, A & Sánchez V (2018). Disoluciones con carbón activado [Figura 31]. Elaboración propia

Se deja agitar por un tiempo de 42 horas y 18 minutos

En la siguiente tabla se muestran las cantidades exactas que se le agrego a cada tubo de ensayo del carbón activado

Tabla 11. Cantidad de carbón por cada disolución

Muestra	Cantidad de carbón (g)
1,1	0,26
1,2	0,26
1,3	0,26
2,1	0,261
2,2	0,2637
2,3	0,2662
3,1	0,2716
3,2	0,2691
3,3	0,2632
4,1	0,2583
4,2	0,2581
4,3	0,2698
5,1	0,2569
5,2	0,252
5,3	0,2664
6,1	0,256
6,2	0,268
6,3	0,2534
7,1	0,2777
7,2	0,251
7,3	0,2617
8,1	0,295
8,2	0,2542
8,3	0,2634
9,1	0,2585
9,2	0,2694
9,3	0,2726

Nota: La cantidad aproximadamente de carbón activado es de 0,26g

Absorbancia de cada una de las disoluciones después de la agitación y sedimentación del carbón activado

Tabla 12. Promedio y concentraciones de las disoluciones

Muestra	Promedio	Concentración	Promedio de c.
1	0,01	0,007565	
1,1	0,003666667	0,002773833	0,002353556
1,2	0,004333333	0,003278167	
1,3	0,001333333	0,001008667	

Muestra	Promedio	Concentración	Promedio de c.
2	0,033	0,0249645	
2,1	0,005333333	0,004034667	0,004118722
2,2	0,002	0,001513	
2,3	0,009	0,0068085	

Muestra	Promedio	Concentración	Promedio de c.
3	0,045	0,0340425	
3,1	0,003666667	0,002773833	0,003614389
3,2	0,003666667	0,002773833	
3,3	0,007	0,0052955	

Muestra	Promedio	Concentración	Promedio de c.
4	0,064	0,048416	
4,1	0,013	0,0098345	0,008825833
4,2	0,008333333	0,006304167	
4,3	0,013666667	0,010338833	

Muestra	Promedio	Concentración	Promedio de c.
5	0,07	0,052955	
5,1	0,006333333	0,004791167	0,009078
5,2	0,020666667	0,015634333	
5,3	0,009	0,0068085	

Muestra	Promedio	Concentración	Promedio de c.
6	0,159	0,1202835	
6,1	0,018333333	0,013869167	0,012524278
6,2	0,016	0,012104	
6,3	0,015333333	0,011599667	

Muestra	Promedio	Concentración	Promedio de c.
7	0,227	0,1717255	
7,1	0,008	0,006052	0,020929833
7,2	0,009333333	0,007060667	
7,3	0,065666667	0,049676833	

Muestra	Promedio	Concentración	Promedio de c.
8	0,295	0,2231675	
8,1	0,022	0,016643	0,014625667
8,2	0,019333333	0,014625667	
8,3	0,016666667	0,012608333	

Muestra	Promedio	Concentración	Promedio de c.
9	0,298	0,225437	
9,1	0,021333333	0,016138667	0,016474889
9,2	0,015	0,0113475	
9,3	0,029	0,0219385	

Nota: Por cada muestra se tomó 3 veces la absorbancia y se registra un promedio

Una vez obtenidos los resultados se deben procesar para poder construir las isotermas de adsorción, en el presente trabajo se propuso un procedimiento experimental de la isoterma Freundlich de y la isoterma de Langmuir.

Tabla 13. Datos procesados en excel

Experimento	Co (%v/v)	Cf (%v/v)	V sln (ml)	Masa adsorbente (g)	q (ml sangre/g carbon)	1/q	1/ce	log q	log Ce
1	0,007565	0,00235356	5	0,26	0,001002201	997,8039784	424,8890567	-2,99904523	-2,62827555
2	0,0249645	0,00411872	5	0,2636	0,003954055	252,9049315	242,7937467	-2,4029573	-2,3852375
3	0,0340425	0,00361439	5	0,2679	0,005679005	176,0871709	276,6719439	-2,24572772	-2,44196512
4	0,048416	0,00361439	5	0,262	0,008549926	116,9600796	276,6719439	-2,06803766	-2,44196512
5	0,052955	0,009078	5	0,2584	0,008490132	117,7838047	110,1564221	-2,07108558	-2,04200982
6	0,1202835	0,01252428	5	0,2591	0,02079491	48,08869156	79,84492342	-1,68204296	-1,90224731
7	0,1717255	0,02092983	5	0,2634	0,028624842	34,93469087	47,77868911	-1,5432569	-1,67923423
8	0,2231675	0,01462567	5	0,2594	0,040196961	24,8775026	68,37295166	-1,39580678	-1,83488433
9	0,225437	0,01647489	5	0,2668	0,039160815	25,53572976	60,69843668	-1,40714827	-1,78317751

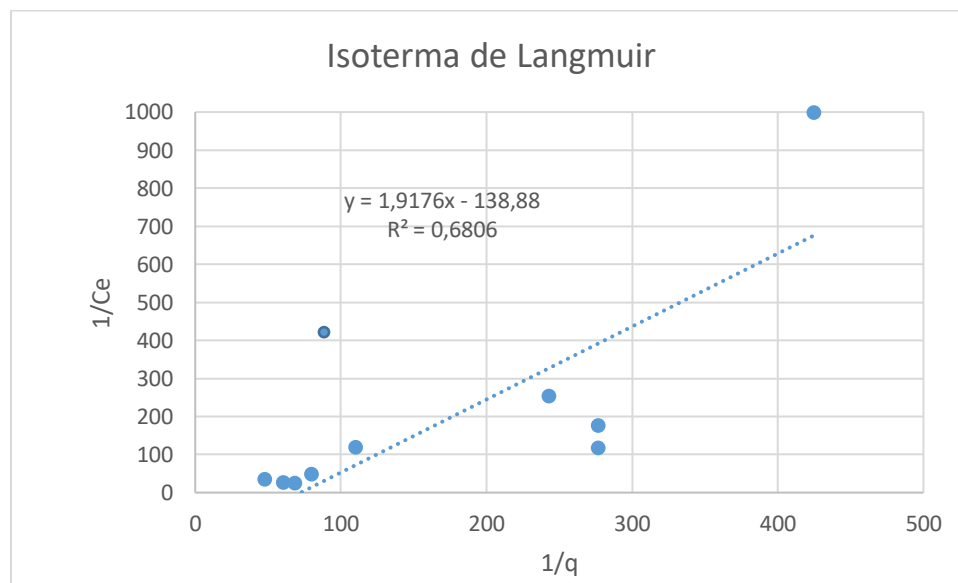
Nota: Los datos resaltados en amarillo se eliminaron para que la isoterma de Freundlich se ajustara al modelo.

Tabla 14. Datos para generar la isoterma de Langmuir

q (ml sangre/g carbon)	1/q	1/ce
0,001002201	997,8039784	424,8890567
0,003954055	252,9049315	242,7937467
0,005679005	176,0871709	276,6719439
0,008549926	116,9600796	276,6719439
0,008490132	117,7838047	110,1564221
0,02079491	48,08869156	79,84492342
0,028624842	34,93469087	47,77868911
0,040196961	24,8775026	68,37295166
0,039160815	25,53572976	60,69843668

Nota: Isotherma de Langmuir 1/c vs 1/q

Grafica 3. Isotherma de Langmuir



Nota: Después de procesar todos los datos en excel, se grafica 1/C Vs 1/q

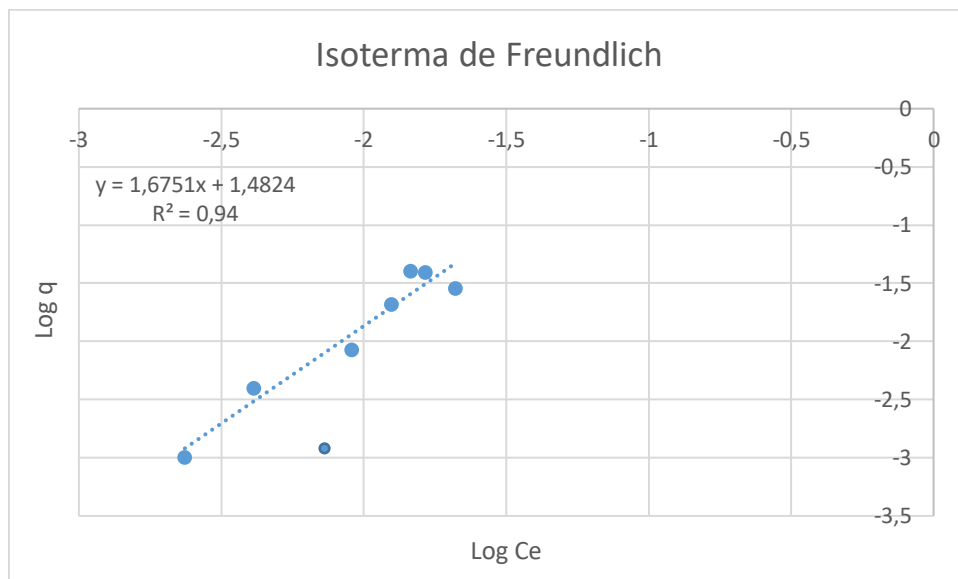
Según el resultado de la ecuación de la gráfica, los valores no se ajustan al modelo ya que la intersección en el eje y es negativo.

Isoterma de Freundlich

Tabla 15. Datos para generar la isoterma de Freundlich

log q	log Ce
-2,9990452	-2,6282755
-2,4029573	-2,3852375
-2,0710856	-2,0420098
-1,682043	-1,9022473
-1,5432569	-1,6792342
-1,3958068	-1,8348843
-1,4071483	-1,7831775

Grafica 4. Isoterma de Freundlich



Nota: Grafico de log q Vs Log Ce

Modelo de Freundlich

$$qe = KCe^{\frac{1}{n}}$$

Ecuación linealizada

$$\text{Log } qe = \text{Log } KCe^{\frac{1}{n}}$$

$$\text{Log } qe = \text{Log } K + \text{Log } Ce^{\frac{1}{n}}$$

$$\text{Log } qe = \text{Log } K + \frac{1}{n} * \text{Log } Ce$$

Ecuación de la recta

$$Y = b + mx$$

Donde:

$$Y = \text{Log } q$$

$$b = \text{Log } k$$

$$m = \frac{1}{n}$$

$$x = \text{Log } Ce$$

Regresión lineal de la isoterma de Freundlich

$$Y = 1,6751x + 1,4824$$

Usando el modelo de Freundlich

$$b = \text{Log } k \text{ entonces reemplazando } 1,4824 = \text{Log } k$$

$$m = \frac{1}{n} \text{ entonces reemplazando } 1,6751 = \frac{1}{n}$$

$$n = \frac{1}{1,6751}$$

$$n = 0,596979285$$

$$x = \text{Log } Ce \text{ entonces reemplazando } x = -2,036438$$

$$Y = \text{Log } q \text{ entonces reemplazando } y = -1,9287633$$

Reemplazando la ecuación

$$\begin{aligned} \text{Log } q_e &= \text{Log } K + \frac{1}{n} * \text{Log } C_e \\ -1,9287633 &= 1,4824 + \frac{1}{0,596979825} * -2,036438 \\ -1,9287633 &= -1,9287633 \end{aligned}$$

Como se logra apreciar, el sistema de adsorción en continuo experimentado en el laboratorio presenta un comportamiento que se ajusta a la isoterma de adsorción evaluadas, la isoterma de Freundlich. Lo anterior puede explicarse porque la isoterma corresponde a un sistema monomolecular (se forma un monocapa, asumiendo que cada sitio adsorbe una sola molécula del adsorbato), lo que corresponde a una isoterma de Tipo I.

6.10.4 Experimento 4

Se prepararon 2 diluciones de 500 ml de agua destilada con diferente cantidad de sangre humana y como absorbente se utilizó el hipoclorito de sodio al 5%. Para ello se tomaron 4 muestras de cada una que correspondía al blanco y a 3 muestras más con diferente cantidad de volumen de hipoclorito de sodio para analizar el cambio de color de las muestras iniciales, también se midió la absorbancia de las muestras y finalmente se agregó otro absorbente, carbón vegetal al 5%.



*Casallas, A, & Sánchez V (2018). Muestra 1 y muestra 2 con 500 ml de agua destilada, [Figura 32].
Elaboración propia*



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Muestra de sangre humana, [Figura 33]. Elaboración propia



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Adición de las gotas de sangre a las muestras con agua destilada, [Figura 34]. Elaboración propia



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Muestra 1 (40 gotas de sangre humana), [Figura 35] Elaboración propia



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Muestra 2 (80 gotas de sangre humana), [Figura 36]. Elaboración propia

Tabla 16. Muestras de agua con cantidades diferentes de sangre

# de muestras de 500 ml de agua destilada	Cantidad de sangre humana (gotas)
Muestra 1	40 gotas
Muestra 2	80 gotas

Nota. Cada muestra contiene diferente concentración de sangre humana

Una vez realizado el montaje se deben colocar las muestras en agitación para lograr la dilución completa de la sangre. Después de ello se debe preparar una dilución de hipoclorito de sodio al 5% para adicionar diferentes cantidades del adsorbente por cada muestra para poder analizar si hay remoción de color.

- Cálculos para determinar la cantidad de hipoclorito de sodio a una concentración del 5%

$$V = 150 \text{ ml}$$

$$C_f = 5\% \frac{P}{V}$$

$$C_i = 13\%$$

Donde:

$V = \text{Volumen}$

$C_f = \text{Concentracion final de hipoclorito de sodio}$

$C_i = \text{Concentracion inicial de hipoclorito de sodio}$

$$\frac{5 \text{ g}}{90 \text{ ml}} \times 150 \text{ ml} = 8,3 \text{ g}$$

$$V = \frac{8,3 \times 90}{13} = 57,5 \text{ de NaClO}$$

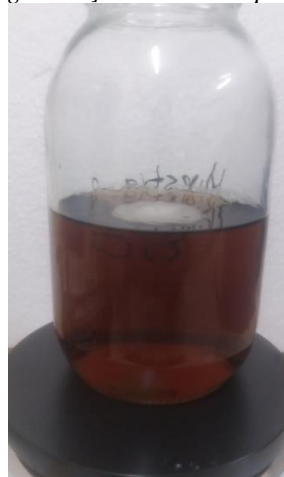
$$150 \text{ ml} - 57,5 = 92,5 \text{ Agua destilada}$$



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Hipoclorito de sodio, [Figura 37]. Elaboración propia



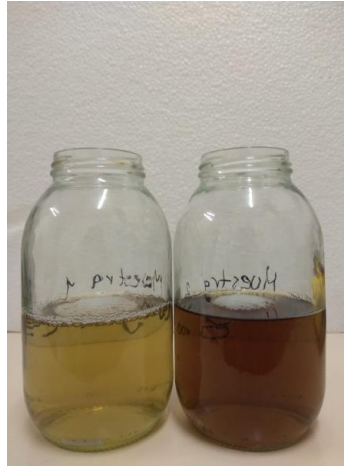
Casallas, A, (2018). Adición de 1 ml de Hipoclorito de sodio para la muestra 1 de (40 gotas), [Figura 38]. Elaboración propia



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Adición de 1 ml de Hipoclorito de sodio para la muestra 2 de (80 gotas), [Figura 39]. Elaboración propia



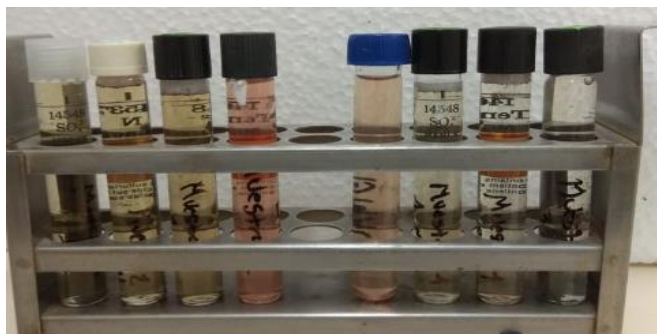
Casallas, A, & Sánchez V (2018). Adición de 2 ml de Hipoclorito de sodio para la muestra 1 de (40 gotas) y muestra 2 (80 gotas), [Figura 40]. Elaboración propia



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Adición de 3 ml de Hipoclorito de sodio para la muestra 1 de (40 gotas) y muestra 2 (80 gotas), [Figura 41]. Elaboración propia



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Adición de 4 ml de Hipoclorito de sodio para la muestra 2 de (80 gotas) y muestra 1 (40 gotas), [Figura 42]. Elaboración propia



Casallas, A, & Sánchez V (2018). *Muestras finales con hipoclorito de sodio a diferentes concentraciones, [Figura 43]. Elaboración propia*

De cada muestra inicial se sacaron 4 muestras cada una de 10 ml, una hace referencia al blanco y se sacaron 3 muestras de cada una con diferentes cantidades de NaClO y se sacaron los datos de la absorbancia.

Tabla 17. *Resultados de absorbancia muestra 1*

Muestra 1 (40 gotas)	Absorbancia
Blanco	0,236
Muestra 1	0,081
Muestra 2	0,04
Muestra 3	0,013

Nota. Variaciones de adsorción en absorbancia al adicionar 1 mil de hipoclorito de sodio por cada muestra

Tabla 18. *Resultados de absorbancia muestra 2*

Muestra 2 (80 gotas)	Absorbancia
Blanco	0,395
Muestra 1	0,187
Muestra 2	0,126
Muestra 3	0,079

Nota. Variaciones de adsorción en absorbancia al adicionar 1 mil de hipoclorito de sodio por cada muestra

- Cálculos para determinar la cantidad de carbón vegetal para un volumen de 460 ml para las dos muestras iniciales

$$(M_{(Sólido)} + 5) = 100 (M_{(Sólido)})$$

$$M_{(Sólido)} (5) + 460 (5) = 100M_{(Sólido)}$$

$$M_{(Sólido)} (5) + 2300 = 100M_{(Sólido)}$$

$$2300 = 100M_{(Sólido)} - 5M_{(Sólido)}$$

$$2300 = 95 M_{(Sólido)}$$

$$M_{(Sólido)} = \frac{2300}{95}$$

$$M_{(Sólido)} = 24,21 \text{ gr de carbon vegetal}$$



Casallas, A, & Sánchez V (2018). *Carbón vegetal pulverizado para las muestras 1 (40 gotas) y muestra 2 (80 gotas), [Figura 44]. Elaboración propia*



Casallas, A, & Sánchez V (2018). *Carbón vegetal pulverizado para la muestra 1 (40 gotas), [Figura 45]. Elaboración propia*



Casallas, A, & Sánchez V (2018). *Carbón vegetal pulverizado para la muestra 2 (80 gotas), [Figura 46]. Elaboración propia*

Tabla 19. Adición de carbón vegetal a las muestras 1 y 2

Muestras iniciales	Cantidad de carbón (gramos)
Muestra 1 (40 gotas)	12,9
Muestra 2 (80 gotas)	11,8

Nota. Peso de carbón vegetal al 5%

- La absorbancia de las muestras 1 y dos se tomó en un tiempo de 69 horas aproximadamente y los resultados se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 20. Resultados de adsorción de las muestras 1 y 2 con carbón vegetal

Muestras iniciales	Absorbancia
Muestra 1 (40 gotas)	0,003
Muestra 2 (80 gotas)	0,062

6.10.5 Experimento 5

Neutralización y costos

La neutralización se realiza con el fin de disminuir el pH en el agua que el Hemocentro del Café y Tolima vierte directamente al alcantarillado de la ciudad de Manizales, esto a cargo de Aguas de Manizales.

- Inicialmente se tomó una muestra de agua con sangre (60 mL), se le midió el pH inicial que fue de 7,6. Se le agregó 0,1612 g de Hidróxido de sodio o soda caústica (NaOH) para poder alcalinizar la muestra y llegar a un pH de 12,025 intentado simular el pH de los vertimientos del Hemocentro del café.



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Muestra con NaOH para neutralizar, [Figura 47]. Elaboración propia



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Muestra con pH de 12, [Figura 48]. Elaboración propia

- Por medio de una titulación con Vinagre se evalúa la neutralización de la muestra hasta llegar a un pH entre 6 y 9, tal como lo exige la resolución 0631 de 2015.



Casallas, A, & Sánchez V (2018). Titulación para neutralizar la muestra, [Figura 49]. Elaboración propia

Volumen inicial de vinagre: 25 mL

Volumen final de vinagre: 21,9

Volumen gastado: 3,1 mL

pH final: 6,54

FORMULAS PARA HALLAR LA DOSIS OPTIMA DE VINAGRE PARA NEUTRALIZAR LA MUESTRA

pH del vinagre: 2,5

$$pH = (-\log[H^+])$$

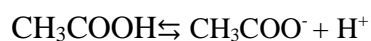
$$\frac{pH}{-Log} = [H^+]$$

$$-pH = \log_{10}[H^+]$$

$$[H^+] = 10^{-pH}$$

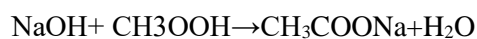
$$[H^+] = 10^{-2,5}$$

$$[H^+] = 0,0032 \frac{mol}{L}$$



CH₃COOH= Aproximadamente 0,0032 M

NEUTRALIZACIÓN



Moles base=Moles acido

$$Cb * Vb = Ca * Va$$

$$Va = \frac{Cb * Vb}{Ca}$$

$$pH = 12,024$$

$$pH + pOH = 14$$

$$pOH = 14 - 12,024$$

$$pHO = 1,977$$

$$pOH = -Log [OH^-]$$

$$[OH^+] = 10^{-pOH}$$

$$[OH^+] = 10^{-1,977}$$

$$[OH^+] = 0,010 \frac{mol}{L}$$

$$Cb = 0,010 \frac{mol}{L}$$

$$C_a = 0,0032 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$V_b = 1L$$

$$V_a = \frac{(0,010 \frac{\text{mol}}{\text{L}}) * (1L)}{0,0032 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}$$

$$V_a = 3,125 L$$

COSTOS

Todo químicos:

Ácido acético (98%): ½ litro=\$5.000

1 litro=\$10.000

Merca-químicos:

Ácido acético (99%): ½ litro=\$3.200

1 litro=\$6.400

Éxito:

Vinagre comercial: ½ litro= \$2.224

1 litro= \$4.448

6.10.6 Experimento 6

Las columnas de adsorción de lecho adsorbente provee una ventaja técnica frente a otros ya que es fácil de operar porque está basada en la natural y fuerte afinidad de fuerzas electrostáticas de sus componentes celulares a los iones metálicos, además el adsorbente puede ser regenerado; mientras que otras tecnologías resultan ser inadecuadas ya que generan problemas secundarios, como lodos difíciles de tratar en el caso de la precipitación y presiones muy altas en la osmosis inversa para su funcionamiento además de un mantenimiento frecuente para evitar la saturación de la membrana. (Cárdenas, S. Et al, 2015).

Diseño teórico y construcción de las columnas de adsorción

Parámetros de diseño

Tabla 21. Parámetros de diseño

Parámetro	Unidades	Valor
Carga hidráulica (METCALF & EDDY pg. 342, 2013)	$\frac{m^3}{m^2 \cdot h}$	2
Caudal	$\frac{L}{s}$	0,052
$DBO_{Inicial}$	$\frac{mg}{L}$	70
DBO_{Final}	$\frac{mg}{L}$	50

Nota: Parámetros de diseño para la construcción de las columnas de adsorción

- La carga hidráulica: El rango general de Q_h es de 4,89 a 24,45 $m^3/m^2 \cdot h$. Sin embargo, el rango recomendado para la Q_h según los investigadores de *Norit Americas Inc* para la remoción de trazas de materia orgánica en líquidos no viscosos como agua potable y agua residual, un rango de 2 - 3 $m^3/m^2 \cdot h$ para la Q_h puede tener buenos resultados. (). Para el diseño el valor que se tomara de la carga hidráulica es de 2 $m^3/m^2 \cdot h$. (Arias, I. Et al, 2008).
- Diámetro del lecho: Según la última caracterización del agua residual no domestica que realizo la corporación autónoma de COORPOCALDAS el caudal es de 0,052 L/s, por lo tanto el diametro se calcula de la siguiente manera:

$$A_T = \frac{Q}{Q_h}$$

A_T = Área total

Q = Caudal tomado en la recamara del hemocentro del cafe y del tolima

$Q_h = \text{Carga hidraulica}$

$$0,052 \frac{L}{s} \times \frac{0,001 m^3}{1 L} \times \frac{3600 s}{1 h} = 0,8172 \frac{m^3}{h}$$

$$A_T = \frac{Q}{Q_h} = \frac{0,8172 \frac{m^3}{h}}{2 \frac{m^3}{m^2 \cdot h}} = 0,0936 m^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,0936 m^2}{3,1416}} = 0,34 m$$

- Altura del lecho del carbón vegetal: Usualmente Z/D está entre 3:1 a 5:1 (METCALF & EDDY, 2013)

$$\frac{Z}{D} = 3$$

$Z = \text{Ancho del lecho}$

$D = \text{Diametro del lecho}$

$$Z = 3 \times D = 3 \times 0,34 m = 1,02 m$$

- Altura de la columna

$$H = 1,02 m \times 1,5 = 1,53 m$$

- Volumen del lecho

$$V_L = 1,02 m \times 0,0936 m^2 = 0,0954 m^3$$

- Cantidad de carbón vegetal

Densidad del carbón vegetal = 0,45 g/ml

$$\text{Carbon vegetal} = 450 \frac{Kg}{m^3} \times 0,0954 m^3 = 42,93 kg$$

- Tiempo máximo de uso del carbón vegetal: La capacidad de adsorción teórica es de 0,00466 (METCALF & EDDY, 2013).

$$t_b = \frac{\left(0,00466 \frac{g}{g} \times 0,8616\right) \times 43 \text{ kg} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}}}{0,1872 \frac{m^3}{h} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ d}} \times \left(75 \text{ ppm} - \frac{55,7 \text{ ppm}}{2}\right)} = 199 \text{ dias}$$

$$t_b = 199 \text{ dias} \times \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ dias}} = 6,63 \text{ meses}$$

- Tiempo de limpieza

$$t_l = \frac{365 \text{ dias}}{199 \text{ dias}} = 1,8 = 2 \text{ cambios al año}$$

- Caída de presión: Para cada unidad de adsorción es necesario que se realicen retrolavados cuando el sistema alcance la siguiente caída de presión:

$$P = \frac{4,10 \times Q_h \times Z}{D^2}$$

$Q_h = \text{Carga hidraulica}$

$Z = \text{Altura del lecho}$

$D = \text{Diametro de la particula del carbon vegetal}$

$$\frac{2 \text{ m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \times \frac{264,172 \text{ galones}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^2}{10,764 \text{ Ft}^2} \times \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} = 0,81 \frac{\text{gal}}{\text{Ft}^2 \cdot \text{min}}$$

$$1,02 \text{ m} \times \frac{3,37 \text{ Ft}}{1 \text{ m}} = 3,43 \text{ Ft}$$

$$P = \frac{4,10 \times \frac{0,81 \text{ gal}}{\text{Ft}^2 \times \text{min}} \times 3,43 \text{ Ft}}{(0,8 \text{ mm})^2} = 51,54 \frac{\text{Lb}}{\text{Ft}^2} = 0,35 \text{ Psi}$$

Tabla 22. Materiales y parámetros para el diseño de construcción

Materiales y parámetros	Unidad	Valor
Ancho del lecho (Z)	m	1.02
Diámetro (D)	m	0,34
Altura de la columna de adsorción	m	1,53
Volumen del lecho	m^3	0,0954
Cantidad de carbón vegetal	Kg	42,93
Tiempo máximo de uso del carbón vegetal	Meses	6,63
Tiempo de limpieza	Años	2
Caída de presión	Psi	0,35
Cantidad de las columnas	unidades	4
Tubo PVC	Pulgadas	2
Manguera plástica transparente	m	4
Tapa inserción PVC de 2"	Unidades	4
Caneca plástica		
Vanyplas de 65 litros	Unidad	Largo: 51 cm
		Ancho: 44 cm
		Alto: 56 cm

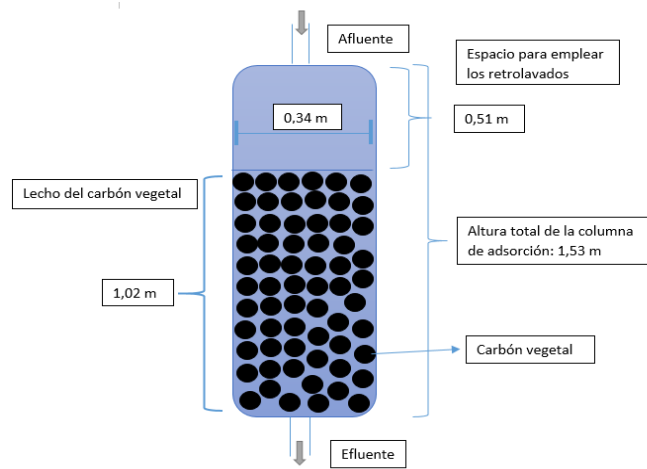
Válvula de bola pex de puerto completo con drenaje ajustable	Unidad	1
--	--------	---

Nota. Se describen los materiales, las medidas que deben tener las columnas de adsorción

Tabla 23. Materiales y costos

Material	Cantidad	Costo (IVA incluido)
Caneca plástica	1 unidad	26.990
Vanyplas		
de 65 litros		
Válvula de bola pex de puerto completo con drenaje ajustable	1 unidad	58.777
Tubo PVC	7 metros	1 metro: 18.900
		Total: 132.300
Manguera plástica transparente de 1/2 “	3 metros	32.000
Carbón vegetal para 1 año	344 Kilos	1 bulto de 20 kilos: 33.000
		18 bultos: 594.000
Conector hembra metálico para manguera de 1/2”	4 unidades	1 : 14.900
		4: 59.600
Máquina para triturar carbón	1 unidad	2.800.000
Tapa inserción PVC de 2”	4	1: 46.500
		4: 186.000
Total		3.857.667 IVA INCLUIDO

Nota. En esta tabla se presenta el tipo de material, el costo de aproximación y la cantidad necesaria de materiales para la construcción del sistema de columnas de adsorción.

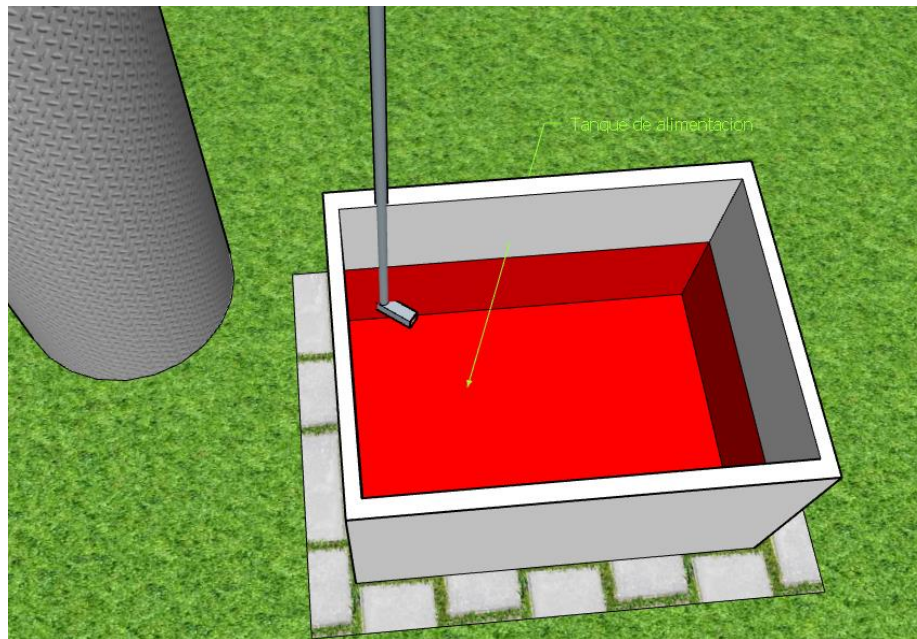


Casallas, A, & Sánchez V (2019). Diseño de la columna de adsorción, [Figura 50]. Elaboración propia

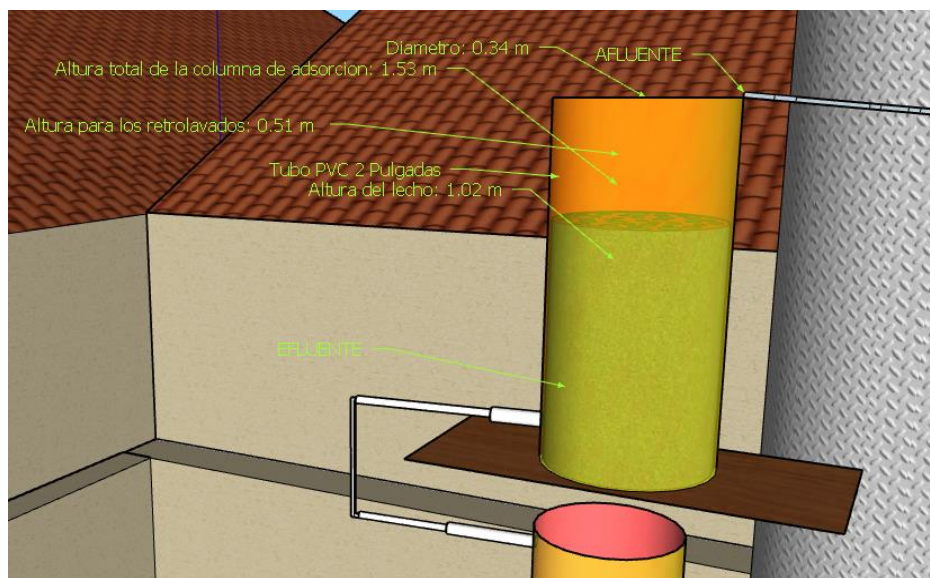


Casallas, A, & Sánchez V (2019). Columnas de adsorción, [Figura 51]. Elaboración propia

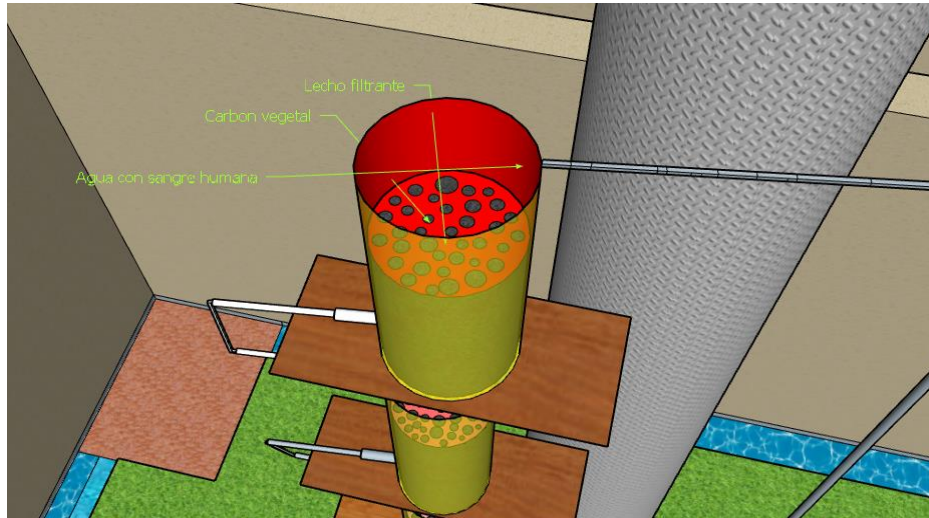
Diseño de las columnas de adsorción en SketchUp



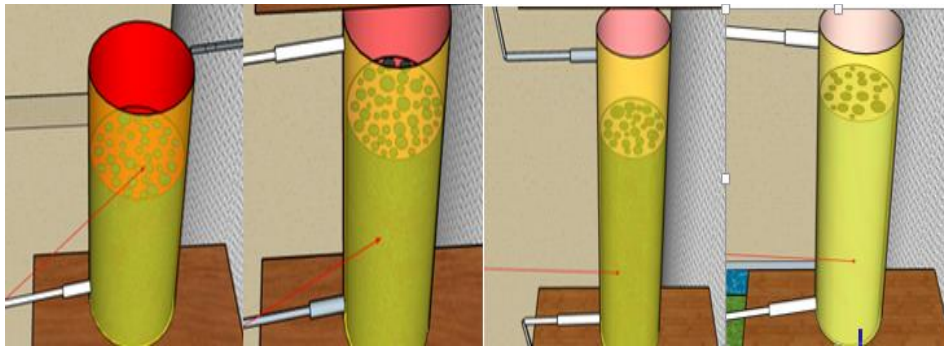
Casallas, A, & Sánchez V (2019). Tanque de alimentación, [Figura 52]. Elaboración propia.



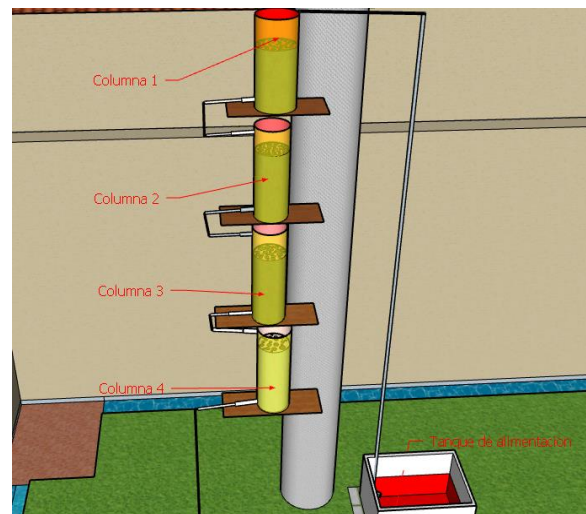
Casallas, A, & Sánchez V. (2019). Columna de adsorción, [Figura 53]. Elaboración propia.



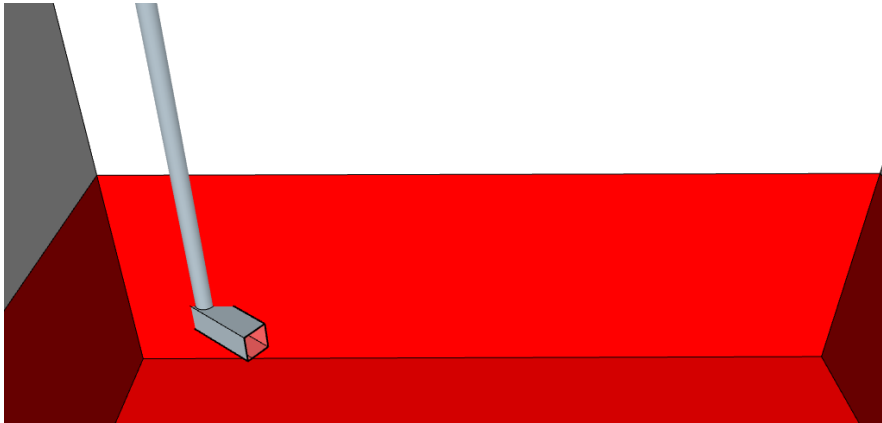
Casallas, A, & Sánchez V (2019). Vista de lecho de adsorción y espacio del retrolavado, [Figura 54].
Elaboración propia.



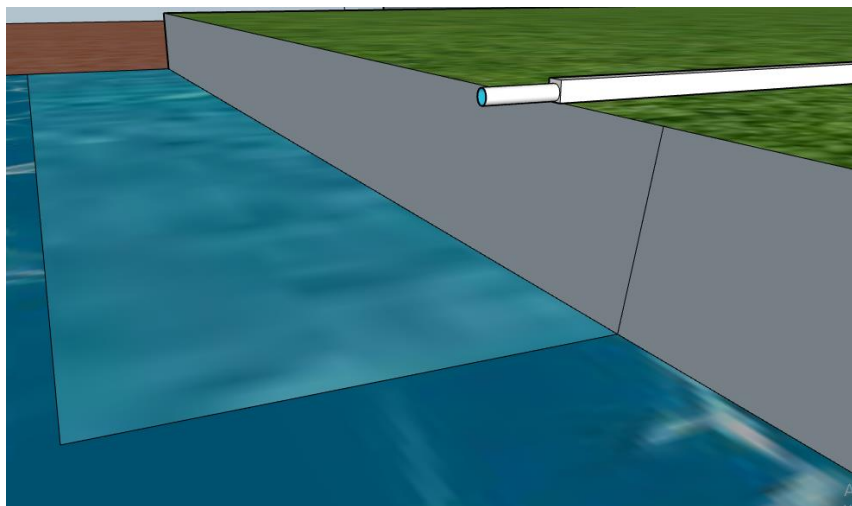
Casallas, A, & Sánchez V (2019). Comparativo de remoción de color por cada columna, [Figura 55].
Elaboración propia.



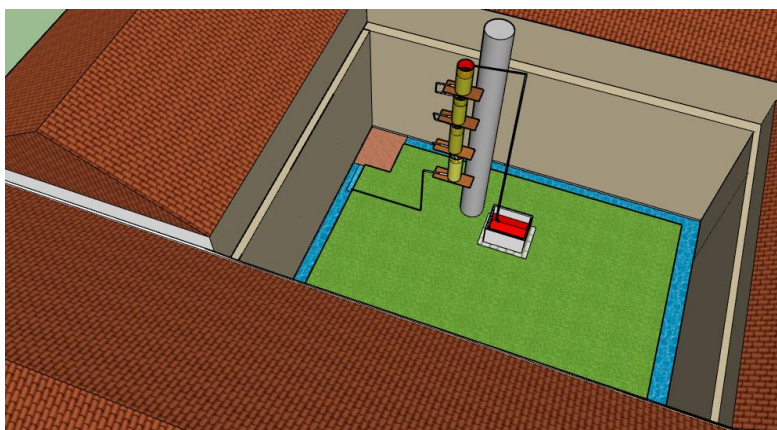
Casallas, A, & Sánchez V (2019). Diseño de las columnas de adsorción, [Figura 56]. Elaboración propia.



Casallas, A, & Sánchez V. (2019). Afluente del agua residual no domestica del Hemocentro del café y Tolima grande, [Figura 57]. Elaboración propia.



Casallas, A, & Sánchez V (2019). Efluente del agua residual no domestica del Hemocentro del café y Tolima grande, [Figura 58]. Elaboración propia.



Casallas, A, & Sánchez V (2019). Diseño completo de las columnas de adsorción, [Figura 59]. Elaboración propia.

7. CONCLUSIONES

- Después de haber realizado la revisión de tema sobre las tecnologías y tratamientos de aguas residuales no domésticas en los Hemocentros o bancos de sangre se concluye que la información es poca, porque en el caso de Colombia la resolución 0631 apenas empezó a regir desde el año 2015 y las Corporaciones Autónomas Regionales establecieron un tiempo como plazo para que se puedan cumplir los parámetros establecidos de la norma, por ese motivo la implementación de tecnologías o tratamientos para los vertimientos de los Hemocentros es casi nula. A nivel internacional las tecnologías están implementadas en los hospitales y el sector farmacéutico y las tecnologías usadas tienen un alto costo de operación.
- Para adicionar carbón vegetal a una concentración del 5% para 30 litros de agua que genera el Hemocentro por día, se deben agregar 1,560 g de carbón vegetal triturado, teniendo en cuenta que para 5 ml se adicionan 0,26 g. Esto en caso tal que no se realicen las columnas de adsorción. Se debe tener en cuenta que el carbón se debe filtrar para poder verter en el alcantarillado.
- Según los resultados obtenidos el **Carbón Activado** es el adsorbente más óptimo ya que presentó la mayor cantidad de color absorbida con un valor de 0.04 ml de sangre/g carbón activado.
- De todas las tecnologías mencionadas la más recomendada para tratar los vertimientos del Hemocentro es el de adsorción, se comprobó experimentalmente y teóricamente que el carbón activado ayuda a remover el color, es un adsorbente de fácil obtención.
- La tecnología de membranas, intercambio iónico, precipitación química, las extracciones orgánicas entre otras tecnologías no se recomiendan ya que los costos de operación son más altos; la localización, el espacio y las condiciones de diseño no se ajustan a la infraestructura del Hemocentro. Algunas de las tecnologías mencionadas anteriormente necesitan tratamiento para la disposición final de los residuos y el agua residual del Hemocentro contiene características de color, pH, patógenos, baja carga orgánica, por ende, las tecnologías no son recomendables.

- El modelo de la isoterma de Langmuir se ajustó a los resultados que se obtuvieron en el experimento 2 con carbón vegetal, se demostró que la absorbancia máxima de remoción fue de 0.008 ml de sangre/g carbón.
- El modelo de la isoterma de Freundlich con el carbón vegetal no se ajusta al modelo porque la ecuación de la gráfica el intercepto en Y no puede ser negativo.
- El modelo de la isoterma de Langmuir con carbón activado no se ajustó al modelo ya que la intersección en el eje y es negativo
- El modelo de la isoterma de Freundlich con el carbón activado se ajusta al modelo debido a que se demostró que la absorbancia máxima de remoción fue de 0,0401 ml sangre/ g carbón.
- Se demostró que se puede utilizar el hipoclorito de sodio para disminuir el color.
- El hipoclorito de sodio se puede emplear también como desinfectante dentro de la operación y es una de las etapas más importantes que se debe tener en cuenta, porque el agua residual del Hemocentro contiene alto riesgo biológico y el desinfectante ayuda a disminuir la cantidad de patógenos presentes en el agua residual.
- Se demostró que el vinagre comercial sirve para disminuir el pH de las aguas residuales generadas en el Hemocentro del Café, debido a que contiene ácido acético y este sirve como neutralizador. La dosis optima es de 3,1 L de vinagre por cada litro de agua residual. Por tema de costos se eligió el vinagre como neutralizador.
- Para regenerar el carbón se puede utilizar la regeneración térmica, ya que es el más fácil de realizar y según la revisión de tema indica el siguiente procedimiento: “*El paso secante: el carbón activado o vegetal se debe colocar en un deshidratador a una temperatura aproximada de 30-100°C, Paso de calentamiento: la Evaporación de las sustancias adsorbidas debe ser 100-800°C, Reactivación: Mediante hornos rotativos o camas fluidizadas*”. (Valbuena, D. Et al. 2018).
- En la revisión de tema indica que las propiedades del carbón activado son más efectivas que el carbón vegetal, entonces este adsorbente también se puede tener en cuenta para el tratamiento de las aguas residuales no domesticas del Hemocentro del

café y Tolima grande, teniendo en cuenta que este adsorbente tiene un costo mayor que le carbón vegetal.

- El diseño de la columna de adsorción es una tecnología aceptable para el tratamiento de aguas residuales no domesticas generadas en el Hemocentro del café, que se puede implementar a futuro porque las medidas que se entregan en el diseño teórico se ajustan al espacio y a la localización de lugar, los materiales son exequibles y el costo de inversión no es tan alto para ser una tecnología que presta excelentes beneficios.
- El tiempo de limpieza de las columnas de adsorción es de aproximadamente de 2 años.
- Las columnas de adsorción deben contener 43 kilos de carbón vegetal triturado para que el proceso de adsorción sea efectivo, cada columna está diseñada para un volumen de $0,0936 m^3$, es decir, 93,6 L.
- El tiempo máximo que se puede utilizar el carbón vegetal en las columnas de adsorción es de 6,63 meses, aproximadamente 7 meses.
- Para adicionar carbón vegetal a una concentración del 5% para 30 litros de agua que genera el Hemocentro por día, se deben agregar 1,560 g de carbón vegetal triturado, teniendo en cuenta que para 5 ml se adicionan 0,26 g.

8. RECOMENDACIONES

- Para la toma de los datos de absorbancia se recomienda que se mida la absorbancia a cada muestra como mínimo 3 veces y sacar un promedio para que los datos sean más exactos.
- Se pueden utilizar diferentes adsorbentes para la remoción de color, pero el más recomendado es el carbón vegetal o activado ya que se demostró que este material puede remover 0,008 ml de sangre/g de carbón vegetal.
- Para la filtración de carbón es necesario contar con una malla que se ajuste al diámetro de la partícula del carbón para que no haya interferencias al momento de medir la adsorción.
- Al momento de adicionar el hipoclorito se recomienda medir el pH, para que el agua residual no doméstica no se transforme a ácida.
- Para la construcción de la curva de calibración se recomienda preparar más diluciones y tomar muestras por triplicado para que los resultados de la absorbancia de los diferentes experimentos adicionales se adapten en la curva, porque en algunos casos los resultados finales no se encuentran dentro del rango de concentraciones de la curva de calibración.
- Para el diseño de las columnas de adsorción se recomienda utilizar tubería PVC, porque es económica, contiene alta resistencia química, mecánica, es resistente ante el fuego, son libres de corrosión, toxicidad, olores, sabores, conductividad térmica baja, las pérdidas por fricción son bajas y son libres de mantenimiento.
- Es necesario que las columnas de adsorción tengan un sistema de alimentación en la parte inicial del tratamiento por seguridad del operario que se encuentre a cargo, porque hay que tener en cuenta que el agua residual del Hemocentro contiene alto peligro biológico. Se recomienda realizar la neutralización en el tanque de alimentación.
- Es recomendable que en el diseño cuente con una máquina especialmente para triturar el carbón vegetal, porque entre más fina sea la partícula de carbón es mejor el proceso

de adsorción. Económicamente es más rentable utilizar la maquina porque 1 bolsa de carbón vegetal de 3 kilos tiene un costo de \$19990 y el carbón vegetal sin triturar tiene un costo de \$6600.

- Es importante tener en cuenta el diámetro de la partícula del carbón vegetal una vez ya sea triturado, porque de ello depende la cantidad total de carbón a usar por columna
- El sistema de columnas de adsorción debe tener como mínimo 3 columnas para que haya una remoción de color considerada.
- Se recomienda colocar una malla en cada efluente de las columnas, deben ser inferiores al diámetro de la partícula para evitar que el carbón vegetal se salga del lecho de adsorción.
- Cuando las columnas alcancen una caída de presión de $0,35 \text{ Psi}$ se recomienda realizar los retrolavados.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Hemocentro del café, s.f. Cruz roja colombiana, recuperado de: <http://www.cruzrojacolombiana.org/donde-estamos/hemocentro-del-caf%C3%A9>
- F. Martínez, R. Molina, I. Rodríguez, M.I. Pariente, Y. Segura, J.A. Melero. 2018. Techno-economical assessment of coupling Fenton/biological processes for the treatment of a pharmaceutical wastewater. J. Environ. Chem. Eng. 6 485-494. DOI: 10.1016/j.jece.2017.12.008
- Arroyo, et al. 2018. Determinación de la cinética de adsorción de cloruros de vertimientos del sector agrícola cultivos energéticos, sobre carbón activado comercial, recuperado de: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6840/1/6132135-2018-2-IQ.pdf>
- Valbuena, D. Et al. 2018. Regeneración química del carbón activado granular agotado por la remoción de tensoactivos catiónicos de aguas residuales de la industria cárnica, recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/28953>
- Bellatin, L. Et al. 2014. Estudio de la biosorción de rojo ácido 18, azul básico 99 y amarillo básico 57 presentes en los tintes de cabellos con residuos de hojas de té verde, recuperado de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2014000100003
- INVIMA, 2014. Abc bancos de sangre puestos fijos y móviles de recolección, recuperado de: <https://www.invima.gov.co/images/stories/ABCpublicidad/ABC-Bancos-de-Sangre.pdf>
- Gaviria, 1993. Decreto 1571 de 1993: Por el cual se reglamenta parcialmente el Título IX de la Ley 09 de 1979, en cuanto a funcionamiento de establecimientos dedicados a la extracción, procesamiento, conservación y transporte de sangre total o de sus hemoderivados, se crean la Red Nacional de Bancos de Sangre y el Consejo Nacional de Bancos de Sangre y se dictan otras disposiciones sobre la materia. Recuperado de: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%20%201571%20DE%201993.pdf

- Káiser H. Et al, 1881. Adsorción, recuperado de: <https://www.ecured.cu/Adsorci%C3%B3n>
- Reyes, M. Et al, 2011. Detección de la deficiencia en la actividad de la enzima glucosa -6- fosfato deshidrogenasa SA en donares de sangre aparentemente sanos. Recuperado por: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/41816/4/1981.pdf.txt>
- Lozano, S. Et al, 2011. Seroprevalencia de VHB, VHC VIH en el banco de sangre del hospital universitario «DR. JOSÉ E GONZÁLEZ» UANL, Recuperado de: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/4476/Conislla_ld.pdf?sequence=1
- Peña, V. Et al, 2011. Seroprevalencia de virus de inmunodeficiencia de virus de (VIH), HEPATITIS B (VHB) Y HEPATITIS C (VHC) en donadores de sangre del Hemocentro estatal de la transfusión sanguínea (CETS) de Campeche. Reporte de siente años. Recuperado de: <http://ammtac.org/data/images/fckeditor/Vol4Num2.pdf>
- Arias, I. Et al, 2008. Evaluación de dos clases de carbón activado granular para su aplicación efectiva en la remoción de fenoles en los vertimientos de una empresa de jabones, recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14093/T41.08%20N622e.pdf;jsessionid=D46798928D64E2DF30A592406EB804C7?sequence=1>
- Grisales Penagos., D., Ortega López, J., & Rodríguez Chaparro, T. (2011). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS APLICANDO OZONO. DYNA, 109-115.
- Metcalf & Eddy (2013), Wastewater engineering treatment and reuse. McGraw Hill: USA, fourth edition.
- PORQUE.ES, 2016. ¿Por qué la sangre es roja?, recuperado de: <https://www.porque.es/por-que-la-sangre-es-roja/>
- Cuadra A, 2016. Hemoglobina, recuperado de: <http://molecularmente.blogspot.com/2016/02/hemoglobina.html>
- Hemocentro del café y Tolima grande, 2017. Caracterización del agua residual no doméstica, COORPOCALDAS.
- Cárdenas, S. Et al, 2015. Modelamiento y simulación de una columna de adsorción de lecho fijo para la remoción de Cr (VI) de soluciones acuosas utilizando aserrín

- como adsorbente, recuperado de:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4003/IQorrejc085.pdf?sequence=1>
- CONDORCHEM, 2019. Tratamiento para la eliminación del color en aguas residuales de la industria textil, recuperado de:
<https://blog.condorchem.com/tratamiento-para-la-eliminacion-del-color-en-aguas-residuales-de-la-industria-textil/>
 - Sanchez, J, S. (2017). Tecnologías de membrana nanofiltración, recuperado de:
<https://docplayer.es/26346030-Tecnologias-de-membrana-nanofiltracion.html>
 - Yan, Naiyun, Wenhai and Cong, 2012. Removal of fenol by powdered activated carbón adsorption , recuperado de: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/23-Removalofphenolbypowderedactivatedcarbonadsorption.pdf>
 - UAM (s.f) Reacciones ácido-base recuperado de:
<https://www.uam.es/docencia/jppid/documentos/practicas/actuales/guion-p4.pdf>
 - TAMBOSI, José Luiz et al. Recent research data on the removal of pharmaceuticals from sewage treatment plants (STP). *Quím. Nova* [online]. 2010, vol.33, n.2 [cited 2019-01-27], pp.411-420. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422010000200032&lng=en&nrm=iso. ISSN 0100-4042. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422010000200032>.
 - Giraldo, 1995. Manual de análisis de agua, recuperado de:
<http://bdigital.unal.edu.co/50540/1/manualdeanalisdeaguas.pdf>
 - Junta de andalucia, s.f. Tratamientos fisicoquímicos. Procesos de carácter químico, recuperado de:
http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/consolidado/publicacionesdigitales/40542_TECNICAS_DE_PREVENCION_DE_LA_GENERACION_DE_SUELOS_CONTAMINADOS_TOMO_I/40-542/9_TRATAMIENTOS_FISICOS-QUIMICOS.PDF
 - Mexichem, (2010). Hoja de datos seguridad para materiales peligrosos, Recuperado de:
<http://www.gtm.net/images/industrial/s/SODA%20CAUSTICA%20LIQUIDA.pdf>

- MADS (s.f). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Desarrolla el Segundo Conjunto de Talleres de Capacitación y Socialización de la Nueva Norma de Vertimientos: Resolución MADS 0631 de 2015. Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/1895-ministerio-de-ambiente-y-desarrollo-sostenible-desarrolla-el-segundo-conjunto-de-talleres-de-capacitacion-y-socializacion-de-la-nueva-norma-de-vertimientos-resolucion-mads-0631-de-2015>
- Calco, (2012). Ficha de seguridad, recuperado de: <http://ferreterialider.com/resources/datasheets/581ce395c7c3d.pdf>
- CTR, (S.f). Hoja de datos de seguridad carbonato de calcio, recuperado de: <https://www.ctr.com.mx/pdfcert/Carbonato%20de%20Calcio.pdf>
- Consejo Colombiano de seguridad, (2006). Hoja de datos de seguridad Ácido sulfúrico, recuperado de: http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/acido_sulfurico.pdf
- QUIMPAC de Colombia S.A, (s.f). Hoja de seguridad ácido clorhídrico, recuperado de: http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/acido_sulfurico.pdf
- Comité de agua potable segura del Consejo Nacional de Investigación (EE. UU.). Agua potable y salud: Volumen 2. Washington (DC): National Academies Press (EE. UU.); 1980. IV, una evaluación de carbón activado para tratamiento de agua potable. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK234593/>
- UAM (s.f) Reacciones ácido-base recuperado de: <https://www.uam.es/docencia/jppid/documentos/practicas/actuales/guion-p4.pdf>
- Gobernación de Antioquia (s.f) Banco de sangre. Coordinación red Departamental de Sangre. Recuperado de: https://www.dssa.gov.co/donacionytrasplantes/index.php?option=com_k2&view=item&id=28:banco-de-sangre&Itemid=141
- VADEQUIMICA (s.f) Ácido acético glacial. Recuperado de: <https://www.vadequimica.com/quimipedia/a/acido-acetico-glacial/>
- Organización Panamericana de la Salud (2012), Estándares de Trabajo para Servicios de Sangre. Tercera edición. Washington, D.C. Recuperado de: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=health-systems-services-sistemas-servicios-salud-5372&alias=21393-estandares-trabajo-servicios-sangre-tercera-edicion-393&Itemid=270&lang=es

- Renteria C (2014) Clasificación y propiedades de los materiales químicos de adsorción. Control y contaminación del aire. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/CesarRenteria2/adsorcion-34636053>
- EcuRed (s.f) Carbon vegetal. Recuperado de: https://www.ecured.cu/Carb%C3%B3n_vegetal
- Iagua (2017) nuevas tecnologías en aguas residuales. Recuperado de: <https://www.iagua.es/noticias/almar-water-solutions/nuevas-tecnologias-aguas-residuales>

10.

ANEXOS