 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Vicerrectoría Minireeducación	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
	Dependencia	Aprobado		Pág.
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(132)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Liceth Fabiana Martínez Galván Fernando Alfonso Carrascal Jaime		
FACULTAD	Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Civil		
DIRECTOR	Esp. Agustín Armando Macgregor Torrado		
TÍTULO DE LA TESIS	Análisis de los factores contaminantes en diferentes ríos de la región andina colombiana teniendo en cuenta las diversas soluciones de descontaminación aplicadas en el campo de la ingeniería civil		
TITULO EN INGLES	Analysis of polluting factors in different rivers in the Colombian Andean region taking into account the various decontamination solutions applied in the field of civil engineering		
RESUMEN			
Esta monografía presenta diversos conceptos que tienen que ver con la contaminación que sufren algunos ríos de la región andina colombiana, analizando la implementación de distintas tecnologías que ayuden a la descontaminación de estos afluentes que son tan necesarios para la vida de los seres vivos. por ello se estudiaron los factores de contaminación, así como una metodología para la definición de longitud de vertimiento sobre corrientes de aguas superficial.			
RESUMEN EN INGLES			
This monograph presents various concepts that have to do with the pollution suffered by some rivers in the Colombian Andean region, analyzing the implementation of different technologies that help the decontamination of these tributaries that are so necessary for the life of living beings. therefore pollution factors were studied, as well as a methodology for the definition of dumping length on surface water streams.			
PALABRAS CLAVES	Saneamiento, Tratamiento, Ríos, Descontaminación		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Sanitation, Treatment, Rivers, Decontamination		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 132	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:



**ANÁLISIS DE LOS FACTORES CONTAMINANTES EN DIFERENTES
RÍOS DE LA REGIÓN ANDINA COLOMBIANA TENIENDO EN CUENTA
LAS DIVERSAS SOLUCIONES DE DESCONTAMINACIÓN APLICADAS
EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA CIVIL**

Autores

LICETH FABIANA MARTINEZ GALVAN Código. 172310

FERNANDO ALFONSO CARRASCAL JAIME Código. 172068

**Propuesta de trabajo en modalidad monografía, para optar por el título de Ingenieros
Civiles**

Director

AGUSTIN ARMANDO MACGREGOR TORRADO

ING. ESPECIALISTA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL

Ocaña, Norte de Santander

Agosto, 2021

Índice

Capítulo 1. Generalidades del tratamiento de aguas residuales.	1
1.1 Conceptos Generales del tratamiento de aguas residuales.	2
1.1.1 Aguas residuales.	2
1.1.1.1 Aguas residuales domésticas o aguas negras.	3
1.1.1.2 Aguas residuales industriales.	4
1.1.1.3 Aguas residuales agrícolas.	4
1.2 Consecuencias de las aguas residuales.	4
1.2.1 Malos olores y sabores.	5
1.2.2 Acción tóxica	5
1.2.2.1 Polución térmica.	6
1.2.2.2 Eutrofización.	7
1.2.2.3 Contaminación de aguas subterráneas.	7
1.2.2.4 Aguas residuales urbanas.	7
1.3 Características Físicas.	8
1.3.1 Temperatura.	8
1.3.2 Turbidez.	8
1.3.3 Color.	9
1.3.4 Sólidos.	9
1.3.4.1 Totales.	9

1.3.4.2 Fijos.	9
1.3.4.3 Volátiles.	9
1.4 Características químicas.	9
1.4.1 Materia orgánica.	10
1.4.1.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).	10
1.4.1.2. Demanda química de oxígeno (DQO).	10
1.4.1.3. Carbono orgánico total (COT).	11
1.4.1.4. Demanda total de oxígeno (DTO).	11
1.4.1.5. Demanda teórica de oxígeno (DTeO).	11
1.4.2. Materia inorgánica.	11
1.4.2.1. pH.	12
1.4.2.2. Cloruros.	12
1.4.2.3 Alcalinidad.	12
1.4.2.4. Nitrógeno.	13
1.4.2.5. Fósforo.	13
1.4.2.6. Azufre.	13
1.5. Características Biológicas.	13
1.5.1. Bacterias.	14
1.5.2. Virus.	14
1.5.3. Algas.	14

1.5.4. Protozoos.	14
1.5.5. Hongos.	15
1.6 Tratamiento descontaminante de aguas residuales.	15
Capítulo 2. Factores de contaminación en ríos de la región Andina Colombiana	21
2.1 Caso de contaminación del río Pamplonita.	22
2.2 Caso de contaminación del río Tejo.	24
2.3 Caso de contaminación del río Bogotá.	28
2.4 Caso de contaminación del río Chicamocha.	30
2.5 Caso de contaminación del río Combeima.	34
2.6 Caso de contaminación del río Guarapas.	36
2.7 Caso de contaminación del río de Oro.	37
2.8 Tecnologías aerobias y anaerobias a utilizar de acuerdo a los contaminantes que presenta cada río expuesto.	38
2.8.1 Río Pamplonita.	38
2.8.2 Río Tejo	39
2.8.3 Río Bogotá.	39
2.8.4 Río Chicamocha.	39
2.8.5 Río Combeima.	39
2.8.6 Río Guarapas.	40
2.8.7 Río de Oro.	40

2.9 Normatividad ambiental aplicada a los vertimientos de aguas residuales en Colombia.	41
Capítulo 3. Metodología para la definición de la longitud de influencia de vertimientos sobre corrientes de agua superficial	43
3.1. Paso 1: Estimación del caudal ambiental.	44
3.2 Paso 2: Caracterización hidráulica de la corriente.	45
3.3 Paso 3: Caracterización de la calidad del agua del cuerpo receptor y del vertimiento.	46
3.4 Paso 4: Cálculo de factores de asimilación y de la longitud de influencia directa.	49
3.4.1. Factor de asimilación.	49
3.4.2. Tasas de reacción de determinantes.	49
3.4.2.1. Tasa de reaireación K_a .	53
3.4.2.2. Tasa de desoxigenación o descomposición de la DBO k_d .	54
3.4.2.3. Tasa de nitrificación k_n .	55
3.4.2.4. Velocidades de sedimentación v_s y v_{ss} .	57
3.4.3. Estimación de tasas de reacción de metales pesados y sustancias tóxicas. En este caso se evaluarán 3 mecanismos de depuración los cuales son: advección – dispersión, adsorción y volatilización, en estos casos es muy importante analizar las partículas particuladas y disueltas.	60
3.4.3.1. Fracciones y coeficientes de partición.	60
3.4.3.2. Velocidad de volatilización v_v .	61
3.4.4. Tabla compilatoria de factores de asimilación.	63
3.5. Paso 5. Cálculo de la carga total y re-cálculo de la LIV	66

Capítulo 4. -Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales.	67
4.1 Tecnología para el tratamiento de aguas residuales con procesos aerobios.	70
4.1.1 Sistemas de lagunas.	70
4.1.1.1. Ejemplo de sistema de lagunas.	71
4.1.2 Proceso de lodos activados.	73
4.1.2.1 Ejemplo de proceso de lodos activados.	75
4.1.3 Filtros percoladores.	75
4.1.3.1. Ejemplo de Filtros percoladores.	77
4.1.4 Sistemas de discos biológicos rotatorios.	79
4.1.4.1. Ejemplo de Sistemas de discos biológicos rotatorios.	80
4.1.5 Filtro sumergido aerobio (FSA).	81
4.1.5.1 Ejemplo de Filtro sumergido aerobio (FSA).	83
4.1.6 Reactor aerobio acoplado a membranas.	83
4.1.6.1 Ejemplo de Reactor aerobio acoplado a membranas.	84
4.2 Tecnología para el tratamiento de aguas residuales con procesos anaerobios.	85
4.2.1 Fosa séptica.	85
4.2.1.1 Ejemplo de Fosa séptica.	86
4.2.2 Tanque IMHOFF.	87
4.2.2.1 Ejemplo de Tanque IMHOFF.	88
4.2.3 Lagunas anaerobias.	90

4.2.3.1 Ejemplo de Lagunas anaerobias.	91
4.2.4 Digestor anaerobio convencional (sin mezcla) y Digestor anaerobio de alta tasa (con mezcla y calentamiento).	92
4.2.4.1. Ejemplo de Digestor anaerobio convencional (sin mezcla) y Digestor anaerobio de alta tasa (con mezcla y calentamiento).	93
4.2.5 Reactor de contacto anaerobio.	94
4.2.5.1 Ejemplo de Reactor de contacto anaerobio.	95
4.2.6 Filtro anaerobio.	96
4.2.6.1 Ejemplo de Filtro anaerobio.	98
4.2.7 Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente.	99
4.2.7.1 Ejemplo de Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente.	101
4.2.8 Reactores de lecho expandido o fluidificado.	103
4.2.8.1 Ejemplo de Reactores de lecho expandido o fluidificado.	104
Capítulo 5. Compilación crítica.	106
Conclusiones	113
Referencias	116

Lista de Figuras

Figura 1. Niveles de tratamiento.....	19
<i>Figura 2. Procesos aerobios.....</i>	20
<i>Figura 3. Procesos anerobios.....</i>	20
<i>Figura 4. Evaluación de la calidad del agua mediante el índice de contaminación por mineralización.....</i>	26
<i>Figura 5. Evaluación de la calidad del agua mediante el índice de contaminación por sólidos suspendid.....</i>	26
<i>Figura 6. Identificación de los puntos críticos o contaminados.</i>	27
<i>Figura 7. Índice de Calidad de Aguas – ICA, Estaciones Río Chicamocha</i>	32
<i>Figura 8. Índice de Calidad de Aguas – ICA, Estaciones Río Chicamocha</i>	33
<i>Figura 9. Índice de Calidad de Aguas – ICA, Puntos – Afluentes del Río Chicamocha</i>	33
<i>Figura 10. Índice de Calidad de Aguas – ICA, Puntos – Afluentes del Río Chicamocha</i>	34
<i>Figura 11. Tasas de nitrificación reportadas por Pauer y Auer</i>	56
<i>Figura 12. Tasas de nitrificación reportadas por Pauer y Auer</i>	56
<i>Figura 13. Velocidad de sedimentación para sedimentos no cohesivos, basada en Cheng</i>	58
<i>Figura 14. Gráfica de velocidad de volatilización contra constante de Henry (Chapra, 1991). ..</i>	61
Figura 15. Clasificación esquemática de los procesos para el tratamiento de las aguas residuales.	68
<i>Figura 16. Ejemplos de integración de trenes de tratamiento de aguas residuales.</i>	69
<i>Figura 17. Lagunas de estabilización.</i>	71

<i>Figura 18 . Esquema general de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Santa Fe de Antioquia. (2008)</i>	<i>73</i>
<i>Figura 19. Figura 18. Lodos activados.</i>	<i>74</i>
<i>Figura 20. Esquema de un filtro percolador.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 21. Esquema de la Planta Tratamiento de Aguas Residuales de la USAC.</i>	<i>78</i>
<i>Figura 22. Discos biológicos rotatorios.</i>	<i>80</i>
<i>Figura 23. Esquema de un filtro sumergido aerobio.</i>	<i>82</i>
<i>Figura 24. Figura 23. Fosa séptica.</i>	<i>86</i>
<i>Figura 25. Tanque Imhoff (2003).....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 26. Laguna anaerobia. (2003)</i>	<i>91</i>
<i>Figura 27. Digestor baja tasa y Digestor alta tasa.</i>	<i>93</i>
<i>Figura 28. Contacto anaerobio.</i>	<i>95</i>
<i>Figura 29. Filtro anaerobio.</i>	<i>98</i>
<i>Figura 30. Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente.</i>	<i>101</i>
<i>Figura 31. Planta de Tratamiento de Agua Residual. Sotaquirá – Boyacá</i>	<i>102</i>
<i>Figura 32. Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente.</i>	<i>103</i>
<i>Figura 33. Reactor anaerobio de lecho de lecho expandido.....</i>	<i>104</i>

Lista de Tablas

Tabla 1. Procesos de degradación y transformación considerados.	52
Tabla 2. Ecuaciones y valores de reairación para ríos de planicie.	54
Tabla 3. Velocidad de sedimentación medidas para diferentes tipos y tamaños de partículas. ...	57
Tabla 4. Factores de asimilación para los determinantes de calidad del agua considerados en la metodología.	63

Introducción

El agua es uno de los recursos más preciados que tiene la humanidad, siendo este un líquido esencial para la vida en el planeta tierra. Actualmente la administración racional de este recurso hídrico tiene una importancia global, pero cada vez está siendo más escaso, debido a que en el entorno urbano como rural se usan grandes cantidades de agua y solo una pequeña parte del agua residual es tratada. Otro aspecto fundamental a tener en cuenta es la salud pública, y en pro de ella es importante que se dé un tratamiento de residuos líquidos, sólidos, y los demás aspectos que son importantes para la protección del ambiente. Por ende, es compromiso de los ingenieros consultores y gobiernos locales involucrados en este ámbito brindar una seguridad en el efectivo tratamiento de las aguas residuales.

En vista de este panorama actualmente han surgido varias alternativas para mejorar con respecto la apropiada gestión y manejo del agua, pretendiendo mitigar la problemática ambiental de la contaminación de este recurso, y no solo aplica para Colombia sino para todo el mundo. Dicha problemática se basa principalmente en los vertimientos de aguas residuales de origen rural y urbano, los cuales llevan una carga orgánica; representando una de las causas de mortandad a nivel global, pues en estas ocurre una proliferación de microorganismos generando enfermedades mortales para los humanos como el cólera, la hepatitis, entre otras.

Según lo expresado anteriormente es de interés público y académico desarrollar, investigar, y adoptar sistemas sostenibles para la transformación y reducción de las aguas contaminadas,

especialmente en los países en desarrollo incluida Colombia donde gran parte de los residuos líquidos no son tratados, por ello esta monografía quiere brindar un insumo académico que permita a los ingenieros civiles consultores aportar los conceptos necesarios para la selección y análisis de los sistemas de tratamientos de aguas residuales eficaces y económicos que logren mitigar la carga contaminante de los ríos o afluentes hídricos en estudio.

Capítulo 1. Generalidades del tratamiento de aguas residuales.

El agua es uno de los recursos más preciados para la existencia humana, pero está siendo gravemente afectada por diferentes actividades socioeconómicas y la sobrepoblación actual, ha sido un gran detonante de contaminantes que están siendo vertidos a afluentes sin ningún tipo de tratamiento previo, ya que no se cuenta con las debidas estructuras como las plantas de tratamientos que puedan realizar esta labor de limpieza y purificación de la misma, para así lograr un objetivo ambiental, pero sobretodo que se pueda reutilizar esas aguas para diferentes actividades diarias. (Sistema de Información Ambiental de Colombia SIAC, 2021)

Cabe mencionar que es necesario un monitoreo constante a los diferentes afluentes para analizar que se estén realizando los diferentes procesos de regulación para la reutilización de las aguas residuales, por ello es supremamente importante que cada región cuente con una serie de plantas de tratamientos que puedan garantizar la efectividad de eliminación de microorganismos, sustancias químicas, entre otras. Podemos mencionar que el hecho de que las aguas residuales sean vertidas sin ningún tipo de tratamiento a las fuentes hídricas es una problemática de salud pública, ya que esto va a generar una serie de patologías en la población que consume agua de estos ríos, ocasionando hasta la muerte, pero además afectando en grandes proporciones a la fauna y flora que habita en ella. (Sistema de Información Ambiental de Colombia SIAC, 2021)

Debido a los altos niveles de contaminación en fuentes hídricas a la cual se están expuestas actualmente en el mundo y los altos niveles de deforestación que está afectando gravemente los

afluentes, se ha priorizado analizar y validar estudios para poder determinar su calidad, ya que, si el agua no cuenta con una serie de características que garanticen su consumo, estamos expuestos a patógenos infecciosos. Cabe dar a conocer que el agua por sí sola tiene un sistema natural de purificación, con una serie de procesos, pero cuando la cantidad de contaminantes es de tan grandes proporciones el sistema queda inhabilitado por los altos niveles de contaminación. (Campos, 2000, p.58). En tiempos pasados, en lugares donde había pequeños asentamientos de población no era necesario el uso sistema para el tratamiento de aguas residuales, ya que la carga de contaminantes era en pequeñas proporciones y la capacidad de auto purificación de los ríos, quebradas, entre otros era capaz de realizarlo. Hoy en día es una obligación contar con plantas de tratamientos sin importar la capacidad de auto purificación con la cual cuentan los afluentes, ya que se ha excedido en grandes proporciones la polución por las diferentes actividades socioeconómicas, pero además por el aumento de la población y la afectación de las fuentes hídricas por la deforestación. (Campos, 2000, p.61).

1.1 Conceptos Generales del tratamiento de aguas residuales.

1.1.1 Aguas residuales. Podríamos definirla como aquellas aguas usadas por el ser humano en diferentes actividades, que pueden representar un riesgo, ya que contienen grandes sustancias contaminantes como sustancias orgánicas, microorganismos, entre otros. (Espigares & Pérez, p. 2).

Desde el campo de la urbanización se puede definir que las aguas residuales se derivan del sistema de abastecimiento de agua de una población, sufriendo una serie de modificaciones por diferentes usos en actividades industriales, domésticas, y comunitarias. (Blanquez & Montero,2010).

Siendo estas, el resultado del desarrollo económico, donde la transformación de los recursos naturales (agua) acompañados de la utilización de los diferentes químicos sin el previo tratamiento de las aguas contaminadas resultado del proceso industrial, vertiéndose a las fuentes hídricas están causando el deterioramiento de las fuentes hídricas, de igual manera, la falta de conciencia colectiva de proteger y conservar el preciado líquido. es otro factor que suma, y por último, el interés político de focalizar y construir plantas de tratamiento de aguas residuales son los factores preponderantes de su generación. (Lozano, 2012), por esta razón, se puede analizar una variedad de aguas residuales, entre las cuales se encuentran:

1.1.1.1 Aguas residuales domésticas o aguas negras. En este tipo de aguas residuales podemos encontrar presencia de materia fecal, residuos de orina, residuos de actividades de cocina y limpieza personal, donde hay alta presencia de jabones, detergentes, líquidos usados para la remoción y limpieza del hogar, además microorganismos, material fecal y una cantidad de sustancias usadas en el hogar. (Espigares & Pérez, p. 2)

También se les conoce a las aguas domésticas como aguas servidas y las aguas negras, pues, las primeras provienen del uso doméstico y las segundas a la mezcla de las aguas domésticas e industriales, y ambas son conducidas por el alcantarillado, sin ningún tipo de tratamiento previo posterior a su uso. (Arocutipa,2013).

1.1.1.2 Aguas residuales industriales._ Son aguas residuales usadas en procesos industriales de diferentes ámbitos, donde hay altos niveles de residuos de productos y subproductos de origen mineral, animal, vegetal y químicos, donde podemos percibir aceites, ácidos, grasas, antibióticos, detergentes, entre otros. (Espigares & Pérez, p. 2)

La depuración de los efluentes líquidos es fundamental en la gestión ambiental en cualquier industria. Debe asumirse en su doble faceta de obligación medioambiental con la sociedad y como parte del proceso de producción. (Campo, 2019)

1.1.1.3 Aguas residuales agrícolas. Son residuos de aguas que fueron usadas en procesos agrícolas, para diferentes actividades, como el riego, entre otros. Son residuos que contienen altos niveles de sustancias químicas usadas en los cultivos. (Espigares & Pérez, p. 2)

1.2 Consecuencias de las aguas residuales._ Las principales consecuencias de las aguas residuales son las siguientes:

1.2.1 Malos olores y sabores. Cabe mencionar que son el resultado de la descomposición de diferentes sustancias y la cantidad de productos químicos que hay dentro de estas aguas, ocasionando la proliferación de olores, además de sabores, provocando una grave afectación de salud pública. Además, todos estos procesos se perciben por los diferentes procesos anaeróbicos. También podemos mencionar que factores como vegetación acuática, hongos, entre otros, provocan este tipo de reacciones. (Espigares & Pérez, p. 3)

En resumidas palabras, se puede establecer que los malos olores se generan por la gran cantidad de materia orgánica, están fácilmente en descomposición. (Villacis, 2011)

1.2.2 Acción tóxica. Es el resultado que podemos observar como consecuencia de algunas sustancias o residuos que afectan directamente a la fauna y flora de nuestro ecosistema, ocasionando esto graves afectaciones en diferentes entornos, cabe mencionar que entre ellos podemos encontrar la cadena alimentaria, también de las afectaciones en crianza de diferentes animales para el consumo humano, entre otros. Ya que, en muchas oportunidades, el agua usada para este tipo de procesos, está contaminada y no ha realizado un tratamiento previo, ocasionando esto un riesgo para las personas que las consumen, en el caso de la frutas y hortalizas, que en muchas oportunidades las consumen crudas. Además, podemos analizar diferentes afectaciones, donde no es directamente el residuo que lo ocasiona, sino que por la descomposición que realizan diferentes productos, sustancias, entre otras, se necesitan de grandes cantidades de oxígeno que hay presentes en las fuentes hídricas, logrando ocasionar que

las cantidades presentes no sean las suficientes para la vida acuática, ocasionando condiciones anóxicas. (Espigares & Pérez, p. 3)

Por otro lado, los contaminantes orgánicos causan la disminución del oxígeno, generado por la degradación biológica de los compuestos. En el caso de los contaminantes inorgánicos, su posible efecto tóxico. La degradación biológica de sustancias orgánicas produce ácidos grasos, carbohidratos, aminoácidos e hidrocarburos; y las sustancias inorgánicas en el caso de metales tóxicos, de material particulado como arcillas y sedimentos; y de microorganismos como bacterias y protozoos. (Raffo & Ruiz, 2014, p.74)

Entre los principales efectos tóxicos de las aguas residuales se pueden destacar los siguientes procesos.

1.2.2.1 Polución térmica. El verter aguas de procesos industriales, procedentes de la refrigeración de la misma, ocasiona que haya un alza en las temperaturas de las fuentes hídricas, afectando de manera muy relevante a organismos acuáticos, que tienen una temperatura estándar, ocasionando la eliminación de una clase de especie muy exigente como lo son los estenotermos, dando cavidad a especie menos exigentes como lo pueden llegar a ser especies como los aerotérmicas que se adaptan mucho más fácil a estos cambios abruptos de temperatura. (Espigares & Pérez, p. 6)

1.2.2.2 Eutrofización. Es un proceso que puede ser provocado por el ser humano o también puede darse de forma natural. Cabe recalcar que es ocasionada por el hombre mediante vertidos de sustancias o compuestos que tienen altos niveles de nitrógeno y fósforo, estos compuestos se pueden encontrar principalmente en la materia fecal y en los detergentes. Este tipo de compuestos estimulan el crecimiento de microflora que puede acarrear alteraciones, además el hecho de dificultar el tratamiento de estas aguas, ocasionando restricciones para la reutilización de estas aguas. (Espigares & Pérez, p. 6)

1.2.2.3 Contaminación de aguas subterráneas. Es una problemática de gran relevancia, ya que es muy difícil poder percibir este tipo de contaminación, además es casi imposible de tratar y si se detecta, pero ya ha alcanzado altos niveles de contaminación es demasiado tarde para actuar. Se produce por filtraciones en terrenos que son permeables, donde se filtran sustancias químicas resultado de diferentes actividades. (Espigares & Pérez, p. 6)

1.2.2.4 Aguas residuales urbanas. Las aguas residuales urbanas están formadas por una variedad de compuestos y sustancias con composiciones bastantes idénticas, que hace mucho más fácil su tratamiento, muy diferentes de las aguas residuales industriales, cuya cantidad de sustancias es mucho más elevada, pero además diferente. También cabe recalcar que la composición de las aguas residuales es variable conforme a diferentes aspectos o factores, como hábitos alimenticios, además de productos químicos de limpieza, entre otros. ((Espigares & Pérez, p. 9)

Las aguas residuales sufren variaciones con respecto a la composición. Tiene variaciones con respecto a la hora, además del día de la semana, entre otros factores. Además, debemos tener en cuenta 3 tipos de características, entre las cuales encontramos:

- Físicas
- Químicas
- Biológicos

1.3 Características Físicas. Entre las principales características físicas de las aguas residuales se encuentran:

1.3.1 Temperatura. Las temperaturas de las aguas residuales urbanas suelen ser superiores a las del agua de consumo, debido a las diferentes sustancias que hay en ella. Oscila entre 10°C y 21°C. Estas temperaturas tan elevadas pueden ocasionar afectaciones en las fuentes hídricas receptoras, como la disminución del oxígeno disuelto, ya que la solubilidad disminuye cuando hay aumento de las temperaturas, también de las afectaciones a la fauna y flora presentes.

(Espigares & Pérez, p. 10)

1.3.2 Turbidez. Es ocasionada, debido a la gran cantidad de materiales en suspensión que hay en las aguas residuales, donde podemos observar diferentes sustancias y microorganismos. Además, afecta considerablemente la penetración de luz, ocasionando una menor productividad primaria. (Espigares & Pérez, p. 10)

1.3.3 Color. Las aguas residuales urbanas suelen tener una coloración oscura, como gris o pardo, pero debido a diferentes procesos biológicos puede llegar a ser negra. (Espigares & Pérez, p. 10)

1.3.4 Sólidos. Son aquellos residuos que flotan en las fuentes hídricas, puede incluir sólidos de gran tamaño, visibles a simple vista, como sólidos fecales, madera, basuras, entre otros. Además, cabe mencionar que la mayoría de los sólidos en las aguas residuales son orgánicos. Se pueden clasificar.

1.3.4.1 Totales. Restos de residuos que quedan de la evaporación y secado de la muestra a 130°C durante 60 minutos. (Espigares & Pérez, p. 10)

1.3.4.2 Fijos. Sobrante luego de la ebullición y carbonización a 600°C durante minutos. (Espigares & Pérez, p. 10)

1.3.4.3 Volátiles. Es la diferencia entre sólidos totales y fijos. (Espigares & Pérez, p. 10)

1.4 Características químicas. Existe una serie de parámetros de suma importancia para describir la composición de las aguas residuales.

1.4.1 Materia orgánica. La materia orgánica constituye gran parte de los elementos en las aguas residuales, en las cuales podemos encontrar: (Proteínas, carbohidratos, grasas y aceites). Se puede mencionar que en las aguas residuales el amoníaco y la urea representan en gran manera las principales fuentes de nitrógeno. Cabe mencionar que hay una serie de parámetros que definen de gran manera el tratamiento de aguas residuales y que ha tenido una gran acogida, ya que nos permite conocer el contenido de materia orgánica que hay dentro de estas. (Espigares & Pérez, p. 12)

1.4.1.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Es aquella cantidad de oxígeno requerida, para degradar la materia orgánica que hay en el agua, por parte de microorganismos capaces de realizar este tipo de procesos. Esta actividad tiene un proceso de durabilidad entre 3 a 5 días a unos 20°C. Se realiza la oxidación de la materia orgánica y se absorbe mediante NaOH o LiOH que se ubica en el recipiente en el tapón de las botellas, en este proceso hay descenso de presión que es registrado por un manómetro de mercurio, su escala viene expresada en mg/L. (Espigares & Pérez, p. 13).

1.4.1.2. Demanda química de oxígeno (DQO). Es la encargada de medir la cantidad de materia orgánica en el agua, mediante la supervisión de oxígeno necesario para lograr la oxidación, además es proporcionado por un oxidante químico. Es fundamental la variable donde no puede ser menor que la DBO, ya que es mucho más relevante la cantidad de sustancias oxidables por vías química que por vía biológica. La determinación con permanganato se realiza en aguas para el consumo humano, teniendo como nombre el proceso oxidabilidad al

permanganato, a diferencia de en las aguas residuales que se llama DQO, que se realiza con dicromato. ((Espigares & Pérez, p. 13)

1.4.1.3. Carbono orgánico total (COT). El resultado se halla mediante la introducción de una cantidad de muestra dentro de un horno a unas temperaturas bastante elevadas. El carbono orgánico tiene un proceso de oxidación a CO₂, por medio de un catalizador y se mide con un analizador de infrarrojo. (Espigares & Pérez, p. 14)

1.4.1.4. Demanda total de oxígeno (DTO). Este proceso es realizado en una cámara de combustión catalizada con platino, donde se realizan una serie de cambios de la materia orgánica en productos estables. Además, el oxígeno residual es analizado por cromatografía gaseosa, y en esa diferencia obtenemos la DTO. (Espigares & Pérez, p. 14)

1.4.1.5. Demanda teórica de oxígeno (DTeO). Se logra analizar, debido a una reacción teórica de oxidación. Cabe recalcar la importancia de conocer la composición de las aguas residuales en grasas, carbohidratos, entre otros. (Espigares & Pérez, p. 14)

1.4.2. Materia inorgánica. Podemos dar a conocer que la materia inorgánica es todo aquel compuesto o sustancia que carece de átomos de carbono, desde otra perspectiva podemos decir que carece de productos de reacciones químicas, por el contrario, obedece a la lógica de la tracción iónica y electromagnética, donde podemos mencionar que el agua es considerada una

biomolécula inorgánica necesaria para la existencia humana. La química inorgánica es la encargada de supervisar y estudiar este tipo de materias. (Espigares & Pérez, p. 15)

1.4.2.1. pH. Todas las actividades biológicas se desarrollan dentro de un intervalo bastante estricto. Aunque si analizamos, los valores normales del pH se encuentran en intervalos de 5 a 9, aunque no es muy relevante sobre muchas especies, hay algunas que sí son muy estrictas con respecto a estos valores. Algo relevante del pH es la agresividad de las aguas ácidas. También se puede decir que un efluente con un pH adverso puede alterar y realizar cambios significativos en la vida biológica de las aguas naturales, igualmente es difícil tratar por métodos biológicos. Las aguas residuales suelen tener un pH en valores cercanos al neutro. (Espigares & Pérez, p. 15)

1.4.2.2. Cloruros. Era considerado como un indicador indirecto de la contaminación fecal, ya que el ser humano elimina una cantidad considerable de cloruro, aproximadamente 6 gr, de igual manera, hay otras procedencias de estas sustancias entre las cuales se encuentra, infiltraciones marinas, pero además en el uso de sustancias ablandadoras en los procesos de tratamientos de agua de abastecimiento. Determinando, que el cloruro perdió toda importancia en la determinación como indicador de contaminación fecal. (Espigares & Pérez, p. 15)

1.4.2.3 Alcalinidad. Son las encargadas de medir las cantidades de algunos compuestos como carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Estos iones se neutralizan con elementos como el calcio, magnesio, sodio, entre otros. Las aguas residuales suelen tener un grado de alcalinidad. (Espigares & Pérez, p. 16)

1.4.2.4. Nitrógeno. Es de suma importancia para el crecimiento de microorganismos y de plantas, además la disminución de la misma puede ocasionar una serie de factores, entre los cuales podemos analizar, la reducción de las tasas de crecimientos, pero además puede producir cambios en las composiciones bioquímicas de los organismos. El nitrógeno está presente en las aguas residuales en compuestos en forma de urea y proteínas, también son de fácil degradación por las bacterias, transformándola en amonio y mediante de ella se producen nitrito y nitrato. El amonio puede llegar a ser tóxico para algunas especies de microorganismos. Espigares & Pérez, p. 15)

1.4.2.5. Fósforo. Es de suma importancia para el crecimiento y desarrollo de los organismos, se pueden encontrar en diferentes presentaciones o formas en las aguas residuales, entre las cuales encontramos, ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. (Espigares & Pérez, p. 15)

1.4.2.6. Azufre. Es de gran importancia para la síntesis de proteínas y esta es liberada cuando hay descomposición. Casi todos los microorganismos pueden usar el sulfato como fuente de azufre, pero algunos necesitan de compuestos más reducidos para la biosíntesis. Espigares & Pérez, p. 16)

1.5. Características Biológicas. Las aguas residuales, dependiendo de su composición y concentración, pueden tener dentro de ellas una gran cantidad de microorganismos. También

influye su temperatura y PH, ya que cada organismo requiere de valores determinados para desarrollarse. Espigares & Pérez, p. 17) Los principales grupos de organismos a encontrar.

1.5.1. Bacterias. Podemos encontrar una variedad de bacterias que pueden ser de origen fecal o bacterias que tienen funciones biodegradación, tanto en las plantas de tratamientos como en la naturaleza. En las aguas residuales brutas existen algunas especies como los Escherichia, Salmonella, estreptococos fecales, entre otros. (Espigares & Pérez, p. 18)

1.5.2. Virus. Proceden de las excreciones, por parte de individuos infectados, ya sean animales o personas. Tienen la capacidad de absorber la materia fecal, favoreciendo de esta forma la supervivencia durante tiempo prolongado en las aguas residuales. (Espigares & Pérez, p. 18)

1.5.3. Algas. El crecimiento de las algas se ve favorecido por la presencia de las aguas residuales de distintas formas de fósforo y nitrógeno, así como de otros componentes, dando lugar a procesos de eutrofización. (Espigares & Pérez, p. 18)

1.5.4. Protozoos. Hay una variedad de Protozoos, entre los cuales encontramos, amebas, flagelados y los ciliados libres y fijos. Son de suma importancia para los tratamientos biológicos, especialmente en filtros percoladores y fangos activados. Asimismo, pueden eliminar bacterias

suspendidas en el agua, evitando la producción de efluentes con turbidez. (Espigares & Pérez, p. 18)

1.5.5. Hongos. La mayoría son aerobios, pueden llegar a tolerar valores muy bajos de PH y tienen baja demanda de nitrógeno. Son de gran importancia para el tratamiento de aguas residuales industriales. En el tratamiento con fangos activados, los hongos y las bacterias pueden dar lugar a un problema llamado como Bulking. (Espigares & Pérez, p. 18)

1.6 Tratamiento descontaminante de aguas residuales.

Cabe mencionar que el tratamiento de aguas residuales o como también puede llamarse, depuración de aguas residuales, es un proceso que se realiza por diferentes mecanismos, buscando como objetivo la disminución en grandes proporciones de contaminantes de los afluentes o tributarios, como pueden llamarse a las corrientes de agua que desembocan en las plantas de tratamientos, para ser tratadas y luego ser direccionadas a fuentes de agua mucho más importantes, buscando así disminución de carga orgánica por microorganismo, retirar grasas, sólidos, entre otros. Puede mencionarse que el tratamiento de aguas residuales representa una gran problemática debido a diferentes factores que pueden afectar sus resultados, entre los cuales encontramos los demográficos, además del crecimiento de áreas industriales, pero también a factores climáticos. Cabe recalcar que la disposición final de aguas residuales en muchos lugares de Colombia, se hace de manera directa, sin ningún tipo de procesos requeridos para la reutilización de la misma y, además, esto ocasiona una gran problemática de afectación al medio

ambiente, especialmente a los cuerpos de agua subterráneos y a los superficiales. (Méndez, 2019, p. 16).

Las plantas de tratamiento cuentan con una serie de fases, para así poder determinar que se pueda eliminar una gran cantidad de contaminantes. Como se puede analizar, la primera fase es el uso de rejillas o filtros, para poder retener elementos sólidos que vengan en el afluente, se puede mencionar que es uno de los sistemas más usados y se puede realizar de forma manual o mecánica, todo depende de la estructura de la misma, luego se requiere de tanques de sedimentación, para lograr eliminar una gran cantidad de contaminantes, por medio de procesos biológicos, químicos y físicos, además se usan procesos de filtración y desinfección que se realiza por diferentes mecanismos, entre las cuales encontramos que la filtración se realiza por medio de materiales granulares de diferentes tipos como carbón y arenilla, al finalizar el proceso se usa cloro para lograr el objetivo de un impacto negativo al medio, ya que este tipo de infraestructuras busca eliminar en grandes proporciones la carga orgánica entre otros, para así poder garantizar la calidad del agua luego del tratamiento al cual fue sometido, para así poder desembocar en afluentes de más grandes proporciones, logrando asegurar que no habrá contaminación en los afluentes. Podemos mencionar que existen una variedad de tanques de sedimentación, entre los cuales encontramos. (Galeano & Rojas, 2016, p. 30 – 37).

Tipos de tanques de sedimentación:

1. Tanques de flujo horizontal.
2. Tanques de flujo radial.

3. Tanques de flujo ascensional

Se puede destacar que la aplicación de tratamientos de aguas residuales domésticas con sistemas anaeróbicos en Latinoamérica ha sido asimilada de gran manera, ya que son países con climas tropicales y subtropicales, donde la aplicación de estos sistemas debe ser mucho más controlada, además de condiciones óptimas de diseño y control exhaustivo en el proceso, ya que se busca la utilización de sistemas de reactores anaeróbicos solos o combinados, donde el tiempo de retención hidráulica es mucho menor, pero además el control de olores es mucho más controlado en comparación a los tanques sépticos y a las lagunas anaeróbicas, además los resultados son mucho más importantes, cabe recalcar que países como Brasil, Colombia y México son referentes en el uso de este tipo de tecnologías, ya que su uso genera un sinnúmero de beneficios ambientales. (Torres, 2013, p. 122-123).

Dentro de los diferentes procesos usados para la eliminación de sustancias contaminantes en afluentes, entre otros, podemos mencionar el sistema blando, como se ha llamado al uso de Macrófitas Flotantes, que están siendo usadas para la remoción de una gran cantidad de sustancias orgánicas, materiales pesados, entre otros, igualmente se ha podido demostrar su eficacia en absorber sustancias radioactivas de las aguas residuales industriales, estos sistemas de tratamientos acuáticos, son usados en estanques o lagunas específicas, donde las Macrófitas flotantes cubren las láminas de aguas para realizar su proceso de absorción, entre las ventajas más importantes encontramos el contacto que hay entre las raíces y el agua residual, logrando así una gran actividad depuradora y entre sus desventajas podemos analizar el hecho de que la capacidad de acumular biomasa es limitado, por tal motivo debe realizarse cambios periódicos,

lo que encarece el proceso, pero beneficia de gran manera las zonas rurales y apartadas, además otra desventaja significativa es la proliferación de mosquitos, pudiendo ocasionar inconvenientes de salud pública en la transmisión de enfermedades, por tal razón la ubicación de las mismas debe ser en zonas apartadas a la población. (Martelo, & Lara, 2012, p. 224-227). Ha sido desarrollado en sistemas de humedales, consiste en estanques con profundidades no superiores a 1,5 metros, estos sistemas tienen gran similitud a las lagunas de estabilización, con la diferencia de que no son usados algas, sino Macrófitas, especialmente el Jacinto de agua y la lenteja de agua, demostrando gran eficacia en la remoción de residuos contaminantes, siendo así una práctica muy usada en zonas rurales, sin importar las desventajas del retiro periódico que se debe realizar. (Martelo, & Lara, 2012, p. 230-234)

Ante la problemática de contaminación por AR (Aguas residuales), podemos plantear una serie de soluciones, que tienen como objetivo la eliminación en grandes proporciones de la carga contaminante de las aguas residuales por medios de sistema aerobios y anaerobios, a través de la construcción de PTAR que están divididas en etapas, para lograr disminuir de gran manera la contaminación de las aguas residuales que llegan a dichas instalaciones, pero también es necesario la instalación de tratamientos o de algunos niveles preliminares para así poder evitar de gran manera el desgaste de equipos y el reducir obstrucción, además de daños del mismo, por tal motivo podemos observar a continuación las diferentes fases y procesos con las cuales cuenta. (Suarez, 2011).

Nivel	Descripción	Tipo de unidad
<i>Preliminar</i>	Remueve material causantes de problemas operacionales como trapos, ramas, arenisca, material	Rejas, tamices, desarenador, tanques de homogenización, trampas de grasa
<i>Primario</i>	Remueve una porción de sólidos suspendidos y de materia orgánica	Sedimentador, unidades con inyección de aire, tanque séptico, Imhoff
<i>Secundario</i>	Remueve materia orgánica biodegradable disuelta o suspendida. Puede ir acompañado de procesos	Lodos activados, biodiscos, filtros percoladores, humedales, lagunas, reactor UASB
<i>Terciario</i>	Remueve sólidos suspendidos a través de microfiltración, además en este nivel se remueven	Microfiltración, la coagulación y precipitación, la adsorción por carbón activado, cloración
<i>Avanzado</i>	Remueve material remanente suspendido o disuelto, después de tratamiento biológico	Destilación, osmosis, cloración, ozonización, intercambio iónico, nanofiltración, adsorción por carbón activado, electrodiálisis

Figura 1. Niveles de tratamiento. Obtenido de. (Suarez, 2011)

Los procesos biológicos para el tratamiento de aguas residuales usan microorganismos que reducen la concentración de materia orgánica de las aguas residuales, gracias a que se alimentan de ella, ocasionando que haya una reducción significativa de la misma, los procesos biológicos se dividen:

Sistemas aerobios: Es un proceso realizado por microorganismos que requieren de presencia de oxígeno disuelto, ya que su metabolismo lo necesita.

Sistemas anaerobios: Es un proceso realizado por microorganismos que requieren de la ausencia de oxígeno libre, que pueden verse amenazados por su presencia. El funcionamiento de dichas PTAR, se resumen en la Figura 2.

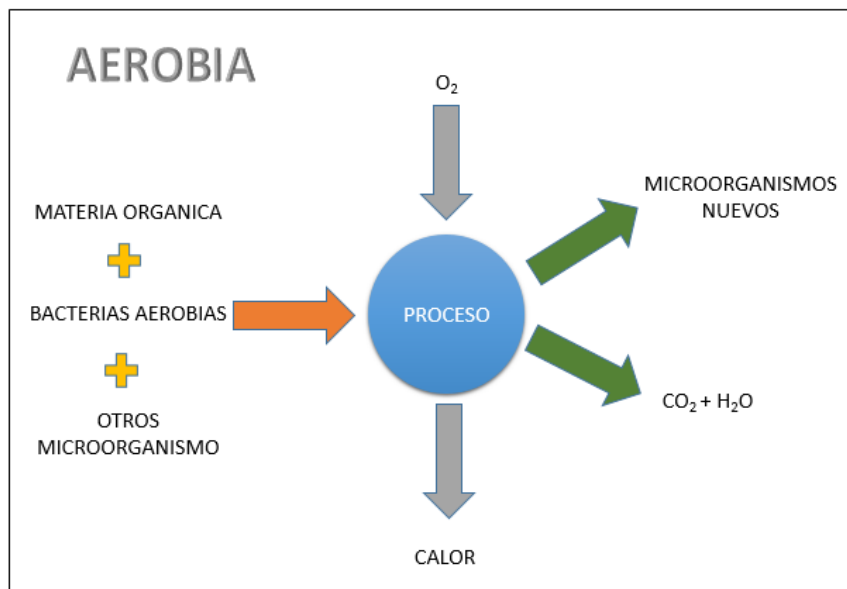


Figura 2. Procesos aerobios. Obtenido de. (Suarez, 2011)

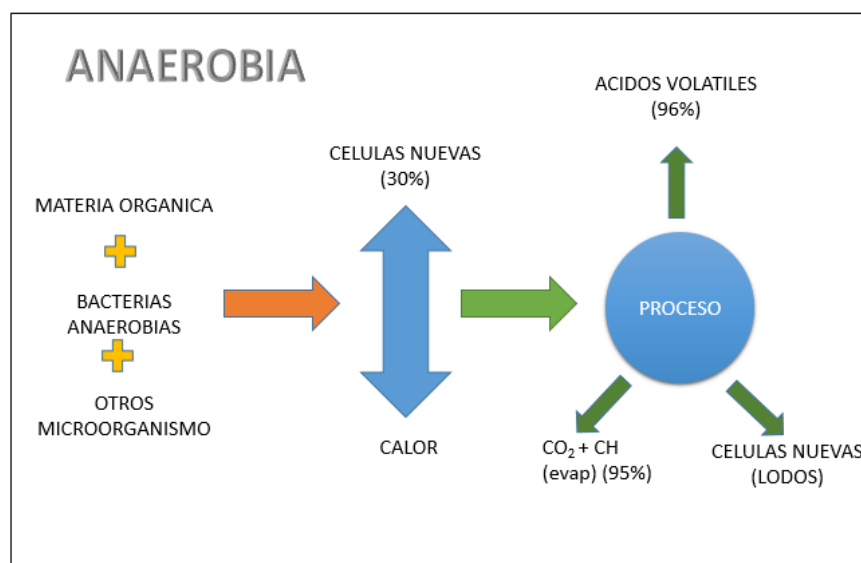


Figura 3. Procesos anerobios. Obtenido de. (Suarez, 2011)

Capítulo 2. Factores de contaminación en ríos de la región Andina Colombiana

El país se ha dividido en distintas regiones naturales, y una de ellas es la región Andina, ubicada en el centro de Colombia, conformada por las cordilleras Oriental, Central y Occidental, siendo una zona con gran diversidad en flora y fauna ya que cuenta con distintos pisos térmicos. Hacen parte de ella los departamentos de Norte de Santander, Santander, Boyacá, Cundinamarca, Tolima, Huila y la ciudad de Bogotá. Y entre los afluentes principales que conforman esta región se encuentran los ríos Magdalena, Patía, Nechí, Porce, Sogamoso, Chicamocha, Cauca, Catatumbo y Bogotá los cuales no son ajenos a la problemática ambiental de la contaminación de los ríos.

Según un informe elaborado por la Universidad de los Andes, se muestra que, en el año 2016, esta región tiene unos departamentos con alta actividad extractiva en minería, lo que ocasiona la contaminación de los afluentes. En consecuencia, en Boyacá la actividad extractiva estuvo en un 18%, en Cundinamarca en 10%, en Antioquia en un 14%, en Norte de Santander en un 6% y en Santander en un 7% (Baena, Fuentes, Pino, Marín, Horta & Fonseca, 2020) Asimismo, Bogotá presenta alta contaminación y una de ellas se basa en el manejo de las aguas residuales domésticas y de curtiembres, que tienen un grave impacto sobre las cuencas de varios ríos, con base en lo expresado por Salazar (2010) ella menciona que “el caso de Bogotá, es considerado uno de los más contaminados del mundo por su alta carga orgánica y de aceites y grasas, entre otros elementos que incluyen hasta mercurio. El río Bogotá es además uno de los

principales afluentes del Magdalena en la zona media, y por lo tanto el responsable de parte importante de la contaminación de este último.” (p. 14)

En Boyacá, con las actividades agrícolas con el uso de químicos se ha dado un deterioro del ecosistema y entre ellos la cuenca del río Chicamocha, en Norte de Santander se presenta la gravedad de contaminación que tiene el río Pamplonita, en Cundinamarca los procesos de curtiembres son un factor de contaminación de las fuentes hídricas por las aguas residuales del proceso, ya que incluye minerales como sulfuros, cromo, aceites y grasas. En los departamentos del Huila y Tolima la tecnificación agrícola, los fertilizantes, plaguicidas, entre otros han deteriorado notablemente las fuentes hídricas. (Salazar, 2010)

2.1 Caso de contaminación del río Pamplonita.

El río Pamplonita fluye de sur-norte por el departamento de Norte de Santander, y actualmente presenta una contaminación alta debido al mal manejo de aguas negras que llegan a este afluente, pues recibe aguas residuales de los municipios aledaños, causando la reducción de la biodiversidad acuática y contaminación del aire que influye en la calidad de vida de las personas de esta zona, además del aumento del costo para el tratamiento de los acueductos municipales. El río Pamplonita hace parte de la Gran Cuenca del Catatumbo, Cuenca Mayor del Río Zulia, que derrama sus Aguas al Lago de Maracaibo en la República Bolivariana de Venezuela. En esta cuenca hidrográfica se hallan las áreas territoriales de los municipios de Puerto Santander, Pamplonita, Pamplona Chinácota, Bochalema, Herrán, Los Patios Ragonvalia,

Villa del Rosario y Cúcuta, (Corponor, 2018) Esta cuenca equivale a 6.1% del área total del departamento de Norte de Santander, por lo que se han realizado varios estudios, donde en los años de 2003 a 2004 hubo una contaminación de clase 2, y para el 2007 una contaminación de clase 1, pero para el año de 2019 esta contaminación aumentó a clase 3. Discriminando el tipo de contaminación de la siguiente manera. (Corponor, 2018, p. 1).

Clase 1: Aguas no contaminadas

Clase 2: Evidentes algunos efectos de contaminación

Clase 3: Aguas contaminadas

Clase 4: Aguas muy contaminadas

Clase 5: Aguas fuertemente contaminadas

Según fuentes de información de Corponor (2010) sucede el vertimiento indirecto al río Pamplonita de aguas con alto contenido de sólidos disueltos, óxidos de hierro y carbonatos a cargo de la minería de carbón y de arcilla. Por el sector de curtiembres se da el vertimiento de aguas residuales e industriales sin ningún tratamiento, con alto contenido de cromo y sales. El sector de lavaderos de carros y talleres de mecánica, es el responsable de los vertimientos al alcantarillado de sedimentos como arenas y finos, además de grasas, aceites, gasolina, thinner, ACPM, entre otros. Por último, las lavanderías y tintorerías vierten al alcantarillado colorantes, detergentes, compuestos clorados, entre otros. Por tanto, todas estas industrias son potenciales factores de contaminación del río Pamplonita, además de que la población de los municipios de

Pamplona, Pamplonita, Chinácota, Los Patios, Ragonvalia, Herrán, una parte de Bochalema y Cúcuta, este último es responsable del 76% de la carga contaminante. (Corponor, 2019)

2.2 Caso de contaminación del río Tejo.

El río Tejo se ubica en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, antiguamente se llamaba Río Grande, y era un afluente muy importante para los ocañeros desde la fundación hasta 1960. Pero actualmente presenta graves problemas de contaminación a causa de factores como el vertimiento de aguas residuales. (Pérez, 2015) La microcuenca de este río según Pérez, (2015) tiene una extensión de 15.029,91 hectáreas y nace en la vereda Filo del Pajuil, y con las invasiones se ocuparon los terrenos en los sectores occidentales y Norte de Ocaña y más adelante en las riberas del río, causando una contaminación con desechos orgánicos, basuras, aguas residuales y solo de vez en cuando los habitantes acuden a su limpieza.

De esta manera, el artículo Ríos Tejo y Chiquito: Evaluación de los ICO's dentro la estructura urbana de Ocaña, Norte De Santander, presenta que la contaminación de los cuerpos hídricos se relaciona con los vertimientos de origen doméstico, lo que causa un aumento en la materia orgánica y microorganismos y en el caso del río Tejo, tiene la problemática ambiental con factor principal asociado al vertimiento de aguas residuales domésticas sin tratamiento, el uso de agua sin concesiones y la alta demanda. (Díaz, Quintero, Lozano, Fonseca, & Valdes, 2017) Igualmente es pertinente mencionar que los ríos Tejo y Chiquito rodean gran parte de Ocaña, y este municipio tiene un sistema de alcantarillado obsoleto por lo que se vierten las aguas directamente a estos dos ríos, por ello la disposición final de las aguas negras sin ningún

tratamiento lógicamente son un gran factor que causa la contaminación y deterioro de los ríos, los cuales más adelante desembocan en el río Algodonal. (Alcaldía de Ocaña, 2012).

El río Tejo también presenta alteraciones en sus propiedades y calidad, esto se debe a factores antrópicos como la acumulación de residuos sólidos, la tala de árboles, generación de nuevos asentamientos y el uso de agroquímicos en los cultivos cerca a los afluentes, los cuales están provocando severa contaminación. Corponor, manifiesta igualmente que el sector urbano es responsable de impactos ambientales en cuanto a la contaminación de fuentes hídricas por factores como infraestructura vial, construcción y por supuesto las aguas residuales, industriales, domésticas, agroquímicos y basuras. (2012)

Por tanto, tomando como referente lo investigado por Díaz, etc, (2017) al evaluar la calidad del agua del río Tejo, se tomaron muestras en varios puntos de muestreo del municipio de Ocaña, como lo fueron la Cárcel Modelo (punto 1), Villa Margarita (punto 2), Parque de los Seguros (punto 3), La Pradera (punto 4), Palomar (punto 5) y la Gloria (punto 6). Con un volumen de 500 mL, conformando una muestra de 2500 mL en temporada de lluvia y estiaje, teniendo en cuenta los índices de contaminación. En consecuencia, los resultados arrojaron que en el sector de la Cárcel Modelo y Villa Margarita hay mayor grado de contaminación por mineralización mientras que los demás puntos están en un grado de contaminación alto. La contaminación por sólidos suspendidos no se presenta en los sectores de la Cárcel Modelo y la Pradera.

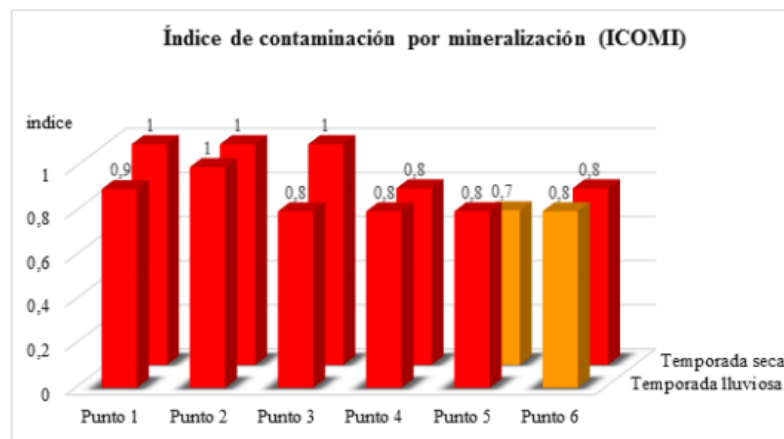


Figura 4. Evaluación de la calidad del agua mediante el índice de contaminación por mineralización. (2017) Obtenido de:

<https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/download/2150/2089#:~:text=Las%20deficiencias%20en%20el%20tratamiento,convertido%20en%20dep%C3%B3sitos%20de%20basuras>

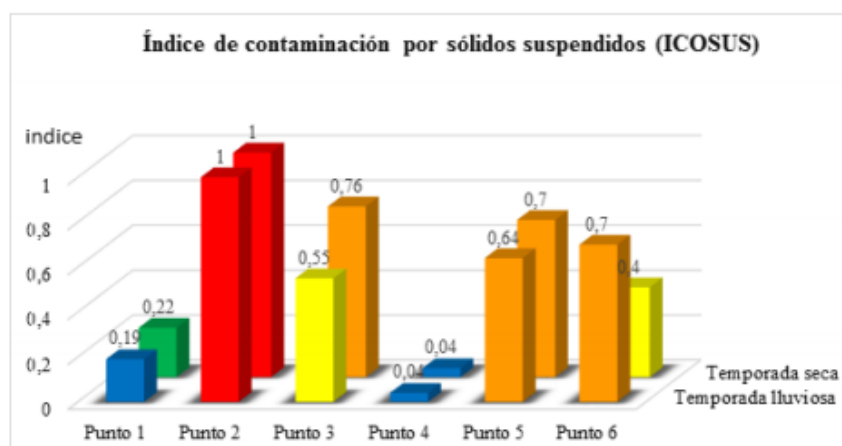


Figura 5. Evaluación de la calidad del agua mediante el índice de contaminación por sólidos suspendidos. (2017) Obtenido de:

<https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/download/2150/2089#:~:text=Las%20deficiencias%20en%20el%20tratamiento,convertido%20en%20dep%C3%B3sitos%20de%20basuras>

Sin embargo, a nivel general, el sector de Villa Margarita es el más contaminado, seguido por el Parque los de los Seguros y el Palomar con 6,2, La Gloria con un punto crítico de 5,9 y la Cárcel con 5,5 y finalmente la Pradera con 4,3. En cuanto a los factores contaminantes que se encontraron en este estudio, tuvieron que ver con los vertimientos domésticos, la presencia de detergentes, la sobreacumulación de residuos, elementos ácidos, sustancias con alto contenido de calcio, materia orgánica, concentración alta de fósforo, arrastre de partículas, turbidez y sedimentos.

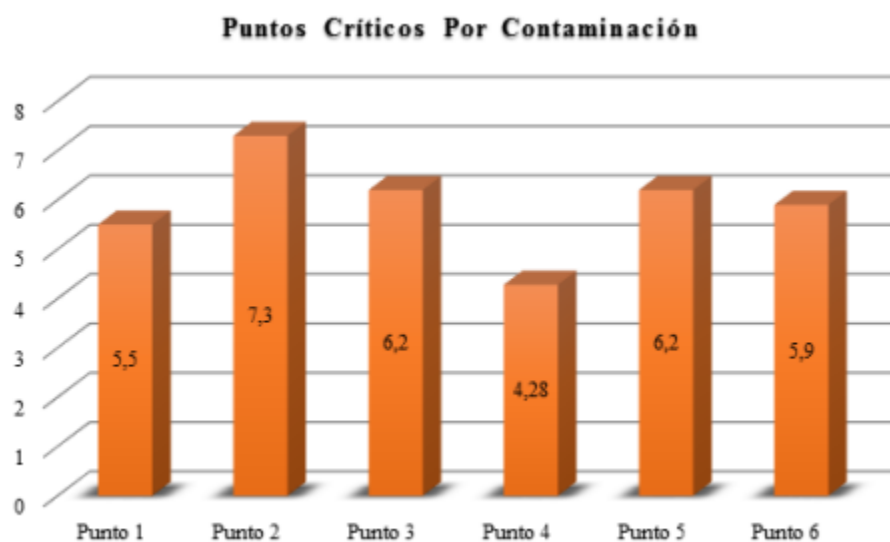


Figura 6. Identificación de los puntos críticos o contaminados. (2017) Obtenido de:

<https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/download/2150/2089#:~:text=Las%20deficiencias%20en%20el%20tratamiento,convertido%20en%20dep%C3%B3sitos%20de%20basuras>

2.3 Caso de contaminación del río Bogotá.

El río Bogotá es uno de los más importantes en la sabana de Bogotá, tiene una superficie de 589.143 hectáreas, que corresponden al 32% de la superficie total del departamento de Cundinamarca, con longitud de 336 km, divididos en una cuenca alta, una media y una baja, donde interactúan con el río según Morales y Rodríguez, (2017) 8,5 millones de personas, la mayoría ubicada en Bogotá, además allí se encuentran el 41% de las industrias a nivel nacional con un estimado de 302 empresas, por lo que este río aporta el 31,7% del Producto Interno Bruto del país. Pero a pesar de lo importante que es, es uno de los afluentes más contaminados del país, ocupando el grado 8 en una escala de 10. Pues desde la cuenca alta se vierten curtiembres artesanales de 190 industrias de curtido de pieles, agregando al río cargas orgánicas, cromo, tintas, sulfuro, y más adelante recibe las aguas residuales de los habitantes y los desechos industriales.

Otros factores de contaminación que llegan al río Bogotá son los que vienen de los cultivos que se hallan cerca al afluente, donde un estudio de la Universidad Nacional de Colombia junto con Colciencias, encontraron gran porcentaje de plomo, arsénico, mercurio y cadmio en el apio, la lechuga, entre otros. (Morales & Rodríguez, 2017) Según el informe que brinda la Contraloría Distrital, sobre el Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente de Cundinamarca para el año 2009, los factores de contaminación al río Bogotá se relacionan con el vertimiento de abonos químicos, de fertilizantes, desechos orgánicos tanto de humanos como de animales, vertimientos de las curtidoras de cuero, las cuales agregan sustancias tóxicas como el cromo y el mercurio y vertimientos de las aguas residuales domésticas.

Esto deja un panorama desalentador para el río Bogotá, donde se muestra que desde el nacimiento hasta la desembocadura este afluente es contaminado tanto biológica, física y químicamente, podría decirse que se ha convertido en la más grande alcantarilla de Colombia. Según Pérez (2011) “se estima que el río Bogotá vierte al Magdalena las siguientes cantidades contaminantes químicos y físicos: 318kg de cromo, 278 kg de plomo, 140 ton de hierro, 1.11 ton de detergentes y 835 ton de sólidos en suspensión, entre otros.” (p. 1) En consecuencia, este mismo autor menciona que el río Bogotá tiene 4 tramos definidos de acuerdo a su contaminación orgánica.

Por tanto, el primer tramo se ubica desde el nacimiento a Villapinzón, este tramo presenta aguas limpias y poco contaminadas, por ende, la demanda biológica de oxígeno (DBO5) es inferior a 2 mg/L y el oxígeno disuelto superior a 6mg/L. El segundo tramo se ubica desde Villapinzón y el río Juan Amarillo, donde la contaminación va aumentando, debido a las aguas negras y los vertimientos industriales, la carga orgánica esta inferior a 10mg/L y el oxígeno disuelto entre 2 y 7 mg/L, pero en este tramo hay otros tramos pequeños donde se reciben descargas de las zonas suburbanas y urbanas de Bogotá llegando el DBO5 a 13,9 mg/L. (Pérez, 2011)

Con respecto al tercer tramo, este va desde la desembocadura del río Juan Amarillo, el suroeste de Suba y Tocaima, aquí se presenta una contaminación grave pues según Pérez (2011) este tramo tiene de forma permanente condiciones sépticas y pestilentes, lo que causa un peligro para la salud de las personas y animales que habitan cerca de este lugar. La demanda biológica

de oxígeno se encuentra superior a 100 mg/L y el oxígeno disuelto tiene valores muy bajos, además una de las partes de este tramo lleva a 143mg/L y el oxígeno se consume totalmente. Por último, el cuarto tramo, va desde Tocaima hasta el río Magdalena, y muestra un DBO5 de 18mg/L a 34 mg/L. Este panorama deja una contaminación del 76% a cargo de las aguas domésticas, un 24% del sector industrial, un 465 de los sólidos suspendidos por la minería, la industria cervecera en un 33%, pero la mayor carga contaminante al río la genera la capital en un 92,6% de la demanda biológica de oxígeno.

2.4 Caso de contaminación del río Chicamocha.

El río Chicamocha es uno de los ríos más importantes de la región centro – oriente del país, el cual tiene su origen en el municipio de Tuta y en el Jordán en Tunja en el departamento de Boyacá, que luego pasa a formar el cañón del Chicamocha haciendo parte allí del departamento de Santander. Este afluente sufre la contaminación de aguas negras, residuos industriales y hospitalarios, en su recorrido, más adelante se encuentra con factores contaminantes como pesticidas y residuos de fincas ganaderas y agrícolas. Un artículo del periódico de El Tiempo (2007), titulado El río Chicamocha es la alcantarilla de Tunja, Duitama y Sogamoso, muestra como este afluente es otra alcantarilla de Colombia al igual que el anterior caso del río Bogotá. Este artículo muestra que de acuerdo a la información de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá), Tunja es responsable del 40% de la contaminación que, al río, le sigue Duitama con un 30% y Sogamoso con un 20% que han hecho que el río Chicamocha este en precarias condiciones.

Con base en un diagnóstico realizado por Corpoboyacá (2015), en el Plan de ordenamiento hídrico – PORH de la cuenca media y alta del río Chicamocha, se encontró que, en la cuenca alta, los niveles más bajos de DBO5 están en <5 mg/L en las estaciones de Tuta, Bosiga, La Reforma, El Paraíso y Punta Larga, mientras que en la estación de Oicatá el nivel de DBO5 llega a 550 mg/L en campaña seca, porque en húmeda llega a 200 mg/L. Con respecto a los sólidos suspendidos en campaña seca llegan a 250 mg/L en la estación de Oicatá en campaña húmeda llega a 100 mg/L. En cuanto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de este afluente y según Corpoboyacá (2015) los niveles están de <20 mg/L para las estaciones de Tuta, Bosiga, La Reforma, El Paraíso y Punta Larga, en las demás estaciones se muestra que Oicatá llega a 887 mg/L, Cóbbita con 445 mg/L y Río Jordán con 269 mg/L en temporada seca, en húmeda solo llegan a 300 mg/L. Por otro lado, el oxígeno disuelto de este afluente se encuentran niveles altos en las estaciones de Punta Larga y Los Cábbulos, y el más bajo llegó a cero en las estaciones de Río Jordán, Cóbbita Arboleda, Puente Chámeza y Playa Arriba.

En la cuenca media, la demanda biológica de oxígeno tuvo un nivel bajo en la estación de Soacha con <5 mg/L en tiempo seco, y el nivel más alto estuvo en las estaciones de Corrales con 89 mg/L y La Turca con 72 mg/L en temporada húmeda. Con respecto a los sólidos suspendidos hubo niveles de 1295 mg/L y 1227 mg/L en la estación de La Turca y Aguas Arriba Susacón en tiempo seco, con humedad se ubica en 1700 mg/L. Por otro lado, la DQO en esta cuenca llega a 60 mg/L, y el oxígeno disuelto se recupera alcanzando niveles de saturación máximos.

Asimismo, este diagnóstico midió el Índice de Calidad de Aguas (ICA) del río Chicamocha presentando los siguientes resultados:

Estación	I _{OD}	I _{SST}	I _{DQO}	I _{CE}	I _{NT/PT}	I _{pH}	ICA	Calidad
Aguas Arriba Tunja	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Río Jordán	0.01	0.89	0.13	1.00	0.60	1.00	0.60	Regular
Arboleda	0.01	0.91	0.13	1.00	0.15	1.00	0.52	Regular
Oicatá	0.16	0.27	0.13	1.00	0.60	1.00	0.52	Regular
Combita	0.01	0.65	0.13	1.00	0.35	1.00	0.51	Regular
Playa Arriba	0.01	0.85	0.13	1.00	0.35	1.00	0.55	Regular
Playa Abajo	0.01	0.88	0.13	1.00	0.15	1.00	0.52	Regular
Tuta	0.20	0.98	0.91	1.00	0.15	1.00	0.70	Regular
Bosiga	0.18	0.82	0.91	1.00	0.60	0.68	0.70	Regular
La Reforma	0.42	0.96	0.91	1.00	0.60	1.00	0.81	Aceptable
Arriba Termo Paipa	0.61	0.93	0.26	1.00	0.35	0.69	0.64	Regular
Laguna Termo Paipa	0.43	0.92	0.26	1.00	0.60	1.03	0.70	Regular
La Siberia	0.32	0.83	0.51	1.00	0.15	1.00	0.63	Regular
El Paraíso	0.36	0.94	0.91	1.00	0.80	1.00	0.83	Aceptable
San Rafael	0.46	0.92	0.51	1.00	0.60	1.00	0.74	Aceptable
Punta Larga	0.72	0.88	0.91	1.00	0.15	0.66	0.72	Aceptable
Los Cábmulos	0.46	0.86	0.26	1.00	0.15	1.39	0.67	Regular
Puente Chámeza	0.52	0.86	0.13	1.00	0.15	1.00	0.60	Regular
Nazareth	0.01	0.00	0.13	1.00	0.15	1.00	0.37	Mala
Vado Castro	0.01	0.82	0.13	1.00	0.80	1.00	0.62	Regular
La Turca	0.42	0.00	0.13	1.00	0.15	1.00	0.44	Mala
Corrales	0.34	0.90	0.13	1.00	0.15	1.00	0.58	Regular

Figura 7. Índice de Calidad de Aguas – ICA, Estaciones Río Chicamocha (2015) Obtenido de:

[https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-](https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/08/DIAGNOSTICO_RIO_CHICAMOCHA-_V4-1.pdf)

[content/uploads/2016/08/DIAGNOSTICO_RIO_CHICAMOCHA-_V4-1.pdf](https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/08/DIAGNOSTICO_RIO_CHICAMOCHA-_V4-1.pdf)

Betétiva	0.43	0.88	0.71	1.00	0.60	1.00	0.77	Aceptable
Paz del Río	0.66	0.90	0.51	1.00	0.35	1.00	0.73	Aceptable
Socha	0.37	0.91	0.91	1.00	0.80	1.00	0.83	Aceptable
Aguas Arriba Susacón	0.62	0.00	0.51	1.00	0.15	1.00	0.54	Regular
Puente Pinzón	0.56	0.00	0.26	1.00	0.15	1.00	0.48	Mala
Puente Palmera	0.89	0.00	0.51	1.00	0.15	0.69	0.54	Regular

Figura 8. Índice de Calidad de Aguas – ICA, Estaciones Río Chicamocha (2015) Obtenido de:

[https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-](https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/08/DIAGNOSTICO_RIO_CHICAMOCHA-_V4-1.pdf)

[content/uploads/2016/08/DIAGNOSTICO_RIO_CHICAMOCHA-_V4-1.pdf](https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/08/DIAGNOSTICO_RIO_CHICAMOCHA-_V4-1.pdf)

También, se muestra el Índice de contaminación de materia orgánica (ICOMO) y el Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) del río Chicamocha presentando los siguientes resultados:

No	Estación	I _{dbp}	I _{cor}	I _{o%}	ICOMO	Calidad	ICOSUS	Calidad
E1	Aguas Arriba Tunja	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
E2	Río Jordán	1.00	1.00	0.99	0.997	Muy Alto	0.106	Ninguno
E4	Arboleda	1.00	1.00	0.99	0.997	Muy Alto	0.091	Ninguno
E7	Oicatá	1.00	1.00	0.84	0.947	Muy Alto	0.727	Alto
E8	Combita	1.00	1.00	0.99	0.997	Muy Alto	0.355	Bajo
E9	Playa Arriba	1.00	1.00	0.99	0.997	Muy Alto	0.151	Ninguno
E10	Playa Abajo	1.00	0.78	0.99	0.924	Muy Alto	0.124	Ninguno
E13	Tuta	0.43	0.00	0.80	0.411	Medio	0.016	Ninguno
E14	Bosiga	0.43	0.00	0.82	0.418	Medio	0.178	Ninguno
E16	La Reforma	0.43	0.00	0.58	0.338	Bajo	0.040	Ninguno
E17	Arriba Termo Paipa	1.00	0.00	0.39	0.463	Medio	0.073	Ninguno
E18	Laguna Termo Paipa	1.00	0.00	0.57	0.523	Medio	0.079	Ninguno
E20	La Siberia	0.94	0.00	0.68	0.540	Medio	0.169	Ninguno
E22	El Paraíso	0.43	0.00	0.64	0.358	Bajo	0.064	Ninguno
E23	San Rafael	0.83	0.00	0.54	0.456	Medio	0.085	Ninguno
E25	Punta Larga	0.43	0.00	0.28	0.238	Bajo	0.124	Ninguno
E26	Los Cábulos	0.96	0.00	0.54	0.501	Medio	0.139	Ninguno
E28	Puente Chámeza	1.00	1.00	0.48	0.827	Muy Alto	0.145	Ninguno
E29	Nazareth	1.00	1.00	0.99	0.997	Muy Alto	1.000	Muy Alto
E30	Vado Castro	1.00	1.00	0.99	0.997	Muy Alto	0.181	Ninguno
E32	La Turca	1.00	1.00	0.58	0.860	Muy Alto	1.000	Muy Alto

Figura 9. Índice de Calidad de Aguas – ICA, Puntos – Afluentes del Río Chicamocha (2015)

Obtenido de: [https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-](https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/08/DIAGNOSTICO_RIO_CHICAMOCHA-_V4-1.pdf)

[content/uploads/2016/08/DIAGNOSTICO_RIO_CHICAMOCHA-_V4-1.pdf](https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/08/DIAGNOSTICO_RIO_CHICAMOCHA-_V4-1.pdf)

E34	Corrales	1.00	0.00	0.66	0.553	Medio	0.103	Ninguno
E35	Betéitiva	0.65	0.22	0.57	0.480	Medio	0.118	Ninguno
E37	Paz del Río	0.85	0.00	0.34	0.395	Bajo	0.097	Ninguno
E38	Socha	0.43	0.35	0.63	0.472	Medio	0.088	Ninguno
E40	Aguas Arriba Susacón	0.89	0.00	0.38	0.423	Medio	1.000	Muy Alto
E42	Puente Pinzón	0.89	0.00	0.44	0.443	Medio	1.000	Muy Alto
E44	Puente Palmera	0.88	0.00	0.11	0.329	Bajo	1.000	Muy Alto

Figura 10. Índice de Calidad de Aguas – ICA, Puntos – Afluentes del Río Chicamocha (2015)

Obtenido de: [https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-](https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/08/DIAGNOSTICO_RIO_CHICAMOCHA-_V4-1.pdf)

[content/uploads/2016/08/DIAGNOSTICO_RIO_CHICAMOCHA-_V4-1.pdf](https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/08/DIAGNOSTICO_RIO_CHICAMOCHA-_V4-1.pdf)

2.5 Caso de contaminación del río Combeima.

El río Combeima tiene origen por el volcán Nevado del Tolima, ubicado en la cordillera central de los Andes en la ciudad de Ibagué, este río cuenta con bellos paisajes y cantidad de cascadas. Este río presenta como factores de contaminación los vertimientos de aguas residuales y del sector industrial, además de las basuras y desechos que son arrojados al afluente de parte de los ibaguereños. Un artículo publicado en Pa'la gente. (2018) titulado Río Combeima: La Ola Negra, expresa que hasta un ciudadano de la calle afirma que este río está contaminado en un 99% de basura, y el afluente tiene malos olores, a pesar de que este río es un atractivo turístico y que abastece al acueducto de Ibagué con 1.661 metros cúbicos y 7.000 son destinados a los cultivos.

Por tanto, la Corporación Autónoma Regional, Cortolima, hizo un estudio de los ríos Combeima, Chipalo, Opia y Alvarado, según lo expresado en Pa'la gente. (2018), y se evidencia que uno de los factores principales de contaminación es el vertimiento de aguas residuales de

origen doméstico que vienen del sector urbano. Este mismo estudio arrojó que 5.696 toneladas de heces fecales son arrastradas anualmente por el río Combeima, donde el 70% son heces fecales y el 30% son materia sólida y agroindustrial, y a este ritmo, 4.000 mil toneladas de basura anualmente llegan al afluente, por lo que el Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) se sitúa en 0,96 a causa de las aguas residuales, pues 130.285 m³/día son aguas residuales domésticas.

Según Zúñiga (2015) en su investigación titulada Análisis de la contaminación microbiológica en el río Combeima, municipio de Ibagué (Tolima, Colombia) se presenta que durante los años de 2008 y 2012 el afluente tuvo concentraciones promedio mensuales de contaminación microbiológica que superaron los máximos valores admisibles de calidad de agua cruda para su destinación como recurso humano y doméstico después de su potabilización. Y los responsables de esta contaminación han sido la población, las actividades pecuarias y de hotelería que descargan sus aguas residuales al río por lo que el índice de contaminación microbiológica crece. Lo más preocupante es que este río abastece al sistema de acueducto de Ibagué y la contaminación que tiene implica un riesgo en la salud de los seres vivos, es por ello, que es necesario un control sanitario y ambiental en la cuenca alta en cuanto a las actividades antrópicas que generan residuos líquidos sin ningún tratamiento

2.6 Caso de contaminación del río Guarapas.

El río Guarapas se ubica al sur del departamento del Huila, tiene un área de 70.567 hectáreas y nace en el macizo colombiano en el flanco de la cordillera oriental, recorriendo 71,4 km antes de desembocar en el río Magdalena. La contaminación de este afluente según la Corporación Autónoma Regional del Alto del Magdalena (2012) postulada en el Plan de Ordenamiento y Manejo de la cuenca Hidrográfica del río Guarapas, se expresa que los factores de contaminación se relacionan con los agroquímicos del cultivo de la granadilla y el café y las aguas servidas que caen directamente al afluente, además de los residuos sólidos dejados al aire libre.

Igualmente, el periódico La Nación (2014) presentó una noticia sobre la contaminación del río Guarapas, a causa de las aguas negras que iban a parar al afluente debido a que un tubo del alcantarillado se rompió, por tanto, las aguas negras de los barrios Madelena, Solarte, Jardín, La Virginia y varias urbanizaciones cayeron al río, además el viaducto que debe cruzar hacia la planta de aguas residuales no funciona e inevitablemente las aguas negras van a parar al río. Rivera (2016) manifiesta con base en lo expresado por la ingeniera María Alejandra Andrade que es la Ingeniera Ambiental de empresas públicas Empitalito, empresa encargada de acueducto, aseo y alcantarillado, que la fuente hídrica del río está afectada por factores de contaminación como la disposición inadecuada de residuos sólidos inservibles y el vertimiento de aguas residuales domiciliarias generando altos niveles de contaminación.

Gómez, (2016) por su lado, expresa que el sector urbano es uno de los principales contaminantes del río Guarapas, con las descargas industriales, de afluentes del alcantarillado, de las curtidas, de mataderos, las basuras y los desagües de las aguas negras. Además, el sitio de disposición final de los residuos sólidos está sobre la cuenca del río estando a menos de 100 metros del cauce. Pero ante esta situación hasta el momento son pocas las investigaciones y acciones que se han tomado frente a esta contaminación del río Guarapas.

2.7 Caso de contaminación del río de Oro.

El río de Oro nace en la quebrada de Santa Rita en la vereda Cristales en el Alto del Picacho a 3.400 m.s.n.m. en jurisdicción del Municipio de Piedecuesta. (Alcaldía Municipal de Girón – Santander, 2021) Este afluente actualmente se encuentra con altos niveles de contaminación y baja calidad del agua a causa de la intervención antrópica, según Esri (2021) “se estima que cada día se vierten al río 38,5 toneladas de sólidos orgánicos aparte de las aguas residuales provenientes del Girón y Bucaramanga que hacen que se incremente la carga bacteriana.” El artículo del periódico 15 en su noticia ‘Santander por Naturaleza’ le apuesta a la recuperación del río de Oro, manifiesta que este río es una de las principales fuentes hídricas del departamento, pero se encuentra entre los 10 más contaminados según un estudio del Ministerio de Vivienda realizado en el año 2014.

La contaminación de este río incluye factores como los residuos sólidos arrojados por algunas industrias que no tienen un manejo al evacuar los desechos, además de recibir las aguas

residuales de Bucaramanga, Piedecuesta y Girón. (Periódico 15, 2016) Asimismo, la Corporación Autónoma Regional para la defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) presenta que entre otros factores de la contaminación del río se encuentran actividades antrópicas como la construcción de viviendas dentro de las franjas naturales inundables del cauce, además del deterioro que se ha dado por el mal manejo dentro de las cuencas hidrográficas presentándose deforestación en la parte alta de la cuenca.

Se presenta también en el río de Oro que las especies que antes habitaban allí ya no existen, y actualmente solo se encuentra espuma que viene de las sustancias químicas, aceites, grasas, desechos sólidos, excrementos, entre otros residuos que vienen de los desagües de los hogares y las empresas. (Pineda, 2020) Por tanto, se requiere con urgencia la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en los municipios del área de jurisdicción a fin de mitigar la contaminación de dicho río, sin embargo, sobre la problemática de este río no se han adelantado muchas investigaciones.

2.8 Tecnologías aerobias y anaerobias a utilizar de acuerdo a los contaminantes que presenta cada río expuesto.

2.8.1 Río Pamplonita. La tecnología a utilizar en este río sería las lagunas anaerobias, ya que este sistema se utiliza para aguas de desechos industriales, asimismo es utilizado en el tratamiento de aguas residuales municipales, debido a que este río recibe el vertimiento de aguas residuales tanto industriales como municipales con el vertimiento del alcantarillado.

2.8.2 Río Tejo. La tecnología a utilizar en este río sería el filtro anaerobio, debido a que este tratamiento se utiliza para las aguas residuales domésticas, siendo este el principal factor de contaminación de este río, igualmente este filtro tiene una eficacia del 65% en la remoción de la demanda química de oxígeno en aguas residuales domésticas y tiene una vida útil larga.

2.8.3 Río Bogotá. La tecnología a utilizar en este río sería las lagunas anaerobias, ya que son utilizadas principalmente en aguas de desechos industriales y este río recibe vertimientos industriales de 190 industrias que están en la capital. De igual manera se puede utilizar un reactor de lecho expandido o fluidificado, pues también se utilizan en el tratamiento de aguas residuales industriales con condiciones controladas, además de ser económico, pequeño y eficaz.

2.8.4 Río Chicamocha. La tecnología a utilizar en este río sería el reactor de lecho expandido o fluidificado, ya que sirve para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, siendo estos vertimientos los responsables de la contaminación de este río. Esta tecnología además ayuda a minorar el impacto en el medio ambiente que generan otras alternativas. Además, se puede implementar el digestor anaerobio convencional (sin mezcla), el cual ayuda a la estabilización de sólidos en las aguas residuales altamente contaminadas.

2.8.5 Río Combeima. La tecnología a utilizar en este río sería las lagunas anaerobias que se utilizan en el tratamiento de aguas con desechos industriales y sólidos suspendidos, debido a

que los factores contaminantes de este río se basan en el vertimiento de aguas residuales del sector industrial y doméstico, además de basuras y desechos. Pero este río abastece al acueducto de Ibagué con 1.661 metros cúbicos y 7.000 son destinados a los cultivos, por lo que es necesario que también se implemente un reactor aerobio acoplado a membranas, ya que este brinda un agua de alta calidad, que es adecuado para el consumo humano y para los cultivos a fin de evitar enfermedades.

2.8.6 Río Guarapas. La tecnología a utilizar en este río sería la laguna anaerobia, porque se encamina a las aguas industriales, pero también a los sólidos suspendidos sedimentables, y a este río se agregan residuos sólidos inservibles, y el propósito de esta tecnología es retener la mayor cantidad de sólidos y así poder eliminar la carga orgánica. Se podría de igual manera implementar el tanque Imhoff como un tratamiento primario para mejorar un poco más el estado en el que se encuentra el río.

2.8.7 Río de Oro. la tecnología a utilizar en este río sería el filtro anaerobio, debido a que es especial en el tratamiento de aguas residuales domésticas con una remoción del DBO de más del 50% y es una opción económica para remover los contaminantes. Además, una laguna anaerobia y un digestor anaerobio convencional (sin mezcla) también funcionarían pues el río está muy contaminado con sólidos orgánicos y estas dos tecnologías ayudan a la estabilización de los sólidos.

2.9 Normatividad ambiental aplicada a los vertimientos de aguas residuales en Colombia.

Según el informe publicado por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (Superservicios) a finales del 2017, solo 541 municipios de los 1.122 registrados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (Dane) cuentan con algún tipo de sistemas de saneamiento. Es decir, solamente 42,8% de las aguas residuales urbanas son tratadas. Sin embargo, los datos disponibles en el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), del Ministerio de Vivienda, expresan que en el país aproximadamente el 96% de las aguas residuales generadas por actividades domésticas o industriales no son tratadas correctamente. En consecuencia, los impactos ambientales son inminentes en los cuerpos de aguas lo que incrementa también el daño potencial que estas pueden causar en la salud. (Saldaña,2020).

El tratamiento de aguas residuales en Colombia se ha convertido en uno de los problemas ambientales más críticos y crecientes. La descarga de aguas residuales domésticas y los vertimientos agropecuarios están contaminando los ríos, las aguas subterráneas, los humedales y las represas de agua, causando un grave daño al medio ambiente y a la salud humana. (Acuatecnica, 2017)

Las leyes a este respecto han significado un gran avance, pues han generado mayor conciencia de la importancia de mantener limpias las fuentes hídricas naturales del país. Sin embargo, la construcción de sistemas de tratamientos de aguas en Colombia es una práctica relativamente reciente. Colombia trata el 10% de las aguas residuales. (Acuatecnica, 2017)

Ante esta situación el gobierno nacional ha adoptado, la Resolución 0631 de 2015 reglamenta el artículo 28 del Decreto 3930 de 2010 y actualiza el Decreto 1594 de 1984 (vigente desde hace 30 años) respondiendo a la nueva realidad urbana, industrial y ambiental del país. Esta permite el control de las sustancias contaminantes que llegan a los cuerpos de agua vertidas por 73 actividades productivas presentes en ocho sectores económicos del país. (Ministerio de Ambiente, 2015)

Esta Resolución es de obligatorio cumplimiento para todas aquellas personas que desarrollen actividades industriales, comerciales o de servicios y que en el desarrollo de las mismas generen aguas residuales, que serán vertidas en un cuerpo de agua superficial o al alcantarillado público. (Ministerio de Ambiente, 2015)

Capítulo 3. Metodología para la definición de la longitud de influencia de vertimientos sobre corrientes de agua superficial

Se define el procedimiento necesario para la estimación de la longitud de influencia de los vertimientos sobre las corrientes receptoras directamente afectadas por las descargas de aguas residuales de los diferentes proyectos, se implementa esta metodología de acuerdo a la información recolectada y de las características hidrológicas, climatológicas, hidráulicas y de calidad del agua.

Esta metodología se compone de 5 pasos básicos, donde se estiman los diferentes factores y variables destinados a las reacciones determinantes para el cálculo de la distancia aguas abajo del punto de vertimiento sobre la corriente receptora.

Paso 1: Estimación del caudal ambiental.

Paso 2: Caracterización hidráulica de la corriente.

Paso 3: Caracterización de la calidad del agua del cuerpo receptor y del vertimiento.

Paso 4: Cálculo de factores de asimilación y de la longitud de influencia directa.

Paso 5: Cálculo de la carga total y recálculo de la LIV.

A continuación, se describe el procedimiento a tener en cuenta en cada uno de los pasos anteriormente mencionados.

3.1. Paso 1: Estimación del caudal ambiental.

El caudal ambiental es el volumen de agua por unidad de tiempo requerido para mantener la funcionalidad de los sistemas acuáticos continentales y su provisión de servicios ecosistémicos (ANDI, 2019), se estima el caudal de la corriente dependiendo de la información disponible así se tiene lo siguiente:

- En primer lugar, se tiene el caudal de manera aproximada por medio de la relación entre el Q10 (con caudales medios diarios), el Q95% (de la curva de duración CDC-medios diarios) y 0.25 veces el caudal medio mensual del mes más seco (QMM). Estos datos deben tener un mínimo de 10 años de información sometidos a previos análisis donde se tiene en cuenta la consistencia, homogeneidad y llenado, de estos valores el caudal ambiental aproximado será el valor máximo entre ellos.

- En segundo lugar, si no se dispone de la información anterior a nivel diario, el caudal se obtiene de la relación entre el Q95% (de la curva de duración CDC-medios mensuales) y 0.25 veces el caudal medio mensual del mes más seco (QMM). El caudal ambiental aproximado será el valor máximo entre ellos.

- Por último, si no se dispone de la información sobre los caudales, se pueden implementar diversos métodos de estimación de caudales indirectos, como las técnicas de regionalización, correlaciones hidrológicas, relaciones entre área y precipitación, entre otros.

3.2 Paso 2: Caracterización hidráulica de la corriente.

Por medio de ensayos, modelaciones hidráulicas e información de campo obtenida de aforos y levantamientos de secciones se definen los diferentes factores necesarios en la caracterización de la corriente, dentro de esta se tienen en cuenta elementos de estimación en función del tiempo, de igual forma se obtienen además características hidrodinámicas como velocidad media, velocidad máxima y profundidad del agua, estas características presentan variaciones en función del caudal y la geometría de la corriente. Igualmente se definen los elementos geométricos como área, ancho superficial, radio hidráulico y perímetro mojado. (ANLA, 2013)

Con todas estas características variantes se debe además obtener y analizar la curva de calibración en función del caudal donde se aprecie la variación del nivel agua, tomado desde un punto bajo de la sección, y la velocidad media, la cual de igual forma, varía en función de las condiciones de flujo. Con esto se logra establecer la relación entre la velocidad máxima y la velocidad media. De igual forma se deben obtener las curvas donde se relacione el caudal con los demás elementos geométricos antes mencionados.

Para realizar la curva de calibración velocidad media-caudal y la respectiva relación entre las velocidades máxima y media se utiliza el caudal ambiental obtenido en el paso 1, la fracción dispersiva DF se estima de acuerdo a ensayos o a través de la ecuación:

$$DF = 1 - \frac{v}{v_{max}}$$

3.3 Paso 3: Caracterización de la calidad del agua del cuerpo receptor y del vertimiento.

Para el cálculo de los factores necesarios en este paso se debe realizar un análisis de las condiciones de la calidad de agua conociendo la carga contaminante en la entrada del tramo y la concentración esperada al final del tramo. Se debe tener en cuenta que para la determinación de la longitud de influencia se usan los valores obtenidos de las condiciones más desfavorables, por esto los análisis de las condiciones representativas deben aportar las concentraciones más críticas del vertimiento sin tratamiento.

Al calcular la carga contaminante se analizan las características de calidad del agua antes de la inversión propuesta, de esta manera las muestras recogidas se monitorean teniendo las concentraciones y caudales máximos del vertimiento, éstas deben ser integradas siguiendo los lineamientos del IDEAM, de igual forma se monitorea los siguientes determinantes de calidad del agua:

- Oxígeno disuelto (mg/L O)
- Temperatura del agua (°C)

- NTK (mg/L N)
- DBO (mg/L O)
- Fósforo Total (mg/L P)
- Coliformes Fecales (NMP/100 mL)
- SST (mg/L)

Adicionalmente, si se analiza dentro del sector de hidrocarburos se deberán medir los siguientes:

- Fenoles totales (mg/L)
- Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) (mg/L)
- Metales pesados (Arsénico, Bario, Cadmio, Plomo, Mercurio, Selenio, Cromo, Vanadio) (mg/L)
- BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno) (mg/L)

De igual forma, si se analiza dentro del sector de la minería, se tiene en cuenta los mencionados al inicio, adicionalmente se deberán medir los siguientes determinantes:

- Fenoles totales (mg/L)
- Metales pesados (Arsénico, Bario, Cadmio, Plomo, Mercurio, Selenio, Cromo, Cobre, Cinc) (mg/L)
- Cianuros (mg/L)

Adicionalmente se deben definir concentraciones de calidad del agua según el sector, teniendo:

Carga a la entrada del tramo W = se realiza un balance entre la carga original W_o y la carga vertida W_v .

$$W = W_o + W_v$$

Sabiendo que la carga contaminante W es el producto entre el caudal vertido y la concentración de la sustancia vertida, se puede expresar de igual forma

$$W = Q_v * C_v$$

$$W = Q_{amb} * C_o + Q_v * C_v$$

Donde,

Q_{amb} = Caudal ambiental obtenido en el paso 1.

C_o = Concentración del determinante medido en la corriente original.

Q_v = Caudal máximo de vertimiento.

C_v = Concentración máxima esperada sin tratamiento del determinante específico.

La carga contaminante se calculará para cada determinante de calidad agua definido, en lo que se refiere a la concentración esperada aguas abajo “*Cest*”, esta se considera como el valor máximo entre las condiciones medidas y las condiciones dadas por las autoridades ambientales o

según las metas y objetivos de calidad. En caso de no contar con los datos correspondientes la concentración esperada será la condición medida sobre la corriente a la entrada del tramo.

3.4 Paso 4: Cálculo de factores de asimilación y de la longitud de influencia directa.

Se requiere el cálculo de los diferentes factores de asimilación para luego obtener la longitud de influencia indirecta.

3.4.1. Factor de asimilación. Se calculan dependiendo de cada determinante analizado, por lo cual se estima de acuerdo a los procesos físicos químicos y biológicos a los que se encuentra sometida la sustancia a analizar, en las toxicidades se tiene en cuenta las fracciones particuladas y disueltas.

3.4.2. Tasas de reacción de determinantes. Se tienen en cuenta diferentes tasas de reacción de cada determinante en esta metodología donde se modelan dependiendo de la calidad del agua, de manera resumida se involucran algunos donde se presentan valores de sedimentación de material particulado, en la siguiente tabla se muestran los procesos considerados.

Los valores del factor de asimilación se obtienen dividiendo la carga contaminante a la entrada del tramo K y la concentración esperada aguas abajo C_{est} , el subíndice i corresponde a cada determinante considerado, así el factor se describe como:

$$a_i = \frac{W_i}{C_{est i}}$$

El balance general para un determinante de calidad del agua, teniendo en cuenta el modelo ADZ-QUAZAR (Lees, M.J; Camacho; L.A.; Whitehead., 1998), donde se contempla la reacción de primer orden, estado estable y la dispersión longitudinal está dada por:

$$0 = \frac{1}{T_r} \left(\frac{W}{Q} e^{-kr} - c \right) - kc$$

Donde,

T_r = tiempo de residencia, tiempo que tarda una sustancia en ser dispersada expresada como la diferencia entre el tiempo medio y el tiempo de arribo $T_r = \bar{t} - \tau$

τ = tiempo de arribo, cociente entre la longitud del tramo y la velocidad máxima, donde,

$$\tau = L/V_{m\acute{a}x}$$

\bar{t} = Tiempo medio de viaje, se estima como el cociente entre la longitud del tramo y la velocidad media del agua, teniendo: $\bar{t} = L/\bar{v}$

Despejando se obtiene la concentración a la salida del tramo en función de la carga, teniendo:

$$C = \frac{e^{-kr}}{(1-kT_r)Q} W$$

Donde Q es el caudal de entrada obtenido de la suma del caudal ambiental y el caudal de vertimiento:

$$Q = Q_{amb} + Q_v$$

Teniendo en cuenta la relación entre los factores de asimilación y los balances de masa de cada determinante se puede deducir la relación entre, los tiempos de viaje, primer arribo y de residencia, así como la fracción dispersiva, obteniendo una única expresión de factor de asimilación:

$$a = [1 + DF * K \bar{t}] * e^{(1-DF)*K\bar{t}} * Q$$

Si en la expresión anterior el valor de asimilación es conocido se tiene una expresión iterativa con incógnita tiempo medio de viaje, lo cual da lo siguiente:

$$\bar{t}_{i+1} = \bar{t}_i - \frac{(1 + DF \cdot k \bar{t}_i) Q e^{(1-DF)k\bar{t}_i} - a}{k [1 + DF (1 - DF) k \bar{t}_i] Q e^{(1-DF)k\bar{t}_i}}$$

Al obtener los valores de la iteración y conociendo el tiempo de viaje medio, la longitud de influencia se calcula utilizando la velocidad media correspondiente al caudal ambiental calculado en el paso 1, con esto se tiene:

$$LIV = \underline{t} * \underline{v}$$

Esta longitud se calcula para cada determinante contemplado según la región analizada, la longitud definitiva se define como aquella sobre la cual la influencia es mayor, es decir, se escogerá la máxima de las calculadas

Tabla 1

Procesos de degradación y transformación considerados.

Determinantes	Procesos	Tasas de reacción (d^{-1})
Materia orgánica carbonácea (DBO)	Dispersión – advección, descomposición de la DBO kd, sedimentación de la materia orgánica particulada vs	$Kr = Kd + \frac{V_s}{H}$ (*)
Nitrógeno total Kjeldahl (NTK)	Dispersión – advección, nitrificación kn	K_n
Fósforo total	Dispersión – advección, hidrólisis kp	K_p
Coliformes Fecales	Dispersión – advección, decaimiento por muerte k'b	K_b
SST	Dispersión – advección, velocidad de sedimentación vss	$K_s = \frac{V_{ss}}{H}$ (*)
Oxígeno disuelto	Dispersión – advección, reaireación ka, descomposición DBO kd, nitrificación kn	K_a, K_d, K_n

(*) H es igual a la profundidad media del tramo

Nota: Procesos de degradación y transformación considerados en la metodología. Obtenido de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

Estos valores de tasas acuden a estimaciones realizadas en estudios de campo, literatura, modelaciones matemáticas y laboratorios, en esta metodología se recomienda el uso de valores medios de calidad del agua similares a los de la corriente bajo estudio. (ANLA, 2013)

A continuación, se definirán algunas de las tasas y se darán los parámetros necesarios en su cálculo.

3.4.2.1. Tasa de reaireación K_a . Se proponen las ecuaciones siguientes las caudales dependen del tipo de corriente y sus características hidrodinámicas, gracias a esto se tienen varios casos:

- Cuando la corriente es característica de montaña se recomienda utilizar la siguiente ecuación:

$$K_a = C * \frac{\Delta H}{t} \quad [12]$$

Donde,

ΔH = cambio de elevación de la superficie del agua (m).

T = tiempo medio (días).

C = constante que depende del caudal, varía según los siguientes rangos:

$$C = 0.36 \text{ para } 0.028 \leq Q \leq 0.28 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C = 0.177 \text{ para } 0.708 \leq Q \leq 85 \text{ m}^3/\text{s}$$

En la tabla 2 se presentan los valores a seleccionar para zonas con características de planicie de acuerdo a los rangos de velocidad media y profundidad.

Tabla 2

Ecuaciones y valores de reairección para ríos de planicie.

Parámetro	O' Connor – Dobbins	Churchill	Owens – Gibbs
Profundidad (m)	0.30 – 9.14	0.31 – 3.35	0.12 – 0.73
Velocidad media (m/s)	0.15 – 0.49	0.55 – 1.52	0.03 – 0.55
Expresiones	$K_a = 3.93 \frac{U^{0.5}}{H^{1.5}}$	$K_a = 5.026 \frac{U}{H^{1.67}}$	$K_a = 5.32 \frac{U^{0.67}}{H^{1.85}}$

Nota: Ecuaciones de reairección para ríos de planicie, donde H representa la profundidad media en metros y U es la velocidad media en m/s. obtenido de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

3.4.2.2. Tasa de desoxigenación o descomposición de la DBO k_d . Este valor se encuentra según Thomann y Mueller en un rango de 0.1 a 0.5 d^{-1} para zonas profundas (< 1.5m) y de 0.5 a 3.0 d^{-1} en zonas someras (>1.5m). Se utiliza la expresión propuesta por Wright y McDonell en la estimación de la tasa de descomposición de la DBO, la cual es:

$$K_d = 1.796 Q^{-0.49}$$

Donde:

$K_d =$ Se encuentra en d^{-1}

$Q =$ se encuentra en m^3/s

Para caudales comprendidos entre 0.3 y 23 m^3/s , así se tienen las siguientes características:

- Para ríos grandes, los valores encontrados en laboratorios son representativos, para propósitos de la metodología se puede suponer una constante de $0.30d^{-1}$.
- Teniendo en cuenta aspectos geomorfológicos, de calidad de agua e hidrológicos, se pueden encontrar valores más bajos.
- El valor máximo se puede suponer como $3. d^{-1.5}$

Si se tienen el perímetro mojado como elemento geométrico se puede calcular la tasa de descomposición con la siguiente ecuación:

$$K_d = 14.597 P^{-0.84}$$

3.4.2.3. Tasa de nitrificación k_n . Esta tasa comprende parámetros hidráulicos en su análisis propuesto por Bansal (1976), donde de acuerdo al autor la constante se encuentra definida en función del número de Reynolds y del número de Froude, teniendo la siguiente ecuación:

$$\text{Log} \left(\frac{K_n * H^2}{\nu} \right) = -3.421 + 1.36 \text{Log} \left(\frac{\sqrt{g * H^3}}{\nu} \right) \quad [15]$$

Donde,

H = Profundidad media del agua del tramo (m).

g = aceleración de la gravedad.

Kn = tasa de nitrificación en S^{-1} .

V = Viscosidad cinemática del agua (m²/s).

Por otra parte, se pueden tomar los datos ya estudiados tomados de (Medina, M. P., 2009), donde se presentan los diferentes valores de tasa de nitrificación según el río.

Río	$k_n [d^{-1}]$	Profundidad (m)	Reportado en
Mine Brook	8.00	0.2	Tuffey et al. (1974)
Barge	0.25	3.9	Bansal (1976)
Upper Mohawk	0.25	3.66	Bansal (1976)
Upper Mohawk	0.30	0.96	Bansal (1976)
Upper Mohawk	0.25	2.51	Bansal (1976)
Middle Mohawk	0.30	3.81	Bansal (1976)
Lower Mohawk	0.30	4.25	Bansal (1976)
Seneca River	0.05	6.24	Canale et al. (1995), y J.J. Pauer, M.T. Auer, (2009)
Trinity	0.51	1.53	McCUTCHEON (1987)
Ohio	0.25	8.15	Bansal (1976)
Flint	1.53	0.66	Bansal (1976) y O'Connor y Di Toro (1970)

Figura 11. Tasas de nitrificación reportadas por Pauer y Auer (2009, tomado de Medina, 2009).

Obtenido de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

Shenadoha	1.25	0.6	Deb y Bowers (1983) Deb (1985)
Shenadoha	0.2	1.74	Deb y Bowers (1983) Deb (1985)
Holston	0.23	1.3	Ruane and Krenekel (1977)
Grand	1.90	0.58	Bansal (1976) y O'Connor y Di Toro (1970)
Chattahoochee	0.25	1.5	McCUTCHEON (1987), Miller y Jennings (1979)
Sittl	0.70	0.64	Curtis (1983) y Maueger (1995)
Trukee	2.40	0.51	Bansal (1976) y O'Connor y Di Toro (1970)
Willamette	0.70	1.6	Dunnette y Avedovech (1983), Cooper (1985)
Anacostia	0.13	4	Sullivan y Brown (1988)
Speed	2.30	0.43	Gowda (1983)
Ootanaula	0.80	0.61	Cooper (1986)
Sweetwater	0.80	0.46	Cooper (1986)
Trace	2.20	0.46	Cooper (1986)
Mud	0.50	1	Cooper (1986)
Oroua	6.70	0.25	Cooper (1986)
Waiotapu	2.80	0.61	Cooper (1986)
Waiohewa	5.90	0.3	Cooper (1986)
Big Blue	0.12	1.25	Bansal (1976)
South Chickamauga	6.60	0.84	Cooper (1986)

Figura 12. Tasas de nitrificación reportadas por Pauer y Auer (2009, tomado de Medina, 2009).

Obtenido de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

Los valores se encuentran en un rango que va de 0.1 a 0.5 para aguas profundas, para zonas someras se tienen valores por encima de 1

3.4.2.4. Velocidades de sedimentación vs y vss. Se utilizan valores indicados en tabla, obtenidos de acuerdo a (Wetzel, 1975) (Chapra, 1997) según el tipo de partícula se tienen los valores de la velocidad de sedimentación de materia orgánica particulada V_s y de sólidos suspendidos V_{ss}

Tabla 3

Velocidades de sedimentación medidas para diferentes tipos y tamaños de partículas

Tipo de partícula	Diámetro (μm)	Velocidad de sedimentación (m d^{-1})
Carbono orgánico particulado	1-10	0.2
	10-64	1.5
	>64	2.3
Arcilla	2-4	0.3-1
Limo	10-20	3-30

Nota: Velocidades de sedimentación medidas para diferentes tipos y tamaños de partículas, Wetzel, 1975; Burns y Rosa, 1980, tomado de Chapra, 1997. Obtenido de: Autoridad nacional de licencias ambientales (ANLA).

En sedimentos no cohesivos, las velocidades se comportan de diferente forma, por esto los valores se pueden obtener mediante siguiente figura, donde se relacionan estas velocidades con el tamaño de la partícula (Ji, Z.G., 2008).

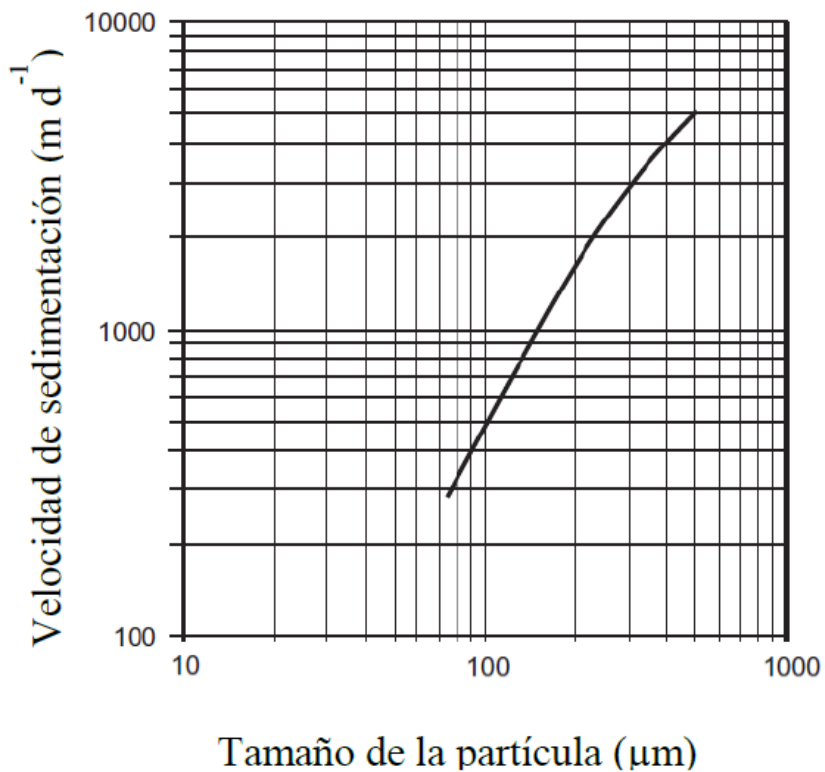


Figura 13. Velocidad de sedimentación para sedimentos no cohesivos, basada en Cheng, 1997, tomado de Ji, 2008). Obtenido de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

De igual forma, se tienen ecuaciones empíricas en función de la concentración y la turbulencia, como la propuesta por Dyer (2000)

$$V_{ss} = -0.243 + 0.000567 S + 0.981 G - 0.0934 G^2$$

Donde,

$$G = \text{Parámetro de intensidad de turbulencia } G = \sqrt{\frac{gUS_0}{\nu}}$$

Teniendo,

S = Concentración de sedimentos (g/L).

U = Velocidad media del agua (m/s).

g = Aceleración de gravedad (m²/s).

So = Pendiente longitudinal del tramo evaluado.

V = Viscosidad del agua (m²/S)

De igual forma según Thomann y Mueller (1987) se propone la siguiente ecuación teniendo en cuenta la ley de Stokes:

$$V_s = 0.033634\alpha(\rho_s - \rho_w)d^2$$

Donde,

V_s = Velocidad de sedimentación en m d⁻¹

P_s = densidad de la partícula

P_w = Densidad del agua en g/cm³

D = Diámetro de partícula en μm.

V = viscosidad del agua, valor constante de 0.014 g cm⁻¹ s⁻¹.

α = efecto de forma, valor adimensional.

3.4.3. Estimación de tasas de reacción de metales pesados y sustancias tóxicas. En este caso se evaluarán 3 mecanismos de depuración los cuales son: advección – dispersión, adsorción y volatilización, en estos casos es muy importante analizar las partículas particuladas y disueltas.

3.4.3.1. Fracciones y coeficientes de partición. La concentración total de la sustancia se define como la suma de los componentes partículas y disuelto del contaminante, expresándose de la siguiente manera:

$$C = C_d + C_p \quad \square \quad C_d = F_d * C \quad \text{y} \quad C_p = F_p * C$$

Donde,

C_p = Componente particulado.

C_d = Componente disuelto.

F_d = Fracciones disueltas, depende de la partición del contaminante K_d (m^3g^{-1}) y de la concentración SST (gm^{-3}).

$$F_d = \frac{1}{1 + K_d SST}$$

F_p = Fracciones particuladas, depende de la partición del contaminante K_d (m^3g^{-1}) y de la concentración SST (gm^{-3}).

$$F_p = \frac{K_d SST}{1 + K_d SST}$$

Si se relacionan se tiene que $F_p + F_d = 1$

Con esto y según Chapra (1997) se tiene la formular para hallar los coeficientes de partición en función del contenido orgánico:

$$Kd = f_{oc} K_{oc}$$

Donde,

K_{oc} = Coeficiente de partición de carbón orgánico, se estima a partir del coeficiente de partición agua – octanol K_{ow}

$$K_{oc} = 6.17 \times 10^{-7} K_{ow}$$

f_{oc} = Fracción en peso del carbono total.

Con las ecuaciones y teniendo un $f_{oc} = 0.05$ se obtiene:

$$Kd = 3.085 \times 10^{-8} K_{ow}$$

3.4.3.2. Velocidad de volatilización v_v . Para el cálculo de este factor se utilizan las constantes de Henry h_e y coeficientes de transferencia, según la figura siguiente se puede encontrar el valor de la constante He para las diferentes sustancias tóxicas. (Chapra, 1991)

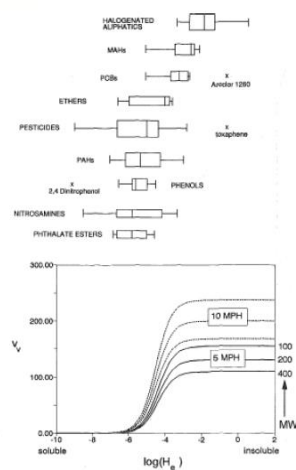


Figura 14. Gráfica de velocidad de volatilización contra constante de Henry (Chapra, 1991).

Obtenido de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

Se tienen entonces varios coeficientes de transferencia, con los cuales se puede hallar lo siguiente:

Coeficiente de transferencia en interfaz líquido – gas Kl

$$Kl = K_{lo_2} \left(\frac{32}{M}\right)^{0.25} \quad [24]$$

Donde,

M = Peso molecular (g/mol)

Klo2 = Coeficiente de transferencia de oxígeno

$$K_{lo_2} (md^{-1}) = K_a * H \quad [25]$$

Coeficiente de transferencia lámina – gas Kg

$$Kg = 168W \left(\frac{18}{M}\right)^{0.25} \quad [26]$$

Donde,

W = velocidad de viento (m/s)

Con todos estos valores se tienen entonces la velocidad de volatilización Vv como:

$$Vv = K_L \frac{H_e}{H_e + RT_a \left(\frac{K_L}{K_g}\right)} \quad [27]$$

Donde,

R = constante de gas universal = $8.206 \times 10^{-5} atm m^3 (K mol)^{-1}$

Ta = Temperatura absoluta del agua.

3.4.4. Tabla compilatoria de factores de asimilación. A partir de las fórmulas vistas anteriormente, se definen los diferentes factores de asimilación tenidos en cuenta en el análisis de la calidad del agua y sus determinantes.

Tabla 4

Factores de asimilación para los determinantes de calidad del agua considerados en la metodología

Determinante	Factor de asimilación
Oxígeno disuelto (mg/L O)	$a_{OD} = \left[\frac{1 + DF \cdot k_a \bar{t}_{OD}}{e^{-k_a(1-DF)\bar{t}_{OD}} + \xi \cdot DF \cdot \bar{t}_{OD}} \right] Q$ $\xi = k_a \frac{O_s}{OD_u} - 4.57k_n \frac{NTK}{OD_u} - k_d \frac{DBO}{OD_u}$ $O_s = [14.652 - 0.41022T + 0.0079910T^2 - 0.00007774T^3] (1 - 0.1148Alt)$
DBO (mg/L O)	$a_{DBO} = \left[(1 + DF \cdot k_r \bar{t}_{DBO}) e^{(1-DF)k_r \bar{t}_{DBO}} \right] Q$
NTK (mg/L N)	$a_{NTK} = \left[(1 + DF \cdot k_n \bar{t}_{NTK}) e^{(1-DF)k_n \bar{t}_{NTK}} \right] Q$
Fósforo Total (mg/L P)	$a_{PT} = \left[(1 + DF \cdot k_p \bar{t}_{PT}) e^{(1-DF)k_p \bar{t}_{PT}} \right] Q$
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	$a_{CF} = \left[(1 + DF \cdot k'_b \bar{t}_{CF}) e^{(1-DF)k'_b \bar{t}_{CF}} \right] Q$
SST (mg/L)	$a_{SST} = \left[(1 + DF \cdot k_s \bar{t}_{SST}) e^{(1-DF)k_s \bar{t}_{SST}} \right] Q$ $k_s = \frac{v_{ss}}{H}$
Fenoles (mg/L)	$a_F = \left[(1 + DF \cdot k_F \bar{t}_{DBO}) e^{(1-DF)k_F \bar{t}_{DBO}} \right] Q$ $k_F = \frac{v_{vF}}{H} F_{dF}$

Benceno (mg/L)	$a_B = \left[(1 + DF \cdot k_B \bar{t}_B) e^{(1-DF)k_B \bar{t}_B} \right] Q$ $k_B = \frac{v_{sB}}{H} F_{pB} + \frac{v_{vB}}{H} F_{dB}$
Tolueno (mg/L)	$a_T = \left[(1 + DF \cdot k_T \bar{t}_T) e^{(1-DF)k_T \bar{t}_T} \right] Q$ $k_T = \frac{v_{sT}}{H} F_{pT} + \frac{v_{vT}}{H} F_{dT}$
Etilbenceno (mg/L)	$a_E = \left[(1 + DF \cdot k_E \bar{t}_E) e^{(1-DF)k_E \bar{t}_E} \right] Q$ $k_E = \frac{v_{sE}}{H} F_{pE} + \frac{v_{vE}}{H} F_{dE}$
Xileno (mg/L)	$a_X = \left[(1 + DF \cdot k_X \bar{t}_X) e^{(1-DF)k_X \bar{t}_X} \right] Q$ $k_X = \frac{v_{sX}}{H} F_{pX} + \frac{v_{vX}}{H} F_{dX}$
HAP (mg/L)	$a_{HAP} = \left[(1 + DF \cdot k_{HAP} \bar{t}_{HAP}) e^{(1-DF)k_{HAP} \bar{t}_{HAP}} \right] Q$ $k_{HAP} = \frac{v_{sHAP}}{H} F_{pHAP} + \frac{v_{vHAP}}{H} F_{dHAP}$
Arsénico (mg/L)	$a_{As} = \left[(1 + DF \cdot k_{As} \bar{t}_{As}) e^{(1-DF)k_{As} \bar{t}_{As}} \right] Q$ $k_{As} = \frac{v_{sAs}}{H} F_{pAs}$
Bario (mg/L)	$a_{Ba} = \left[(1 + DF \cdot k_{Ba} \bar{t}_{Ba}) e^{(1-DF)k_{Ba} \bar{t}_{Ba}} \right] Q$ $k_{Ba} = \frac{v_{sBa}}{H} F_{pBa}$
Cadmio (mg/L)	$a_{Cd} = \left[(1 + DF \cdot k_{Cd} \bar{t}_{Cd}) e^{(1-DF)k_{Cd} \bar{t}_{Cd}} \right] Q$ $k_{Cd} = \frac{v_{sCd}}{H} F_{pCd}$

Plomo (mg/L)	$a_{Pb} = \left[(1 + DF \cdot k_{Pb} \bar{t}_{Pb}) e^{(1-DF)k_{Pb}\bar{t}_{Pb}} \right] Q$ $k_{Pb} = \frac{v_{sPb}}{H} F_{pPb}$
Mercurio (mg/L)	$a_{Hg} = \left[(1 + DF \cdot k_{Hg} \bar{t}_{Hg}) e^{(1-DF)k_{Hg}\bar{t}_{Hg}} \right] Q$ $k_{Hg} = \frac{v_{sHg}}{H} F_{pHg} + \frac{v_{vHg}}{H} F_{dHg}$
Selenio (mg/L)	$a_{Se} = \left[(1 + DF \cdot k_{Se} \bar{t}_{Se}) e^{(1-DF)k_{Se}\bar{t}_{Se}} \right] Q$ $k_{Se} = \frac{v_{sSe}}{H} F_{pSe}$
Cromo (mg/L)	$a_{Cr} = \left[(1 + DF \cdot k_{Cr} \bar{t}_{Cr}) e^{(1-DF)k_{Cr}\bar{t}_{Cr}} \right] Q$ $k_{Cr} = \frac{v_{sCr}}{H} F_{pCr}$
Cobre (mg/L)	$a_{Cu} = \left[(1 + DF \cdot k_{Cu} \bar{t}_{Cu}) e^{(1-DF)k_{Cu}\bar{t}_{Cu}} \right] Q$ $k_{Cu} = \frac{v_{sCu}}{H} F_{pCu}$
Zinc (mg/L)	$a_{Zn} = \left[(1 + DF \cdot k_{Zn} \bar{t}_{Zn}) e^{(1-DF)k_{Zn}\bar{t}_{Zn}} \right] Q$ $k_{Zn} = \frac{v_{sZn}}{H} F_{pZn}$
Vanadio (mg/L)	$a_V = \left[(1 + DF \cdot k_V \bar{t}_V) e^{(1-DF)k_V\bar{t}_V} \right] Q$ $k_V = \frac{v_{sV}}{H} F_{pV}$
Cianuros (mg/L)	$a_{CN} = \left[(1 + DF \cdot k_{CN} \bar{t}_{CN}) e^{(1-DF)k_{CN}\bar{t}_{CN}} \right] Q$

Nota: T es la temperatura del agua (°C), Alt la altitud promedio del tramo (km), ODu la concentración de oxígeno disuelto calculada a la entrada del tramo (aguas abajo del vertimiento). Las concentraciones de NTK y DBO son las definidas a la salida del tramo. Obtenido de: Autoridad nacional de licencias ambientales (ANLA).

3.5. Paso 5. Cálculo de la carga total y re-cálculo de la LIV

En este paso se recalcula la longitud obtenida en el paso anterior, como se desarrolla por medio de iteraciones la carga contaminante W a la entrada del tramo debe ser re calculada asumiendo valores de otras entradas y salidas del tramo, por ende, las condiciones hidráulicas obtenidas variaron y se realizará una nueva iteración, esto se realiza de nuevo sumando o restando a la Carga W obtenida en la primera iteración y con esto se obtiene la longitud de influencia del tramo acotado. (ANLA, 2013).

Capítulo 4. -Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales.

Hay una gran diversidad de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, pero estas deben ser escogidas teniendo en cuenta la realidad local. Se puede confirmar que en los países en desarrollo el número de tecnologías posibles puede estar limitado por la existencia de normatividad ambiental más exigente; mientras que en los países desarrollados el número de iniciativas tecnológicas para el tratamiento de aguas residuales es más amplio debido a diferentes estándares de calidad. (Von Sperling, 1996) Teniendo en cuenta que el propósito del tratamiento de agua residual es el de remover el material contaminante, orgánico e inorgánico el cual puede presentarse ya sea en partículas en suspensión o disueltas, de manera que se busca llegar a calidad de agua según la normativa establecida. (Noyola, Morgan & Güereca, 2003)

Por tanto, para llevar a cabo la tarea de implementar una tecnología para el tratamiento de las aguas residuales, hay que tener presente aspectos como cuánta energía, reactivos químicos, infraestructura, entre otros, necesitará dicha tecnología para integrarse al sistema de tratamiento y lógicamente el costo de la misma. Entonces, estas tecnologías se presentan de acuerdo a Noyola, Morgan y Güereca, (2003) en dos grupos, con respecto a si es un tratamiento fisicoquímico o biológico. El tratamiento fisicoquímico se relaciona con procesos físicos como el uso de la filtración por retención física, la gravedad o atracción electrostática, y los procesos químicos como la precipitación, adsorción, oxidación y coagulación. Por otra parte, el tratamiento biológico se relaciona con la degradación o transformación del material orgánico a través de microorganismos.

Este tratamiento biológico involucra los sistemas aerobios, anaerobios y sistemas naturales construidos. Recordemos que el sistema aeróbico utiliza oxígeno molecular y los anaeróbicos no utilizan oxígeno. Sin embargo, Noyola, Morgan y Güereca, (2003) expresan que “es necesario hacer notar que la oferta tecnológica en el mercado es amplia y se presenta bajo distintos nombres o denominaciones que en ocasiones tiene el carácter de marcas registradas.” (p. 9) Por tanto, a continuación, se presenta la clasificación esquemática de los procesos para el tratamiento de las aguas residuales.

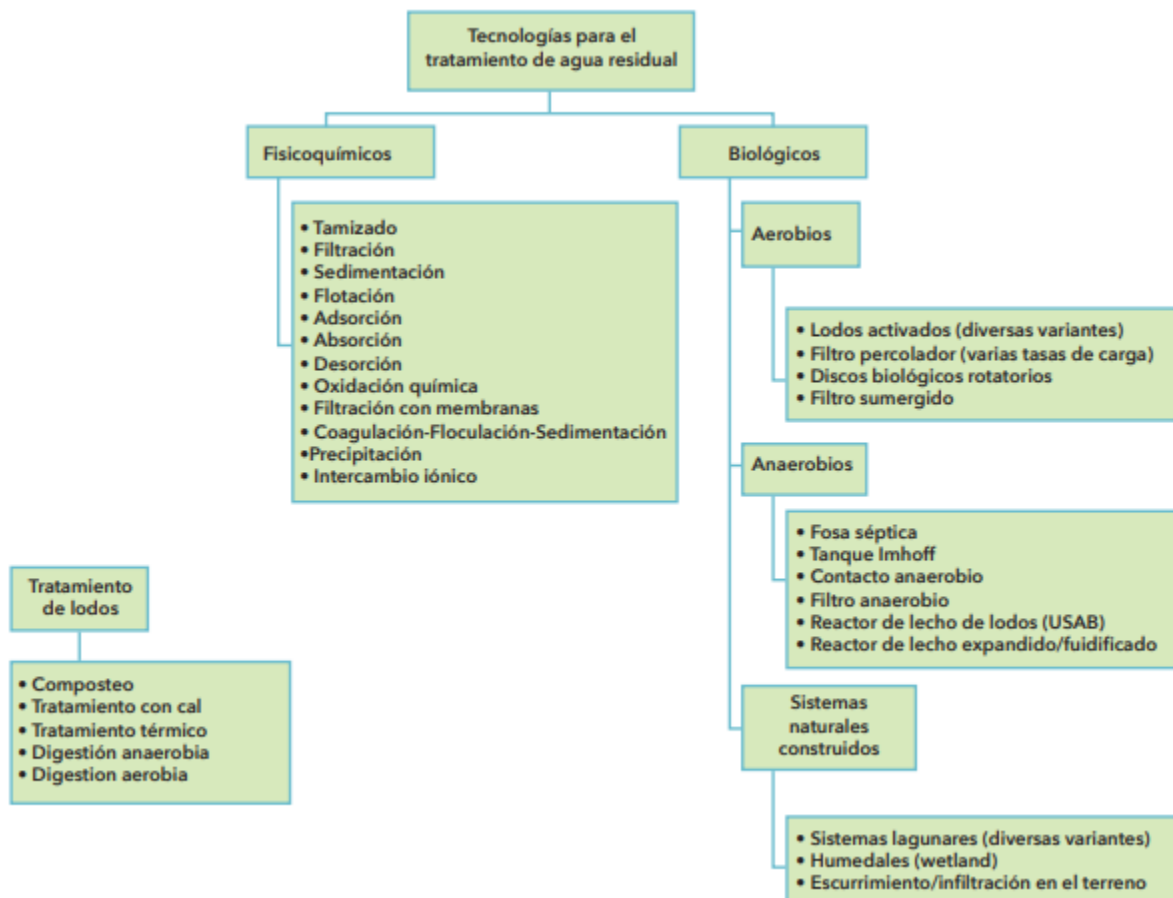


Figura 15. Clasificación esquemática de los procesos para el tratamiento de las aguas residuales.

(2003) Obtenido de: http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf

Es evidente pues, que hay variedad en cuanto a las operaciones y procesos unitarios para el tratamiento de agua residual, por ello Noyola, Morgan y Güereca, (2003) realizan una integración en cuanto al tratamiento de estas aguas por medio de la siguiente figura.



Figura 16. Ejemplos de integración de trenes de tratamiento de aguas residuales. (2003) Obtenido de:

http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf

Pero antes de implementar una tecnología, hay unos niveles de tratamiento dentro de un sistema de tratamiento de aguas residuales, donde se da inicialmente un tratamiento preliminar, donde ocurre la eliminación de los componentes que puedan provocar dificultades operacionales y de mantenimiento, es decir, en este nivel preliminar se eliminan rocas, plásticos, ramas, entre otros, por medio de rejillas, desarenadores u otros. Seguidamente se da un tratamiento primario donde una parte de los sólidos y materia orgánica suspendida es removida del agua residual haciendo uso de la fuerza de gravedad y sedimentación. En el tratamiento secundario se elimina la materia orgánica biodegradable a través de medios biológicos, de manera que los contaminantes se transforman por los microorganismos en materia celular dando energía a sus metabolismos. El tratamiento terciario tiene que ver con la eliminación de compuestos sólidos suspendidos, nutrientes y materia orgánica remanente no biodegradable. Finalmente se da un

tratamiento y disposición del lodo, siendo este un factor importante el cual puede realizarse ya sea de forma anaerobia o aerobia, el composteo, entre otros. (Noyola, Morgan & Güereca, 2003)

4.1 Tecnología para el tratamiento de aguas residuales con procesos aerobios.

A la hora de escoger una tecnología para el tratamiento de aguas residuales, se debe escoger inicialmente que proceso seguir, por lo que a continuación se mostrarán tecnologías relacionadas con los procesos aerobios.

4.1.1 Sistemas de lagunas. Este sistema realiza una simbiosis entre bacterias y algas aprovechando la degradación de la materia orgánica, donde inicialmente se consume la materia orgánica y el oxígeno produciendo CO₂, y las algas consumen el CO₂, y producen oxígeno. (Noyola, Morgan & Güereca, 2003) Esto genera el método de lagunas de estabilización, el cual es uno de los más usados debido a su facilidad. Consiste en excavaciones de baja profundidad aledañas a taludes en tierra. Estas lagunas logran abatir la concentración de microorganismos patógenos. Se caracterizan por ser cuadradas o rectangulares. (Rodríguez, 2008) Su principal función es:

- Eliminar la materia orgánica de las aguas residuales.
- Disminuir el crecimiento de microorganismos patógenos que son perjudiciales para la salud.
- Disponer sus afluentes, con distintos enfoques, como agricultura.

Por su lado, la Comisión Nacional del Agua (2007) expresa que las lagunas de estabilización aerobias son depósitos grandes de poca profundidad donde los microorganismos se hallan en suspensión y prevalecen con el oxígeno el cual se suministra de manera natural por la aeración de la superficie artificial o debido a la fotosíntesis de las algas, y este oxígeno que ellas liberan, las bacterias lo usan para la degradación de la materia orgánica. Sin embargo, esta tecnología requiere de un terreno amplio, de experiencia en el diseño y la construcción y tiene un costo elevado, además de que el lodo utilizado necesita de una buena remoción y tratamiento y puede generar malos olores, por lo tanto, no es una buena opción.



Figura 17. Lagunas de estabilización. (2003) Obtenido de: http://www.pronaturasur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf

4.1.1.1. Ejemplo de sistema de lagunas. En el sistema de lagunas es muy utilizada las lagunas de estabilización, por lo que es una alternativa que se acerca en cuanto a reunir condiciones económicas por su bajo costo y por su fácil construcción y operación, aunque presenta dificultades de funcionamiento como la remoción de organismos presentes no

esperados. Sin embargo, en Colombia se ubica un sistema de lagunas de estabilización en el municipio de Santa Fé de Antioquia, está situado en la margen derecha de la vía que llega a Medellín, entre ésta y el caño La Maquea, el área es relativamente plana. Cuenta con las siguientes estructuras; estructura de alivio, canal de rejillas, desarenadores, cámara de repartición de caudales, laguna anaerobia, lagunas facultativas y una cámara de medición de caudal. (Correa, 2008)

El tratamiento de aguas residuales domésticas a través de estas lagunas de estabilización es “relativamente grandes y de poca profundidad, provistas de estructuras en tierra abiertas al sol y al aire y cuyo fin es el de lograr el tratamiento de las aguas residuales a través de procesos naturales, pero controlados.” (Correa, 2008, p. 21) Esta tecnología busca remover de las aguas residuales la materia orgánica que causa la contaminación en la fuente receptora y así eliminar los microorganismos patógenos que son un peligro para la salud. Por tanto, esta tecnología parece simple pero sus mecanismos de purificación son más complejos.

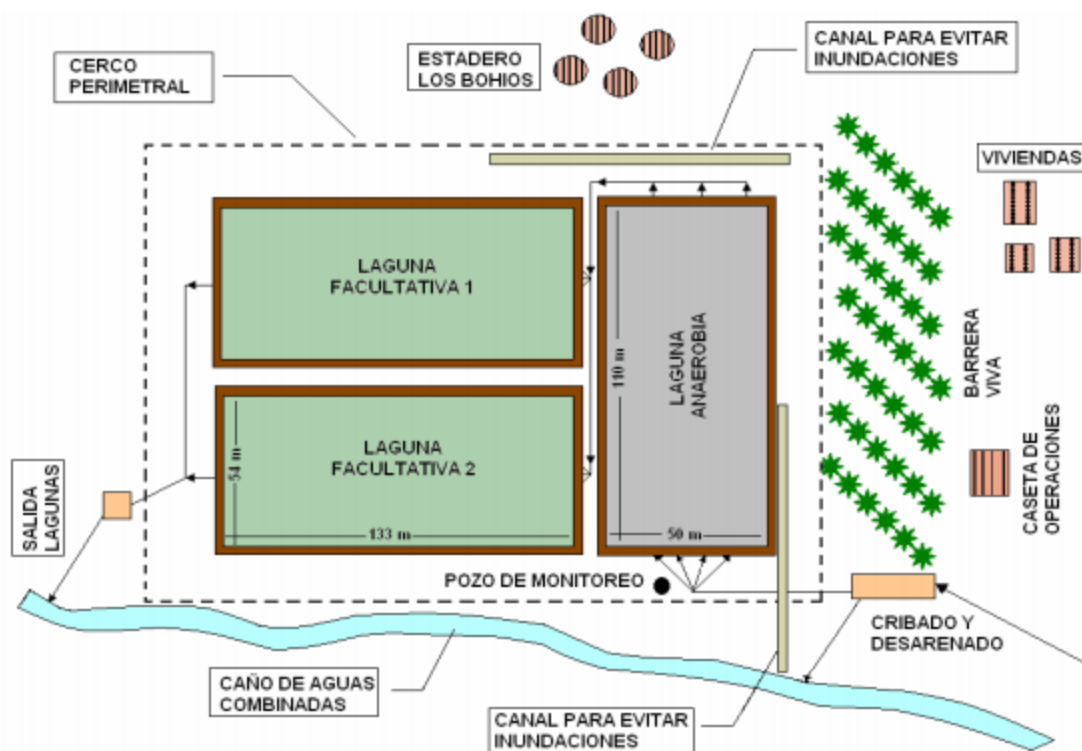


Figura 18 . Esquema general de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Santa Fe de Antioquia. (2008) Obtenido de:

<http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/50/1/EvalMonitStmaLagunasStfeAnt.pdf>

4.1.2 Proceso de lodos activados. Es uno de los procesos más utilizados para el tratamiento de aguas residuales, es usado cuando las aguas residuales se pueden someter a un tratamiento biológico. Siendo un proceso muy cuidadoso que requiere supervisión técnica, con un exhaustivo seguimiento de laboratorio. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000) Lo ventajoso de este proceso es que se realiza en un solo tanque, con dispositivos para dar aeración, sedimentación y mezclado. Según Noyola, Morgan & Güereca, (2003) expresan que “en los procesos de lodos activados, los microorganismos se encuentran mezclados con la materia orgánica que digerirán para reproducirse y sobrevivir.” (p. 18) Que al mezclarse se agrupan y

forman una masa activada de microorganismos que es llamado lodo activado y esta mezcla con el agua residual se le llama licor mezclado y este fluye por el tanque haciendo que el lodo activado se sedimente.

Por tanto, el sistema de lodos activados se fundamenta en utilizar microorganismos que van creciendo en el agua residual hasta que llega a ser materia orgánica disuelta en nuevas bacterias. Esta tecnología se compone de un reactor o el tanque de aireación donde los microorganismos están aireados y en suspensión, luego está la fuente de aireación que transfiere el oxígeno, después está el sistema de separación de sólidos para separar los sólidos biológicos, seguidamente está el sistema de tuberías y la bomba para hacer recircular los sólidos biológicos del sedimentador al reactor y finalmente está la tubería de desecho que también se llama purga de lodos. (Valdivielso, 2021)



Figura 19. Figura 18. Lodos activados. (2003) Obtenido de: http://www.pronaturasur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf

4.1.2.1 Ejemplo de proceso de lodos activados. La planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Bojacá, Cundinamarca en Colombia, tiene un sistema de zanjón de oxidación, constituida por una cámara de entrada, una compuerta que deriva el agua y de ahí se alimentan dos desarenadores de allí el agua fluye por un canal que tiene una rejilla y de ahí el agua pasa al zanjón que tiene tres unidades de aireación. Seguidamente se pasa a un sedimentador que deriva el agua a dos lechos de secado y finalmente el agua sale a la laguna el juncal, donde hay un sistema de rebose alcanzando un volumen máximo para desembocar al río Bojacá. (González & Gómez, 2016)

Es importante mencionar que esta planta de tratamiento con el sistema de zanjón de oxidación, “es un proceso de lodos activados con mezcla completa, del tipo de aireación extendida, el cual utiliza un canal o varios canales concéntricos y de recirculación como tanque de aireación y mezcla.” (González & Gómez, 2016, p. 51) Con un buen diseño de un zanjón de oxidación, se provee remociones promedio de demanda biológica de oxígeno y sólidos suspendidos mayores del 85% en las aguas residuales municipales y puede hacer un nivel alto de nitrificación. (González & Gómez, 2016) Asimismo, el proceso de lodos activados tiene unos elementos esenciales como lo son la aireación de aguas residuales en presencia de microorganismos aerobios, así como la eliminación de los sólidos biológicos de las aguas residuales a través de la sedimentación, y de esta manera se acomodó el reciclado de esos sólidos en el agua residual aireada.

4.1.3 Filtros percoladores. Este sistema presenta un material de empaque que filtra las aguas residuales reteniendo la materia orgánica disuelta, según Noyola, Morgan y Güereca,

(2003) este “es un dispositivo que pone en contacto a las aguas residuales con microorganismos adheridos en forma de biopelícula a un empaque, suficientemente espaciado para que circule el aire en forma natural.” (p. 20) Estos filtros funcionan con distintas cargas orgánicas y superficiales en función de la presencia o no de recirculación y esta depende de la cantidad de agua tratada que retorna a la entrada de la carga orgánica y superficial utilizada en el reactor. También se presenta que la aireación se da por convección natural, donde el aire fluye a través del medio empacado por las distintas temperaturas entre el ambiente interno y exterior del reactor, por ello es que no usa sistemas de aireación que consumen energía y por ende se pueden obtener remoción de contaminantes con eficacia.

Es decir, que utiliza cultivos fijos no sumergidos y se constituye por material plástico de alta superficie donde se desarrolla y adhiere el cultivo biopelícula y el agua residual pretratada se rocía sobre el filtro donde las bacterias degradan la contaminación. Por tanto, estos lechos de bacterias tienen un funcionamiento estable, son fáciles de explotar, no necesitan la recirculación de lodos y la demanda de energía es baja en comparación con los procesos de fangos. Pero es importante que antes de este proceso el agua esté con un tratamiento primario y es imprescindible la entrada de aire para el éxito del proceso. (GEDAR, 2021)

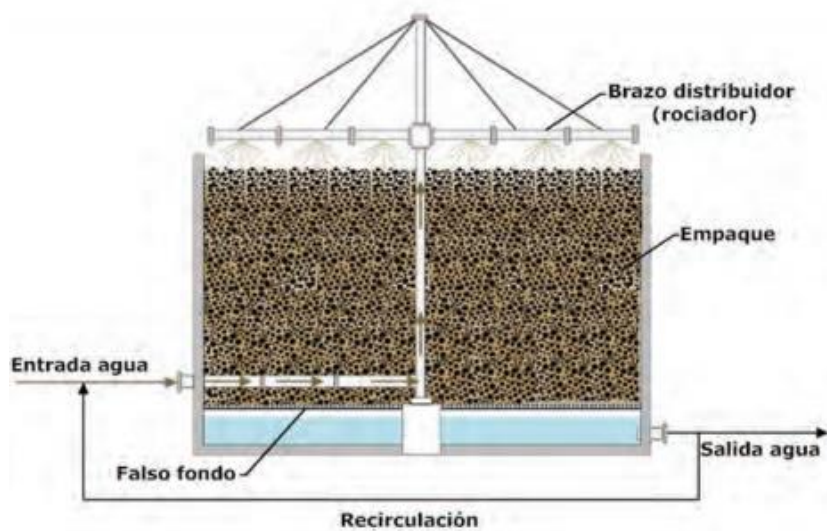


Figura 20. Esquema de un filtro percolador. (2003) Obtenido de: http://www.pronaturasur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf

4.1.3.1. Ejemplo de Filtros percoladores. En Guatemala, la Universidad de San Carlos (USAC) tiene su propia planta de tratamiento de aguas residuales con procesos de tratamiento físicos y biológicos, este último utiliza un filtro percolador, constituido por tres etapas y dispuesto en serie, cada una de las etapas tiene las mismas dimensiones y utiliza piedra volcánica como medio filtrante. (Ramírez, 2012) La planta de la USAC es capaz de lograr eficiencias mayores al 90% en la remoción de la materia orgánica y la demanda biológica de oxígeno. Esta estructura se llena a una profundidad definida con un material de soporte y luego el agua se agrega allí distribuyéndose en la parte superior y se recolecta la parte inferior. La degradación de la materia orgánica se da por los microorganismos. (Ramírez, 2012)

En esta planta de tratamiento de la USAC entra un caudal de agua residual de 17 l/s, el lugar donde se encuentra tiene una topografía irregular y esto permite aprovechar la fuerza de

gravedad para el movimiento del agua residual en las unidades de proceso. (Ramírez, 2012)

Tiene como unidades de tratamiento una cámara de ingreso, una rejilla separadora, un canal desarenador, un sedimentador primario, un filtro percolador, tres etapas en serie, un sedimentador secundario y un digestor de lodos y patio de secado. El esquema es el siguiente:

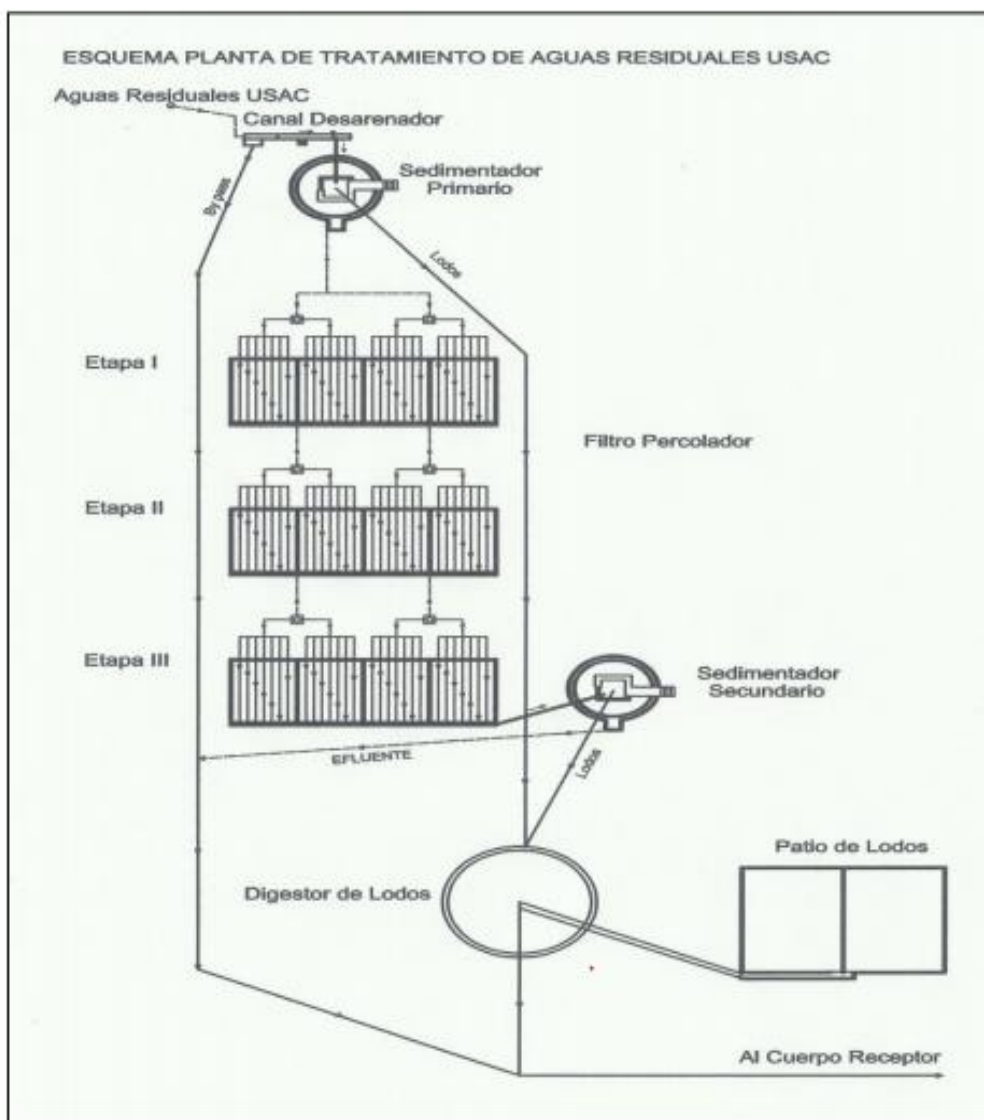


Figura 21. Esquema de la Planta Tratamiento de Aguas Residuales de la USAC. (2012)

Obtenido de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0414_MT.pdf

El uso de estos filtros percoladores es una alternativa importante en el diseño y construcción de las plantas de tratamiento de agua residual, con alta eficiencia y estabilidad en la materia orgánica, además no tiene costos muy altos y su operación y mantenimiento es simple. Según Ramírez, (2012) estos filtros “son biorreactores que por medio de una capa o película de microorganismos adheridos a un medio permeable permite la depuración, eliminación de la materia orgánica, de agua residual de forma aeróbica y que percola a través del medio.” (p. 15) Estos filtros han sido utilizados durante mucho tiempo para el tratamiento biológico aerobio de las aguas residuales ya sea de origen industrial o doméstico.

4.1.4 Sistemas de discos biológicos rotatorios. Este sistema es también llamado biodisco, y se basa en un empaque circular giratorio donde se encuentra la biomasa adherida y el disco rota sobre su eje lentamente con un 40% de su superficie sumergida en el agua residual y el resto entra en contacto con el aire, donde la biopelícula interacciona con el aire y el agua en forma sucesiva. Seguidamente el agua pasa a un sedimentador secundario y allí se separa la biopelícula desprendida, “que constituye los lodos de purga del sistema y que hay que tratar antes de su disposición final.” (Noyola, Morgan & Güereca, 2003, p. 21) Este proceso no requiere recirculación, tiene un costo reducido y se estabiliza la materia orgánica, al estar expuesto al oxígeno. El empleo de oxígeno y la depuración de la materia orgánica se origina mientras el sistema gira a través del agua residual, contenida en un tanque de concreto. (Deloya, 2001) Esta tecnología alcanza a tener una eficacia de 90 a 95% en la remoción de la demanda biológica de oxígeno.

Con base en la investigación de Negrete, Guzman, y Mejía (2001) se encuentra que los discos biológicos rotatorios son un sistema de tratamiento aeróbico y biológico, donde la biomasa se encuentra adherida y fija a los discos parcialmente sumergidos en el agua residual, estos discos van rotando lentamente sostenidos por un eje. La rotación que realiza el disco con el agua ayuda a que los microorganismos en la biomasa se adhieran al disco y este al recibir el aire, los microorganismos toman el oxígeno para estabilizar la materia orgánica. Finalmente, el proceso que se lleva a cabo en esta tecnología tiene que ver con la adherencia, la adsorción, la descomposición biológica y oxidación, la disolución de los productos de oxidación, la descomposición de compuestos amoniacales y finalmente la regulación de la biomasa. (Negrete, Guzman, & Mejía, 2001)

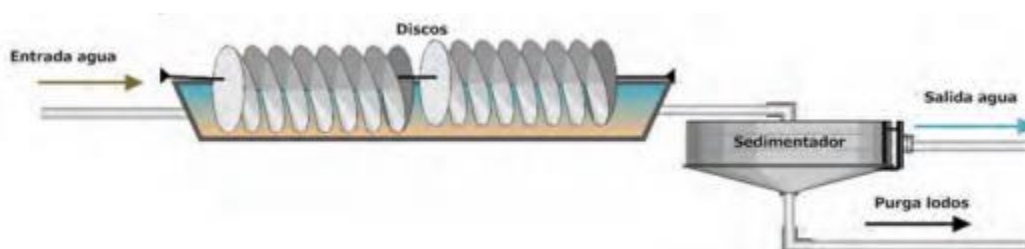


Figura 22. Discos biológicos rotatorios. (2003) Obtenido de: http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf

4.1.4.1. Ejemplo de Sistemas de discos biológicos rotatorios. En México, la Universidad Nacional Autónoma de México, cuenta la Ciudad Universitaria, la cual es un conjunto de edificios y espacios que forman parte del campus principal de dicha universidad, y allí se buscó la estabilización de un sistema de tratamiento de aguas residuales a escala piloto con base en

procesos de contactores biológicos rotatorios (CBR) (biodiscos) para un edificio de oficinas. (Mata, 2012) La planta se construyó en el exterior del edificio en un área ajardinada cerca del punto de descarga original del agua residual. Esta planta muestra que en el año 2011 hubo una remoción de materia orgánica como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en un 61%, una demanda química de oxígeno (DQO) de 39% y sólidos suspendido totales (SST) de 64% y en el 2012 un DBO de 59%, un 67% de DQO y de SST un 46%, pero en general hubo una remoción del 86%, mostrando el éxito de la utilización de los discos biológicos rotatorios. (Mata, 2012)

Según Mata (2012) el funcionamiento de un tratamiento con biodiscos es simple, ya que consiste en un sedimentador primario, allí se remueven las partículas más grandes por gravedad, luego el agua pasa a un reactor de contactores biológicos rotatorios, esto se basa en la formación de biomasa fija, y al llegar al sedimentador secundario se da la separación de sólidos del agua. Cuando hay pocos sólidos sedimentables se omite el primario. En los contactores biológicos rotatorios los microorganismos crecen en un ambiente aerobio controlado, mientras que las sustancias orgánicas y los desechos son consumidas en su catabolismo. La ventaja que tiene esta tecnología es que hay un consumo de energía bajo y su operatividad y mantenimiento es simple. (Mata, 2012)

4.1.5 Filtro sumergido aerobio (FSA). Este sistema se basa en un tanque empacado con elementos plásticos, piedras o cerámicos con un tamaño no mayor de 2 centímetros. Este empaque sumergido en el agua residual brinda un área para que los microorganismos se adhieran, el oxígeno se incorpora al agua a través de difusores puestos en el fondo del reactor y

acoplados a un sistema de compresión de aire. Este filtro no tiene en su interior partes móviles y combina un tratamiento con base en biopelícula y biomasa en suspensión, lo que permite llegar a una concentración mayor de microorganismos dando una capacidad para el tratamiento de bastantes cargas de materia orgánica y estabilidad en el proceso. (Noyola, Morgan & Güereca, 2003)

Por ende, esta tecnología sirve cuando se manejan altas fluctuaciones de caudal. En esta tecnología los microorganismos estabilizan la materia orgánica de acuerdo al agua residual que entre en contacto, asimismo la biopelícula es capaz de la remoción de nitrógeno ya que favorece el crecimiento de bacterias y se puede realizar una buena remoción de contaminantes por medio de un sistema compacto. (IBTECH, 2017)

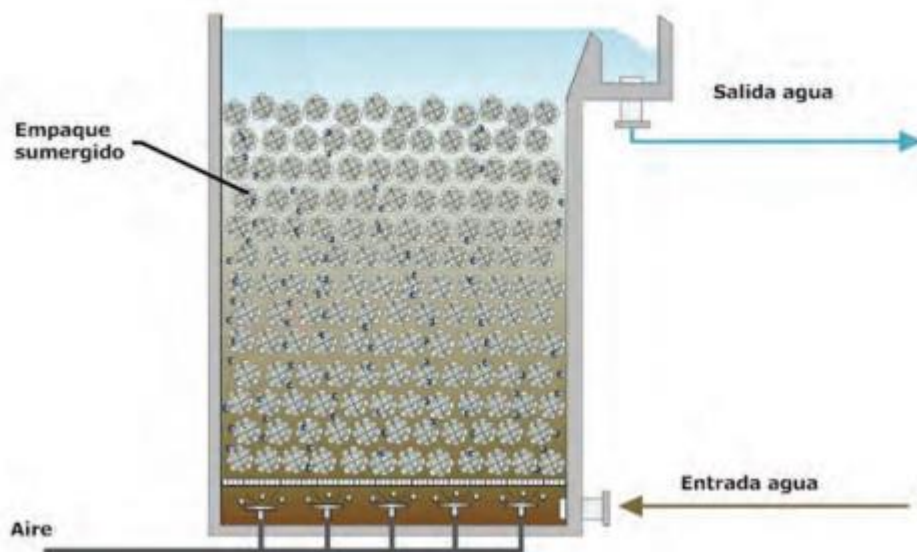


Figura 23. Esquema de un filtro sumergido aerobio. (2003) Obtenido de: http://www.pronaturasur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf

4.1.5.1 Ejemplo de Filtro sumergido aerobio (FSA). Esta tecnología se encuentra en el estado de Quintana Roo en México, donde muchas plantas de tratamiento utilizan el proceso de lodos activados, filtros percoladores, pero otras utilizan el filtro sumergido aerobio (FSA) como la planta de tratamiento de aguas residuales Fovissste V Etapa, en la ciudad de Chetumal. Es conveniente el uso de este filtro debido a que “el tratamiento del agua residual genera menor gasto por mes que el filtro sumergido de flujo ascendente anaerobio e incluso menor gasto que el tratamiento actual del reactor de lodos activados.” (Flores, 2018, p. 37)

En esta planta de tratamiento esta tecnología es buena porque tiene un costo económico de operación, además es útil debido a que la planta tiene una problemática, donde la bomba de agua residual alimenta al sistema de lodos activados con un caudal constante de $4,6 \text{ L s}^{-1}$ y el caudal promedio de agua residual afluyente es de $1,7 \text{ L s}^{-1}$ por ello la planta no funciona de forma continua, porque el caudal que alimenta al sistema es mayor que el del afluyente. (Flores, 2018)

4.1.6 Reactor aerobio acoplado a membranas. Este reactor es “un sistema compacto que se integra al acoplar un tanque de aireación completamente mezclado con un módulo de membranas de micro o ultrafiltración.” (Noyola, Morgan & Güereca, 2003, p. 22) Los módulos pueden estar sumergidos o al exterior del reactor en el mismo tanque, esta tecnología es ventajosa ya que la calidad del agua que se obtiene es alta y lo compacto de la instalación. Lo desventajoso es el costo de las membranas y el taponamiento que sufren, implicando procesos de limpieza de manera frecuente y solo tienen una vida útil de 2 a 3 años, por lo que no es una tecnología muy adecuada a menos que se requiera agua de alta calidad.

Se encuentran los reactores biológicos de membrana (MBR) los cuales tienen el principio de los sistemas de lodos activados convencional, pero la diferencia se basa en la separación de los lodos en el MBR, lo cual se realiza a través de la filtración del agua por medio de unas membranas. Pero con estos reactores se recomienda ser usados cuando hay espacios pequeños para la instalación del sistema y que además la calidad del agua sea exigente. (IBTECH, 2017)

4.1.6.1 Ejemplo de Reactor aerobio acoplado a membranas. En España, se hizo una planta piloto con dos etapas, a fin de analizar la eficacia de un Electro-Biorreactor de Membrana (EMBR) en cuanto a la reducción del ensuciamiento de la membrana y la mejora de la calidad del efluente. (Mendes, 2019) Una etapa fue en Santomera-Murcia y la segunda en Monte Orgegia-Alicante, la planta piloto para el tratamiento de aguas residuales se construyó en las instalaciones del Instituto Universitario del Agua y Ciencias Ambientales (IUACA), la planta EMBR tenía un biorreactor de membranas sumergidas (MBR) combinado con un sistema de electrocoagulación, este plan piloto consistió en un “depósito cilíndrico que aloja en su interior el módulo de membranas y dos electrodos en configuración cilíndrica concéntricos con la membrana.” (Mendes, 2019, p.74)

Esta tecnología demostró ser un sistema robusto frente a diferentes características del afluente y variaciones estacionales, hay una eliminación de materia orgánica en un 93%, asimismo, si opera el EMBR con una densidad de corriente de 5 A/m² hay un consumo de energía bajo y si es posible lograr una buena sinergia entre las tecnologías MBR y

electrocoagulación, de manera que aumente la calidad del efluente y minimice el ensuciamiento de la membrana y esto reduce los costos operacionales. (Mendes, 2019)

4.2 Tecnología para el tratamiento de aguas residuales con procesos anaerobios.

A la hora de escoger una tecnología para el tratamiento de aguas residuales, se debe escoger inicialmente que proceso seguir, por lo que a continuación se mostrarán tecnologías relacionadas con los procesos anaerobios:

4.2.1 Fosa séptica. La fosa séptica es un tanque, que algunas veces viene prefabricado, permitiendo la sedimentación y eliminación de flotantes, actuando como digestor anaerobio, aunque su uso es limitado a tratar las aguas de desecho de escuelas, casas, entre otras. Este tanque séptico es la unidad fundamental del sistema de fosa séptica, estas tienen la capacidad de realizar un tratamiento parcial de las aguas residuales, ya que el proceso de digestión anaerobia no se da en su totalidad. (Noyola, Morgan & Güereca, 2003) En consecuencia, el tanque séptico está formado por una cámara de forma rectangular con distintas separaciones o no, ubicadas debajo de la superficie del suelo logrando que las aguas residuales se transportan por gravedad. Su periodo de retención se da en un término de días dado entre uno y tres días; sedimentándose los sólidos en la parte inferior del tanque, desarrollándose una digestión anaerobia dada por una capa gruesa de espuma en la superficie del líquido. (Van Haandel & Lettinga, 1994)

Esta tecnología es una de las más utilizadas aunque no siempre se tengan en cuenta los lineamientos del diseño generando problemáticas de contaminación, por lo que tiene ventajas y

desventajas, en las ventajas se encuentra que es una tecnología robusta y sencilla, no necesita energía eléctrica, es de bajo costo, tiene una vida útil larga y no necesita un espacio muy amplio, pero por otra parte, presenta poca reducción de patógenos, el lodo debe ser vaciado cada cierto tiempo y tanto el efluente como el lodo necesitan de un tratamiento adecuado. (Tilley, Ulrich, Lüthi, Reymond, Schertenleib, & Zurbrügg, 2020a)

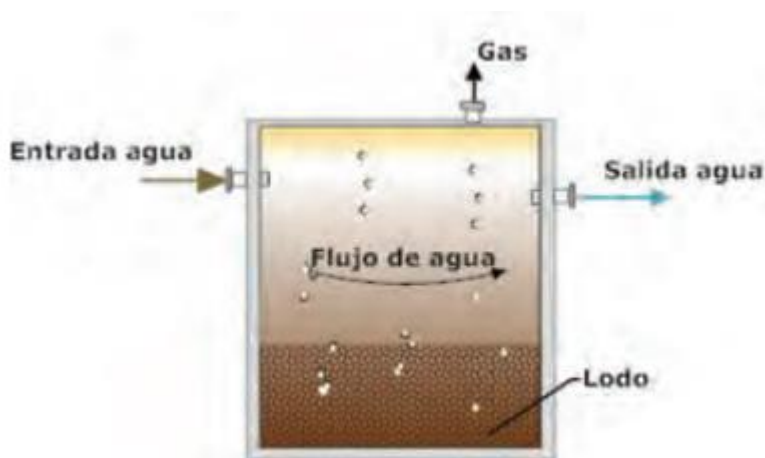


Figura 24. Figura 23. Fosa séptica. (2003) Obtenido de: http://www.pronaturasur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf

4.2.1.1 Ejemplo de Fosa séptica. _ En Colombia se realizó una inspección a los sistemas sépticos en la zona industrial, estaciones y plantas del campo de Producción Casabe ubicado en Yondó, en el departamento de Antioquia. Este sistema séptico se constituye por una caja de registro, un pozo séptico, un filtro anaerobio y el campo de infiltración con caja de registro. (Pedrozo, 2011) En consecuencia, en el campo Casabe se implementó un sistema de tratamiento de aguas residual domésticas (ARD) en su mayoría con prismáticos rectangulares que conforman los sistemas sépticos, donde hay 15 pozos sépticos que no cumplen con la reglamentación, por lo que se hizo una propuesta de mejoramiento con base en la normativa. (Pedrozo, 2011)

Las fosas sépticas tienen el propósito de liberar los acuíferos de contaminación, esta fosa tiene la utilidad de los tanques de sedimentación y almacenamiento que son vaciados periódicamente para así trasladarlos a un sitio y si no se tiene un control pueden causar un deterioro en el medio ambiente. La fosa más común es el tanque de tres cámaras con una secuencia de tratamiento, donde la primera cámara de sedimentación tiene la función de trampa de grasas, la segunda con tratamiento anaerobio reduce la carga orgánica disuelta y la última hace la sedimentación clarificando el agua. (Pedrozo, 2011)

4.2.2 Tanque IMHOFF. Este sistema es una mejora del sistema anterior de fosa séptica, con la diferencia de que separa la zona de sedimentación de la retención y digestión del lodo, con el objetivo de incrementar la capacidad de tratamiento del sistema para un mejor funcionamiento. Este tanque tiene usualmente “una forma rectangular con una tolva en la parte inferior, y está integrado por una cámara superior que recibe el agua residual y que tiene la función de separar los sólidos de rápida sedimentación.” (Noyola, Morgan & Güereca, 2003, p.28) El procedimiento se basa en que el material pasa a la cámara inferior por medio de una apertura de mamparas de concreto donde ocurre la sedimentación y se dirige al proceso que hace la fosa séptica. Pero actualmente esta tecnología ya no se construye ya que escogen otras tecnologías.

Este tanque es utilizado como un tratamiento primario para aguas residuales crudas, integrando la sedimentación del agua y la digestión del lodo asentado en la misma unidad, por lo que está conformado por un compartimiento de sedimentación en forma de V sobre una cámara

de digestión de lodo estrecha con respiradores de gas. (Tilley, Ulrich, Lüthi, Reymond, Schertenleib, & Zurbrügg, 2021b) Lo bueno de este tanque, es que la separación entre sólidos, líquido y estabilización de lodos se hace en una sola unidad y las aguas residuales que ingresan al tanque no necesitan un tratamiento anterior, asimismo no requiere de un espacio amplio y tiene bajos costos. Pero tiene una infraestructura muy profunda y esto puede ser problemático, además requiere de una buena construcción y diseño y tiene una baja disminución de patógenos. (Tilley, Ulrich, Lüthi, Reymond, Schertenleib, & Zurbrügg, 2020b)

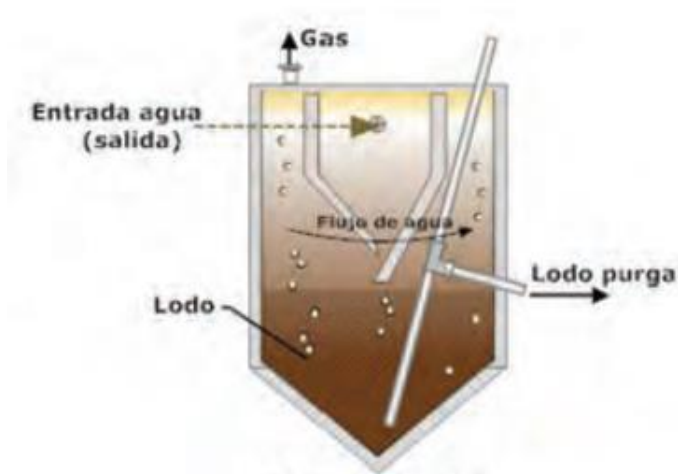


Figura 25. Tanque Imhoff (2003) Obtenido de: http://www.pronaturasur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf

4.2.2.1 Ejemplo de Tanque IMHOFF. En Perú, en el distrito de Montero se realizó una investigación a fin de disminuir la contaminación de la quebrada Sicacate a través del tratamiento de aguas residuales del tanque Imhoff. Este distrito cuenta con este tanque el cual realiza un tratamiento primario de aguas residuales, pero no es suficiente y está causando contaminación a la quebrada, por ello, se hizo un tratamiento de aguas residuales del tanque con bacterias degradadoras e hipoclorito de calcio a fin de disminuir las bacterias y la materia

orgánica. (Moreno, 2017) Por consiguiente, el panorama es que este distrito tiene un sistema de alcantarillado que lleva las aguas al tanque y como no hay un tratamiento adicional las aguas llegan a la quebrada, la cual se está deteriorando y otros pobladores utilizan el agua de dicha quebrada.

Es evidente, que el tanque Imhoff realiza un tratamiento primario y por ello se le agregó hipoclorito de Calcio y bacterias degradadoras, a fin de reducir los olores, el color, los sólidos, entre otros contaminantes, para preservar el agua. En el caso de las bacterias logró reducir la concentración del DBO hasta el 30% del total y el DQO hasta 34.2%. Con el hipoclorito de calcio se redujo hasta 4,58% del total de colifones totales y un 6.66% del total de colifones fecales. (Moreno, 2017) Sin embargo debe considerarse instalar otros tratamientos complementarios ya sea lagunas aireadas o humedales.

El tanque Imhoff como se ha mencionado es un tratamiento primario, el cual tiene la finalidad de remover sólidos suspendidos, es ventajoso en el tratamiento de aguas residuales domésticas porque integra la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad, por ello se les dice tanques de doble cámara. (Moreno, 2017) Además no requiere partes mecánicas y es de operación simple, pero para que su tratamiento sea eficaz debe haber un tratamiento preliminar. En el tanque las aguas fluyen por medio de la cámara de sedimentación, allí se remueven gran parte de los sólidos, luego pasan al fondo de la cámara para pasar a la de digestión por medio de una ranura con traslape el cual tiene la función de no desviar los gases que se producen. (Moreno, 2017)

4.2.3 Lagunas anaerobias. Este sistema se utiliza principalmente en aguas de desechos industriales a temperaturas mayores que la del ambiente y con sólidos suspendidos sedimentables. Por ende, estas lagunas consisten en tanques profundos de hasta 10 metros, sin cubierta para la captación del biogás y por ello esta tecnología produce malos olores. Sin embargo, este sistema igualmente se utiliza en el tratamiento de aguas residuales municipales. (Noyola, Morgan & Güereca, 2003) En consecuencia, estas lagunas anaerobias se usan como un primer nivel en el proceso del tratamiento de aguas residuales tanto urbanas como industriales que tienen bastante materia orgánica biodegradable, por lo que el objetivo es reducir la contaminación y no procesar agua de alta calidad.

Por consiguiente, esta laguna como ya se mencionó es el primer nivel en el tratamiento ya que reduce la carga orgánica de las aguas residuales, la demanda biológica de oxígeno y la remoción de sólidos se da por la sedimentación por medio de la subsecuente digestión anaerobia dentro del lodo, donde las bacterias anaerobias convierten el carbono orgánico en metano. Hay que tener presente que la laguna tiene un mantenimiento que se basa en que debe ser desenlodada cuando se observe que los sólidos estén acumulados en un tercio del volumen de la misma, esto usualmente sucede en un tiempo de 2 a 5 años, según lo expresado por Tilley, Ulrich, Lüthi, Reymond, Schertenleib, y Zurbrügg, (2020c)

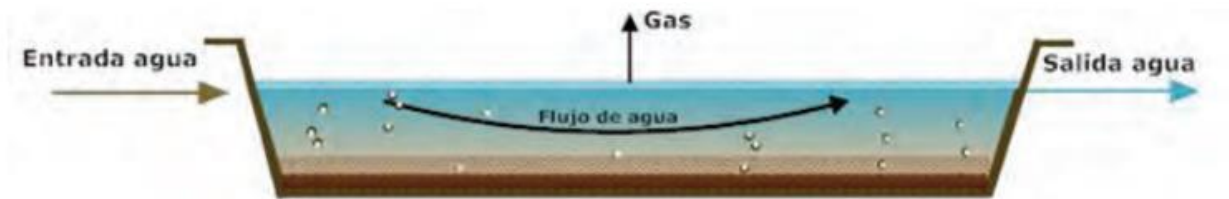


Figura 26. Laguna anaerobia. (2003) Obtenido de: http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf

4.2.3.1 Ejemplo de Lagunas anaerobias. En Ecuador, en la cabecera cantonal de Palestina, en la provincia de Guayaquil, se realizó la rehabilitación del sistema de lagunaje para el tratamiento de aguas residuales, esto incluyó el rediseño de la laguna anaerobia y facultativa, debido a que no se cumplía con las expectativas de la depuración de aguas residuales porque la dimensión de las lagunas es mayor al caudal que ingresa diariamente en ellas, provocando una problemática ambiental. (Contreras, 2016) También hay que tener en cuenta que estas lagunas de estabilización están próximas a cumplir su ciclo de vida útil, la laguna anaerobia de este cantonal tiene una longitud de 90 metros, 85 metros de ancho y una profundidad de 3,20 metros, con altura útil de 2,79 metros. Por tanto, se determinó que hay una sobredimensión en la laguna anaerobia, por tanto, hay que hacer una reducción del 45%, la eficiencia de este sistema sería de una remoción del 50%. (Contreras, 2016)

Las lagunas anaerobias utilizan bacterias anaerobias, donde el objetivo es retener la mayor cantidad de sólidos en suspensión, que luego se incorporan a la capa de fangos acumulados en el fondo y así eliminar parte de la carga orgánica. Estas lagunas pasan por etapas como la hidrólisis, la formación de ácidos y de metano. Y suelen tener una profundidad entre 2 y 5 metros, siendo este el parámetro más utilizado. (Contreras, 2016)

4.2.4 Digestor anaerobio convencional (sin mezcla) y Digestor anaerobio de alta tasa (con mezcla y calentamiento). El sistema digestor anaerobio convencional (sin mezcla) ayuda a la estabilización de sólidos de aguas residuales altamente contaminadas y del lodo de desecho que vienen del proceso de lodos activados. Se basa en un tanque cerrado sin calentamiento ni agitación donde el desecho se estratifica en zonas, pero tiende a ser un sistema poco eficiente por lo que ha sido sustituido. (Noyola, Morgan & Güereca, 2003) La digestión anaerobia es muy conocida y ha sido muy aplicada, se trata de una fermentación microbiana en ausencia oxígeno que produce una mezcla de gases, es decir, el biogás, y produce también una suspensión acuosa, es decir, lodo, el cual lleva consigo los microorganismos que ayudan a la degradación de la materia orgánica. (Acosta & Abreu, 2005)

Por otra parte, el digestor anaerobio de alta tasa (con mezcla y calentamiento) posee la misma función que el convencional, pero se diferencian en que, se da el mezclado y control de temperatura mediante el calentamiento del medio, donde el mezclado del tanque ayuda a la interacción entre el sustrato a degradar y el microorganismo, ayudando al incremento de la temperatura del interior y con ello la digestión frente al convencional. (Noyola, Morgan & Güereca, 2003) Por tanto, este sistema se usa para la digestión del lodo que proviene de sistemas de lodos activados.

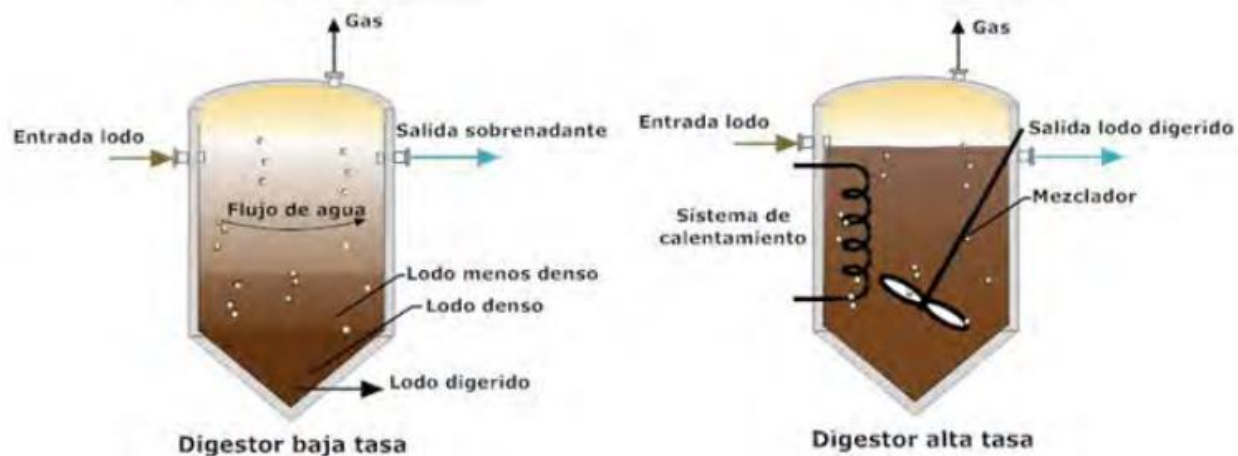


Figura 27. Digestor baja tasa y Digestor alta tasa. (2003) Obtenido de: http://www.pronaturasur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf

4.2.4.1. Ejemplo de Digestor anaerobio convencional (sin mezcla) y Digestor anaerobio de alta tasa (con mezcla y calentamiento). En Costa Rica, se encuentra la Planta Procesadora de Aves San Rafael y Planta de Proceso Posterior KIMBY, que hace parte de la Corporación PIPASA, mensualmente dispone de 330 toneladas de lodos primarios estabilizados provenientes del tratamiento de aguas residuales, por lo que aplicaban un tratamiento de estabilización química con cal, deshidratación y seguidamente la disposición al relleno sanitario, pero esto acarrea costos altos, por lo que se propuso un digestor anaerobio de mezcla completa. (Cubero, 2011) Además los procesos anaerobios resultan ser ventajosos en el tratamiento de desechos orgánicos con valores altos de DBO, y se logra un proceso estabilizado, reduciendo el volumen de lodos y biogás.

Esta planta de proceso San Rafael produce el 90% de las aguas residuales industriales del complejo, donde la bomba envía el agua residual mezclada hacia 2 sistemas de flotación por aire disuelto, en esos sistemas se agrega un coagulante y floculante y los lodos que se generan se recolectan en un tanque para su tratamiento, pero estos lodos están generando un problema de olores y vectores de enfermedades. (Cubero, 2011) Como solución se propusieron digestores anaerobios, donde los procesos de digestión de baja carga no se calientan ni se mezcla el lodo del reactor manteniendo una retención entre un mes o dos, y en los procesos de alta carga el lodo si es calentado y mezclado manteniendo una retención entre medio o un mes. Reduciendo así los costos que implicaba el tratamiento que tenían anteriormente.

4.2.5 Reactor de contacto anaerobio. Este sistema consiste en un reactor totalmente mezclado y calentado que se acopla a un decantador que separa la biomasa para que recircule al reactor, por lo que equivale al anaerobio de los lodos activados aerobios. Pero una desventaja es que tiene una separación de lodos anaerobios en el decantador y esto hace que tiendan a flotar debido al biogás atrapado en interior del flóculo. Actualmente este sistema ya no es muy utilizado y se han escogido otras tecnologías. (Noyola, Morgan & Güereca, 2003) Además este reactor no puede recibir cargas orgánicas altas, inicialmente eran utilizados para tratar lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas domésticas y consistían en tanques agitados de alimentación continua sin recirculación y la biomasa estaba en suspensión. (Díaz, 1987)

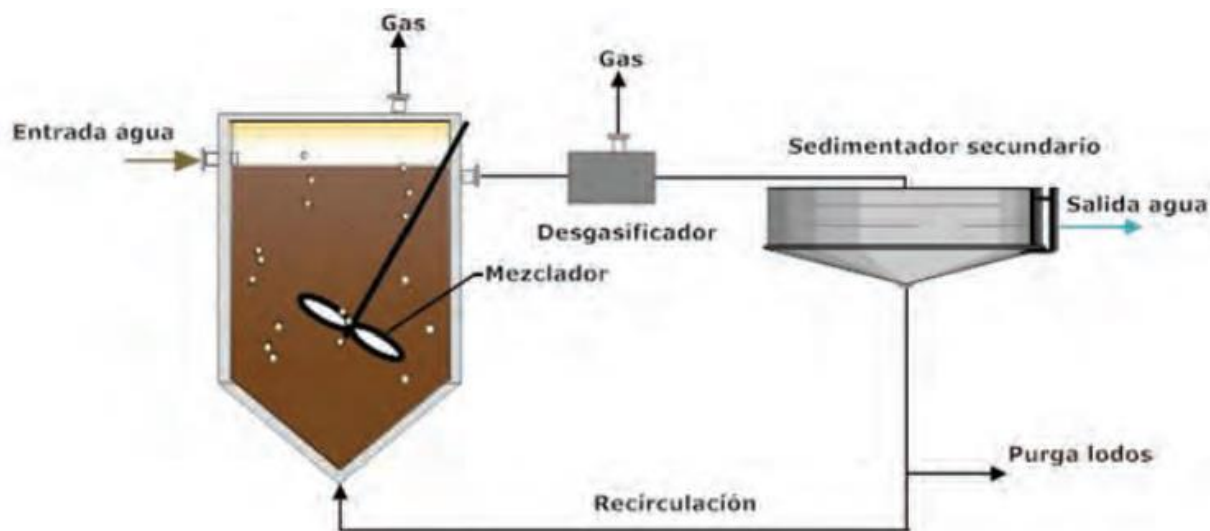


Figura 28. Contacto anaerobio. (2003) Obtenido de: http://www.pronaturasur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf

4.2.5.1 Ejemplo de Reactor de contacto anaerobio. En Colombia, se realizó un diseño, construcción y arranque de un Reactor Anaerobio de flujo a Pistón (RAP) con guadua como medio de soporte, para el tratamiento de agua residual doméstica de un campamento de trabajadores de la piscícola Coolfish, ubicada en el departamento del Huila. Esta empresa realiza vertimientos tanto domésticos como industriales, para las aguas residuales industriales cuenta con una laguna de oxidación, pero para las domésticas se implementará el reactor, utilizando la guadua y un sedimentador secundario para la recolección y evaluación del lodo. (Ipuz, & Reyes, 2015).

Este reactor se implementa a fin de mejorar la calidad de los vertimientos de agua residual doméstica en la represa de Betania por Coolfish, por lo que se “construyó un sistema de

tratamiento compuesto por una canastilla para la retención de sólidos gruesos, un sedimentador con la función de remover grasas y sólidos sedimentables, un Reactor Anaerobio de flujo a Pistón (RAP) con guadua como medio de soporte para la remoción de materia orgánica, y un sedimentador secundario para retener los sólidos provenientes del tratamiento biológico.” (Ipuz, & Reyes, 2015, p. 14) Con esta tecnología se logró un 29,3% y 34,5% de remoción de DQO y un 58,0% y 58,3% de SST, esto fue efectivo ya que se usó estiércol de caballo como inóculo y a la gallinaza como fuente de enzimas y nutrientes ayudando a la formación de bacterias y que se diera la digestión anaerobia. (Ipuz, & Reyes, 2015).

Este reactor anaerobio de flujo a pistón es un tratamiento de película fija, donde las aguas están en contacto con población microbiana mixta, las cuales metabolizan la materia orgánica, los sólidos en suspensión se acumulan y forman coloides que son degradados por los microorganismos del agua. Este reactor es utilizado para aguas residuales de baja concentración orgánica. (Ipuz, & Reyes, 2015)

4.2.6 Filtro anaerobio. Este sistema “consiste en un reactor inundado de flujo ascendente o descendente empacado con soportes plásticos o piedras de 3 a 5 cm de diámetro promedio.” (Noyola, Morgan & Güereca, 2003, p. 30) Donde el agua residual pasa por el lecho empacado, lo cual permite la interacción entre el sustrato en el agua residual y el microorganismo adherido al empaque. Por ende, este sistema puede utilizarse en el tratamiento de aguas residuales de casas ya que tiene una alta resistencia a la fluctuación en caudales. Usualmente este sistema se utiliza después de la fosa séptica a fin de retener los flotantes y

sólidos y según Noyola, Morgan y Güereca, (2003) tiene una eficacia de 65% en la remoción de la demanda química de oxígeno en aguas residuales domésticas. La desventaja que tiene es el alto costo debido al empaque.

Con base en lo expresado por Tilley, Ulrich, Lüthi, Reymond, Schertenleib, y Zurbrügg, (2020d) y teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, el filtro anaerobio es un reactor biológico de lecho fijo con una o varias cámaras de filtración en serie, donde las aguas pasan por este filtro, las partículas son atrapadas y la materia orgánica se degrada por la biomasa. Lo bueno de este filtro es que no necesita energía eléctrica para su funcionamiento, tiene una vida útil larga y reduce la demanda biológica de oxígeno en gran medida además de tener una baja producción de lodo. (Tilley, Ulrich, Lüthi, Reymond, Schertenleib, y Zurbrügg, 2020d) Sin embargo, necesita un buen diseño y construcción y tiene una baja reducción de nutrientes y patógenos y el mantenimiento del filtro no es muy agradable.

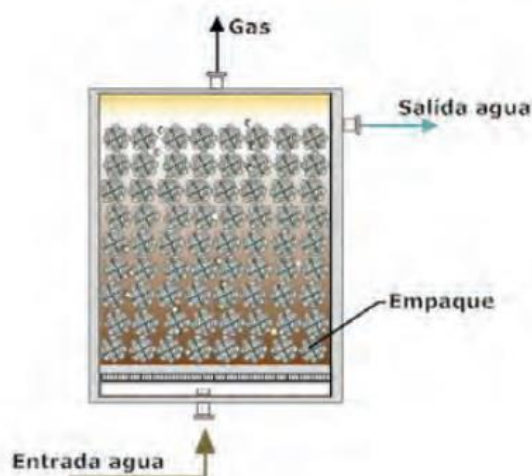


Figura 29. Filtro anaerobio. (2003) Obtenido de: http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf

4.2.6.1 Ejemplo de Filtro anaerobio. En Colombia, en la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga, se realizó la evaluación de la eficiencia de un filtro anaerobio de grava y uno de guadua en la planta de agua residual de dicha universidad, la cual lleva funcionando desde 1998 y realiza su descarga en la quebrada Menzullí. Esta planta realiza un tratamiento preliminar, uno primario, un secundario y un terciario. Y esta evaluación se llevó a cabo a través de cinco fases; la primera tuvo que ver con la revisión bibliográfica, la segunda con el diseño y adecuación del filtro con medio de soporte en grava, la tercera fue la implementación del filtro de flujo ascendente con medio de soporte en grava, la cuarta evaluó los parámetros de eficiencia del filtro y la última fase analizó los datos y los comparó con el medio de soporte de aros de guadua. (Gómez & Álvarez, 2008).

Esta evaluación mostró que la grava como medio de soporte tuvo remociones de DQO entre 60% y 82%, en la remoción de DBO y SST estuvo entre 81% y 95%, con la guadua se muestra inestabilidad y no alcanzan a cumplir los parámetros de control. La opción de utilización de medio de soporte con guadua muestra que tiene como ventaja que la población microbiana que se da en el área de contacto es alta, facilitando el crecimiento de las mismas. En cuanto a la grava, la forma rugosa y no achatada favorece el crecimiento de microorganismos y garantiza una porosidad elevada y además cumple con la normativa establecida. (Gómez & Álvarez, 2008)

Estos filtros anaerobios son sistemas que se denominan de alta tasa, es una opción económica para la remoción de contaminantes de las aguas residuales, son como un tipo de reactores donde existe un medio de soporte fijo inerte donde crecen microorganismos adheridos. El agua puede tener un flujo vertical descendente o ascendente por medio de la cámara. Este filtro se encarga de transformar la materia orgánica soluble que están en el agua residual. (Gómez & Álvarez, 2008)

4.2.7 Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente. Este sistema también se conoce como reactor anaerobio de lecho de lodos UASB, el cual no requiere empaque para retener los microorganismos, pues se basa en la formación de una cama de lodos, es decir, una biomasa anaerobia granular o floculada ubicada en el fondo. En la parte superior se ubican unas campanas colectoras como sistema de captación de biogás lo que favorece la sedimentación de los flóculos anaerobios que pudieron haber pasado el sistema de captación de biogás. En cuanto a la zona entre la cama de lodos y las campanas, está la zona de expansión de lodo. (Noyola,

Morgan & Güereca, 2003) Este reactor UASB retiene mediante la sedimentación los microorganismos en forma de gránulos densos, lo que hace que aumente el tiempo de retención celular y esto permite operar el sistema con tiempo reducido de retención hidráulica y con volúmenes de reactor limitados ayudando a conservar la remoción de materia orgánica.

En este reactor, el agua residual transita a una velocidad constante de manera creciente. Tiene una capa de lodos compuesta por gránulos. Este tratamiento inicia cuando se coloca en presencia el agua residual con los gránulos. (Lettinga, Van Velsen, Hobma, De Zeeuw, Klapwijk, 1980) La producción de gases generados debido al proceso anaerobio incide en la circulación interna, ayudando a crear y mantener partículas biológicas, en las que se adhieren ciertas partículas de gas. El gas adherido y el gas libre a los gránulos se estancan en el colector de gas en lo alto del reactor. (Lettinga, Van Velsen, Hobma, De Zeeuw, Klapwijk, 1980).

Asimismo. Vivanco, Yaya y Chamy, manifiestan que esta tecnología ha sido muy importante para el desarrollo de la digestión anaerobia además de tener bajos costos de operación, siendo una alternativa anaerobia exitosa debido a la utilización del lodo granular y su alta velocidad de sedimentación, lo que permite mantener altas concentraciones de biomasa en los reactores sin utilizar soportes.

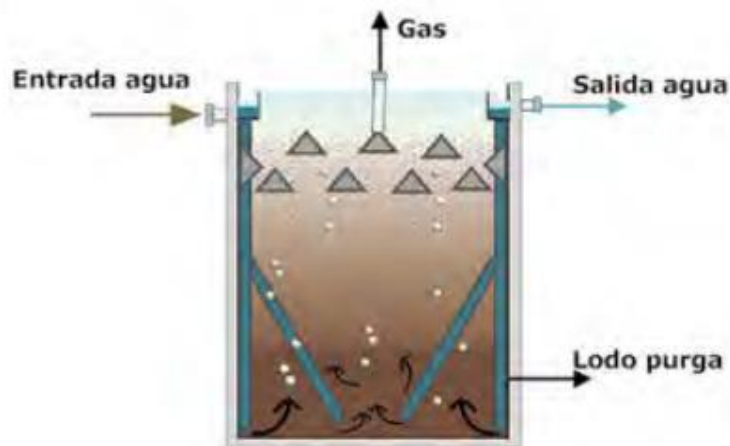


Figura 30. Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente. (2003) Obtenido de:

http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf

4.2.7.1 Ejemplo de Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente. En Colombia se encuentra la planta de tratamiento de agua residual del municipio de Sotaquirá en el departamento de Boyacá, en la región del Alto Chicamocha, esta planta recibe los vertimientos de aguas residuales domésticas y aguas lluvias con caudal máximo de 2,4 l/s, esta planta cuenta con 3 trenes de tratamiento paralelos, dos de tratamiento biológicos y uno físico – biológico con caudal diario máximo de 0,8 l/s. El tren de tratamiento biológico se compone por un Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente (UASB) y un humedal de flujo superficial. (Bautista & Ibáñez, 2018) Igualmente, cuenta con tratamientos preliminares, primario, secundario y tratamiento de lodos, donde el reactor se ubica como un tratamiento secundario siendo un tratamiento biológico.

Este reactor es un proceso continuo de tratamiento de aguas residuales donde el desecho circula de forma ascendente a través de un manto de lodos o filtro y así se va estabilizando la

materia orgánica. El agua residual se va distribuyendo entre las secciones de reacción y el mando de lodos se convierten en biogás, el reactor puede tener una forma cilíndrica o rectangular, eso depende de la capacidad de agua a tratar. (Bautista & Ibáñez, 2018) En la planta de tratamiento de Sotaquirá, el reactor “cumple con la separación de fases gas líquido – sólido (GSL) el cual funciona como sedimentador y recolector de biogás. La segunda fase es la digestión, donde se encuentra ubicado el manto de lodos.” (Bautista & Ibáñez, 2018, p. 45) Tiene un volumen interno de 23.04 m³, un área superficial de 11.26 m², con ancho de 3.35 metros, longitud de 3.37 metros y una altura de 4.50 metros. (Bautista & Ibáñez, 2018).



Figura 31. Planta de Tratamiento de Agua Residual. Sotaquirá – Boyacá (2018) Obtenido de:

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1777&context=ing_ambiental_sanitaria



Figura 32. Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente. (2018) Obtenido de:

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1777&context=ing_ambiental_sanitaria

4.2.8 Reactores de lecho expandido o fluidificado. Este sistema funciona con una biomasa expandida o fluidificada, estos reactores se utilizan en el tratamiento de aguas residuales industriales con condiciones controladas. El lecho fluidificado es de un material de empaque no mayor a un milímetro de diámetro generalmente, adhiriéndose la biopelícula anaerobia. (Noyola, Morgan & Güereca, 2003) En consecuencia, estos reactores lo que hacen es pasar las aguas residuales por medio de un flujo ascendente y la biomasa se presenta en forma de flóculos suspendidos. (Manga, Valencia y Ospino (2001) Se han considerado un avance importante en cuanto al tratamiento de aguas.

Según la investigación de Manga, Valencia y Ospino (2001) se expresa que los reactores de lecho expandido o fluidificado, son un ejemplo de una planta de tratamiento pequeña, económica y eficaz, ya que tiene volúmenes pequeños del reactor y no tiene requisitos de terreno

amplio y sirve para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. Además, ayudan a mitigar el impacto ambiental que generan otras plantas de tratamiento convencionales y la demanda química de oxígeno puede lograrse en tiempos óptimos.

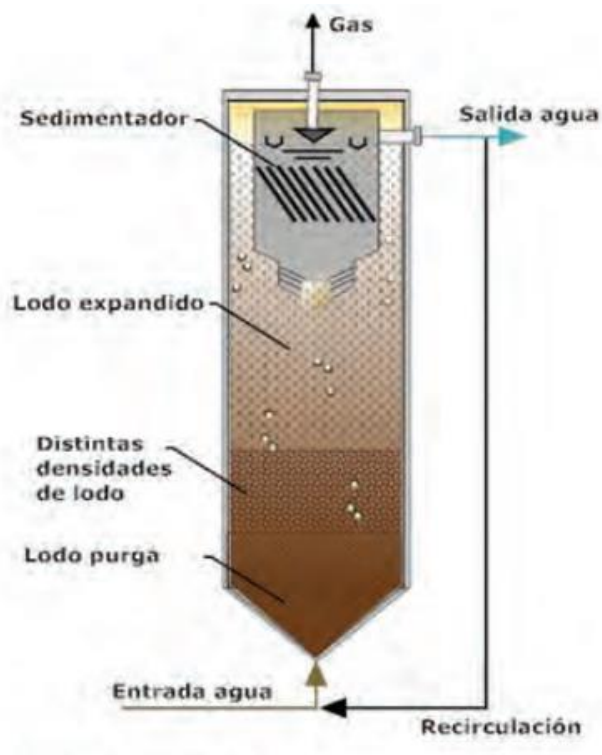


Figura 33. Reactor anaerobio de lecho de lecho expandido. (2003) Obtenido de: http://www.pronaturasur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf

4.2.8.1 Ejemplo de Reactores de lecho expandido o fluidificado. En Argentina, la Universidad Tecnológica Nacional presenta la investigación Reactor de lecho fluidizado para tratar un efluente industrial con Furfural, en la provincia del Chaco, donde se diseñó y construyó un Reactor Anaerobio de Lecho Fluidizado (RALF) a escala piloto, a fin de tratar el efluente similar a las aguas madres que provienen del procesamiento de aserrín de quebracho colorado detanizado de una industria taninera. Estas aguas están altamente contaminadas de materia

orgánica, ácidos y furfural pero con la implementación del reactor se logró la remoción de furfural en un 99%. (Utgés, 2017).

La propuesta fue la de tratar los efluentes por medio del reactor anaerobio de lecho fluidizado, funcionando con un consorcio bacteriano aclimatado a concentraciones distintas de furfural, a fin de que sea viable y no dañe el medio, ya que el furfural es un solvente utilizado en la refinación de aceites lubricantes en la industria petrolera, entre otros usos, por lo que tiene un alto nivel de materia orgánica y compuestos orgánicos complejos, perjudicando un cuerpo de agua si llega a él, por ello es necesario un tratamiento previo antes del vertimiento. (Utgés, 2017) Por ende, el RALF es muy utilizado en la degradación de la materia orgánica en efluentes industriales este se compone de un “tubo cilíndrico relleno con un soporte inerte o lecho de partículas sólidas de pequeño tamaño. Éste, retiene la biomasa microbiana que crece alrededor formando la biopelícula y se desarrolla siguiente una curva de crecimiento microbiano en 5 fases.” (Utgés, 2017, p.3).

Este reactor es ventajoso porque son menos costosos y su mantenimiento es sencillo, tienen una superficie de instalación mínima y se adaptan a diferentes efluentes. Al construir este reactor se utilizó un soporte de arena para posibilitar la fluidización homogénea, contó con una línea de recirculación para lograr la velocidad, donde se utilizó un tanque pulmón, un filtro de poliuretano y una bomba centrífuga. Finalmente se logró una eficiencia de degradación del 99,88%, (Utgés, 2017) mostrando que el reactor anaerobio de lecho fluidizado es óptimo para este tiempo de tratamientos.

Capítulo 5. Compilación crítica.

La problemática ambiental en el mundo es un asunto que le compete a toda la humanidad, por ello es compromiso de todos cuidar del planeta y en especial las fuentes hídricas, ya que sin el agua difícilmente los seres vivos podrían vivir. En vista de esto, se analiza el panorama de una de las regiones de Colombia, la cual no es ajena a la problemática de la contaminación de los ríos, como los que pasan por la región Andina colombiana, es por ello que se realizó la identificación de los factores de contaminación de algunos ríos de esta zona. Como lo es el río Pamplonita ubicado en el departamento de Norte de Santander, el cual presenta una alta contaminación a causa del mal manejo de aguas negras que llegan a su afluente, además de vertimientos con alto contenido de sólidos disueltos, óxidos de hierro, carbonatos a cargo de la minería de carbón y de arcilla, y el vertimiento de aguas residuales e industriales que no tienen ningún tratamiento, lo que permite analizar que los ciudadanos y las entidades no han dado la importancia debida a esta problemática.

En este mismo departamento, también se encuentra el río Tejo, el cual fue una fuente hídrica muy importante para los ocañeros pero hoy en día tiene graves problemas de contaminación debido al vertimiento de aguas residuales, basuras y desechos orgánicos. De igual manera la tala de árboles y los nuevos asentamientos cerca al río, han hecho que la contaminación aumente, y a lo largo del municipio son distintos puntos donde el río recibe contaminación como detergentes, sobreacumulación de residuos, elementos ácidos, sustancias con alto contenido de calcio, materia orgánica, concentración alta de fósforo, arrastre de partículas, turbidez y sedimentos. Por tanto, es evidente que estas aguas van a parar al río sin

ningún tratamiento y la población no toma conciencia de esta situación, pues continúan las mismas prácticas y los entes gubernamentales tampoco se han dado a la gestión de la construcción de tecnologías para el tratamiento de estas aguas y así disminuir la contaminación.

El caso del río Bogotá, es uno de los más preocupantes del país, ubicado en la capital, y aunque sea uno de los afluentes más importantes es uno de los más contaminados ya que en esta zona se encuentran la mayor parte de las industrias de la nación, lo cual implica que se vierten curtiembres artesanales, agregando al río cargas orgánicas, cromo, tintas, sulfuro, y más adelante recibe las aguas residuales de los habitantes, los desechos industriales y el vertimiento de abonos químicos y fertilizantes que contienen plomo, arsénico, mercurio y cadmio. Por ende, esta fuente hídrica presenta una contaminación tanto física, química y biológica, desde su nacimiento hasta su desembocadura, convirtiéndose en la alcantarilla más grande Colombia, como lo han llamado.

Para el caso del río Chicamocha, este también es un río muy importante para el departamento de Boyacá y Santander, pero igualmente padece la contaminación por aguas negras, residuos industriales, hospitalarios y pesticidas, en algunos tramos más que en otros. El río Combeima en el departamento del Tolima, tiene los mismos problemas de contaminación de aguas residuales, al igual que el río Guarapas en el departamento del Huila, que además presenta contaminación por los agroquímicos. Y el río de Oro del departamento de Santander, tiene la misma problemática del vertimiento de aguas residuales que hacen que incremente la carga bacteriana en los afluentes, y la construcción de asentamientos cerca al río que contribuyen a la contaminación.

En consecuencia, se analiza que todos estos siete ríos presentados tienen factores de contaminación muy similares, y la alternativa de construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales no ha sido puesta en marcha en muchos lugares del país, porque aunque se designe un dinero para dicho fin, las personas no realizan las labores a causa de la corrupción, y es por ello que las aguas negras van a parar a los cauces afectando la calidad del agua y por ende también la calidad de vida de todos los seres vivos incluyendo al mismo ser humano que hace uso de esa agua contaminada por su misma mano.

Dentro de la ingeniería civil, el campo de saneamiento básico es indispensable, pues el agua es el recurso vital de los seres vivos y el uso y mantenimiento adecuado que se le realiza hace que la calidad de los mismos mejore.

Dentro de esto, se puede encontrar el caso de los vertimientos y caudales afectados por los mismos, la necesidad de evaluación sobre la afectación generada por los diferentes agentes contaminantes cumple un rol fundamental en la predisposición de dichas aguas. La guía de un ingeniero en este ámbito es muy importante y por eso a lo largo de la metodología aplicada se dan a conocer los diferentes pasos y factores a tener en cuenta en la evaluación de las circunstancias y calidad del agua, cuando se requiere analizar la longitud de influencia de un vertimiento en el caudal de una corriente los factores más importantes dentro del punto del contaminante, son los determinantes de la calidad del agua, cómo se encuentra antes de la intervención y en qué grado sería la afectación producida, por el lado de la corriente afectada, los factores a definir serían aquellos elementos geométricos y características hidráulicas que

acompañan el comportamiento de la corriente, con esto se puede evidenciar que el clima, la hidrodinámica y las características geométricas de la vertiente forman parte fundamental del análisis.

Siguiendo los 5 pasos propuestos se puede ver de qué forma se trabaja vertiente, primero se analizan sus características antes de la intervención, con esto, los conceptos conocidos por los ingenieros son fundamentales en el proceso de la caracterización y medición de los diferentes rasgos representativos de la corriente, luego de igual forma, se analizan las características del caudal vertido, que sería la afectación recibida, notando así todas las composiciones que llegarán a cambiar el estado original de la vertiente, procediendo a analizar, dependiendo de la zona y la meta esperada, los diferentes determinante de contaminación llevadas por el vertimiento, dejando así una pauta para poder empezar.

Al tener ambas características, se procede a analizar, uno a uno, el daño causado a la corriente original y así con los valores de caudal y velocidades medias esperadas lograr obtener la respuesta, que en este caso sería la longitud de influencia, de esta forma se presenta la metodología, aunque los estudios realizados sean sólo una estimación de laboratorio que se pueda realizar, a ciencia cierta da un avance en el alcance de la afectación misma, y es un buen abrebocas a lo que puede pasar en el campo.

Con esto se puede vislumbrar la importancia misma de la aplicación de la metodología en las afectaciones de las corrientes por los vertimientos y esto a su vez sirve como base para las

siguientes investigaciones, donde ya no se busque el tamaño de la afectación, sino, el cómo solucionar la misma.

A fin de mitigar el impacto ambiental que el ser humano ha causado en el planeta, se han generado diversas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, pero al momento de escoger una de estas es necesario conocer la realidad local del lugar donde se vaya a construir la tecnología escogida, así como tener en cuenta la normativa ambiental de cada país en el caso de Colombia debe acogerse a la normatividad 0631 de 2015 “Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”, pero en países en vía de desarrollo como Colombia la tecnologías son limitadas debido a a que su implementación requiere inversión pública , mientras que en los países desarrollados las tecnologías son más amplias ya que tienen estándares de calidad, políticas públicas que apoyan su implementación obteniendo el propósito de un tratamiento residual el cual es remover la materia contaminante de manera que se llegue a una calidad de agua.

Estas tecnologías tienen dos grupos, el tratamiento fisicoquímico y el biológico, este último tiene el tratamiento aerobio el cual necesita oxígeno y el anaerobio que no necesita oxígeno. Por ende, hay variedad de tecnologías con distintos procesos que ayudan al tratamiento de las aguas residuales, pero unas tecnologías funcionan como un tratamiento preliminar, otras como primario, secundario o terciario, por lo que es evidente que para el tratamiento de aguas residuales se necesita la implementación de varias tecnologías para poder llegar a un tratamiento

eficaz. Se encuentran entre las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales con procesos aerobios, el sistema de lagunas, el proceso de lodos activados, los filtros percoladores, los sistemas de discos biológicos rotatorios, el filtro sumergido aerobio y el reactor aerobio acoplado a membranas.

En las tecnologías relacionadas con los procesos anaerobios se halla la fosa séptica, el tanque Imhoff, las lagunas anaerobias, el digestor anaerobio convencional (sin mezcla), el digestor anaerobio de alta tasa (con mezcla y calentamiento), el reactor de contacto anaerobio, el filtro anaerobio, el reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente y los reactores de lecho expandido o fluidificado. Estos tratamientos se basan en procesos de auto purificación de un cuerpo de agua, donde la tecnología que se escoja incita esos procesos naturales a través de dispositivos artificiales llegando a reducir la contaminación. Estos procesos dependen de si son aguas residuales domésticas o industriales pues cada una requiere de tratamiento distintos debido a su carga contaminante.

Sin embargo, ante tantas posibilidades de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales el mal manejo de los gobernantes y la falta de carácter y compromiso de las personas en exigir el cuidado de los recursos hídricos no ha permitido que la problemática ambiental se mitigue, que no importa que tantas tecnologías se inventen si solo se quedan en la teoría y no se ponen en práctica. Asimismo, hay que tener en cuenta que algunas de estas tecnologías dejan un impacto en el ambiente, por lo que es importante que también se trabaja en buscar más

soluciones avanzadas en el tratamiento de estas aguas en busca de un mejoramiento y sostenibilidad.

Cabe mencionar que el rubro para invertir en estas tecnologías se designa, pero se ha visto que el retraso continuo, por ejemplo, en Colombia, según un estudio de UNICEF menos de la cuarta parte de los municipios de los veintiún departamentos estudiados cuentan con una planta de tratamiento de aguas residuales, por ende, no es de sorprendernos que la mayoría de los afluentes del país y especialmente de la región Andina, estén contaminados por las aguas residuales. Pues de 1.122 municipios de Colombia solo 541 tienen un sistema de saneamiento.

En consecuencia, el panorama es que en el país gran parte de los residuos líquidos no son tratados y por ello la gran contaminación de los afluentes, y es que el tratamiento de aguas residuales en el mundo actual es una necesidad debido a que afecta a todos los seres vivos, y a causa del aumento de la población la contaminación igualmente ha aumentado. Y aunque Colombia sea un país con mucha riqueza hídrica esa riqueza se está convirtiendo en una riqueza contaminada.

Conclusiones

Es posible concluir que los seres vivos en el planeta tierra necesitan de un recurso muy valioso, pero poco valorado actualmente, el agua, el cual ha sido muy contaminado por diversos factores, pues el ser humano no ha tomado conciencia del cuidado que debería tener con las fuentes hídricas.

Se está realizando el vertimiento de distintas sustancias y sólidos que afectan la calidad del agua, por ello, es necesario realizar un monitoreo constante a los distintos ríos a través de distintos procesos de regulación de manera que el agua pueda reutilizarse. En muchos casos se utilizan las plantas de tratamiento de aguas residuales las cuales integran varias tecnologías. Es importante que en una sociedad se dé un manejo de aguas residuales para el beneficio de la salud de los seres vivos, ya que la contaminación de las fuentes hídricas puede causar problemáticas de salud pública ya que el agua de los ríos es consumida por los seres humanos.

La contaminación de los afluentes en la antigüedad no era tan grande como lo es actualmente, y es que la población ha estado en aumento, junto con la contaminación y consumismo de la sociedad. Cuando se habla de esta contaminación a afluentes hay que remitirse a las aguas residuales ya sea domésticas o aguas negras, industriales y agrícolas, las cuales generan malos olores, polución térmica entre otros factores que son generados por el ser humano, haciendo que la demanda biológica y química de oxígeno se afecte, por ello, es fundamental que se genere el tratamiento de aguas residuales o la depuración de aguas residuales esto puede darse

con procesos ya sea aerobios o anaerobios, los cuales se escogen dependiendo de los factores de contaminación.

Estos factores de contaminación que se analizaron se remiten a la región Andina colombiana, donde sus afluentes como el río Pamplonita, Tejo, Bogotá, Chicamocha, Combeima, Guarapas y río de Oro, sufren los factores contaminación de vertimientos de residuos sólidos, materia orgánica, aguas domésticas sin ningún tratamiento, así como vertimiento de curtidoras de cuero, que tienen sustancias como el cromo y el mercurio, haciendo que la demanda biológica de oxígeno se vea reducida. Otros factores se relacionan con el sector agrícola con los agroquímicos y las basuras que llegan a los afluentes. Lo preocupante de esta situación es que son muy pocas las acciones que se han tomado para hacerle frente a esta problemática de contaminación.

Al realizar vertimientos originados por la actividad constructiva en cuerpos de agua se deben analizar el impacto que estos pueden sufrir, con el fin de mitigar el daño que se pueda causar, siempre garantizando la auto purificación del cuerpo aguas abajo, para ello, se debe establecer una longitud de vertimientos en las cual se analizan parámetros químicos, físicos, comportamiento de la corriente, clima, hidrodinámica, caudal, velocidad, elementos geométricos de la sección analizada, etc. Dicho análisis debe ser analizado de manera detallada, por profesionales idóneos que logren determinar el grado de contaminación permitido a los cuerpos de agua evitando un alto grado de contaminación, por ende, las autoridades ambientales pertinentes son las veedoras de que este tipo de metodologías se cumplan propiciando la protección de la fauna, flora y del medio ambiente en general.

En el mundo ante la problemática mundial de contaminación, se han inventado diversas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, la tecnología se escoge de acuerdo la realidad local de la zona, además del tratamiento que se requiera, ya sea un tratamiento preliminar, primario, secundario o terciario y la calidad de agua que se quiera obtener con el tratamiento.

Por ello existen diversas tecnologías ya sea con un proceso fisicoquímico o uno biológico, que involucra un procesos aerobios o anaerobios, donde cada uno de ellos tiene distintas infraestructuras, procedimientos y costos. Cabe resaltar que algunas tecnologías ya no son utilizadas y se sigue investigando otras tecnologías que aporten una alta calidad del agua, bajo costo y sobre todo que tengan no tengan un impacto en el medio ambiente.

Referencias

Alcaldía de Ocaña. (2012). Sistema de documentación e información municipal. Obtenido de:

[http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/oca%C3%B1anortedesantan
derpd20122015.pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/oca%C3%B1anortedesantan
derpd20122015.pdf)

Alcaldía Municipal de Girón – Santander (2021) Ecología. giron-santander.gov.co. Obtenido de:

<https://www.giron-santander.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Ecologia.aspx>

Acosta, Y. & Abreu, M.C. (2005) La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I ICIDCA.

Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. Instituto Cubano de Investigaciones de los

Derivados de la Caña de Azúcar Ciudad de La Habana, Cuba. Vol 39 (1) pp. 35-48.

Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>

ANDI. (2019). ANDI. Obtenido de Asociación Nacional de Empresarios de Colombia:

[http://www.andi.com.co/Uploads/2019-03-19%20-
%20Taller%20Caudal%20ambiental%20-%20GIRH.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/2019-03-19%20-%20Taller%20Caudal%20ambiental%20-%20GIRH.pdf)

ANLA. (2013). METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DE LA LONGITUD DE

INFLUENCIA DE VERTIMIENTOS SOBRE CORRIENTES DE AGUA

SUPERFICIAL. Bogotá: Autoridad nacional de licencias ambientales.

Arocutipa, J.H.(2013). “EVALUACIÓN Y PROPUESTA TECNICA DE UNA PLANTA DE

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MASSIAPO DEL DISTRITO DEL

ALTO INAMBARI-SANDÍA”. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano.

Puno, Perú. Obtenido de.

http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4516/Arocutipa_Lorenzo_Juan_Hipolito.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Baena, D., Fuentes, J.S.; Pino, L. T., Marín, S., Horta, S.V. & Fonseca, W.C. (2020) Contexto Regional Andina. workingPaper. Obtenido de:

<https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/47782>

Bautista A. M., & Ibáñez, P. (2018) Biológico, reactor UASB y humedal superficial, PTAR Sotaquirá - Boyacá. (Tesis de pregrado) Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.

Obtenido de:

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1777&context=ing_ambiental_s_anitaria

Blanquez, P & Montero, C. (2010). Reutilización de agua en Bahía Blanca Plata 3era Cuenca. Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional

Campo, V. (2019). Tratamiento de aguas residuales de una empresa industrial de congelados. (Tesis de Pregrado). Universidad de Piura, Piura. Obtenido de.

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4397/ING_635.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Colombia frente al tratamiento de las aguas residuales. (2020). Iagua. Obtenido de.

<https://www.iagua.es/blogs/rossemer-saldana-escorcia/colombia-frente-al-tratamiento-aguas-residuales>

Comisión Nacional del Agua (2007) MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN. Obtenido de:

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/10DisenoDeLagunasDeEstabilizacion.pdf>

Contraloría Distrital. (2009) Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente de Cundinamarca, vigencia 2009.

Contreras, D.M. (2016) PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL SISTEMA DE LAGUNAJE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA CANTONAL DE PALESTINA (Tesis de posgrado) Universidad De Guayaquil, Ecuador. Obtenido de:

http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/12881/1/TESIS%20MGA%20007_%20Propuesta%20de%20Rehabilitacion%20de%20Lagunas%20Del%20Canton%20Palestina.pdf

Corponor, (2018) Análisis de la Calidad Biológica del Agua Río Pamplonita. Obtenido de:

http://corponor.gov.co/calidad_agua/2018/1_RIO_PAMPLONITA2018/4_ANALISIS_CALIDAD_BIOLOGICA_DEL_AGUA_RIO_PAMPLONITA.pdf

Corponor, (2010) SINTESIS AMBIENTAL DEL NORTE DE SANTANDER. Plan de Acción Ajustado. Obtenido de:

<https://www.corponor.gov.co/formatos/DIC%20SIGESCOR/PUBLICAR%20WEB%20101209/PLAN%20DE%20ACCION%20AJUSTADO%202007%202011/2%20SINTESIS%20AMBIENTAL.pdf>

Corponor (2019) «Medición del nivel del río Pamplonita» Ifm.com Obtenido de:

<https://www.lafm.com.co/medio-ambiente/temporada-de-sequia-amenaza-con-desastre-ambiental-en-rios-de-norte-de-santander>

Corponor. (2012). SINTESIS AMBIENTAL DEL NORTE DE SANTANDER Obtenido de:

<http://www.corponor.gov.co/corponor/planaccion20072012/2SINTESISAMBIENTALPIanacc20072012.pdf>

Corpoboyacá (2015) DIAGNÓSTICO DEL PLAN DE ORDENAMIENTO HÍDRICO – PORH DE LA CUENCA MEDIA Y ALTA DEL RÍO CHICAMOCHA. ING FOCOL. Obtenido

de: https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/08/DIAGNOSTICO_RIO_CHICAMOCHA- V4-1.pdf

Corporación Autónoma Regional del Alto del Magdalena (2012) Plan de Ordenamiento y

Manejo de la cuenca Hidrográfica del río Guarapas. Obtenido de:

<https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/22589>

Corporación Autónoma Regional para la defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) (s.f)

Problemática del río de Oro. Obtenido de:

<http://www.santanderinnova.org.co/media/218f24800b603ed8178eeef1b1e01826.pdf>

Correa, G. (2008) EVALUACIÓN Y MONITOREO DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE SANTA FÉ DE ANTIOQUIA,

COLOMBIA. (Tesis de posgrado) Universidad de Antioquia, Medellín. Obtenido de:

<http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/50/1/EvalMonitStmaLagunasStfeAnt.pdf>

Cubero, G.A. (2011) “Evaluación de un sistema de digestión anaerobia para la estabilización de los lodos provenientes de las aguas residuales, Corporación PIPASA, San Rafael de

Alajuela” (Tesis de pregrado) Instituto Tecnológico de Costa Rica. Obtenido de:

<https://core.ac.uk/download/pdf/60989812.pdf>

Chapra . (1997). Surface Water-Quality Modeling, McGraw-Hill.

Chapra. (1991). A toxicant loading concept for organic contaminants in lakes. ASCE Journal of Environmental Engineering 117(5), pp. 656-677.

Deloya, A. (2001) Biodiscos: una alternativa de tratamiento biológico para aguas residuales cuando no se dispone de grandes extensiones de terreno. Revista Tecnología En Marcha, 13(4), pág. 57-59. Obtenido de:

https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/1541

Díaz, I.C., Quintero, H.F., Lozano, Y., Fonseca, L.C & Valdes, D.M. (2017) RÍOS TEJO Y CHIQUITO: EVALUACIÓN DE LOS ICO's DENTRO LA ESTRUCTURA URBANA DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER. Obtenido de:

<https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/download/2150/2089#:~:text=Las%20deficiencias%20en%20el%20tratamiento,convertido%20en%20dep%C3%B3sitos%20de%20basuras>

Díaz, M.C. (1987) Reactores anaeróbicos de alta tasa. Revista Ingeniería e Investigación. Vol 4(2) pp. 11-18 Obtenido de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4902918.pdf>

El Tiempo (2007) El río Chicamocha es la alcantarilla de Tunja, Duitama y Sogamoso.

eltiempo.com/ Obtenido de: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-3822070>

Esri (2021) RIOS MAS CONTAMINADOS DE COLOMBIA. arcgis.com Obtenido de:

<https://www.arcgis.com/apps/MapTour/index.html?appid=b63768a5854c47328036d2eff414f5d5>

Espigares, M. & Pérez, J.A (1995) Aguas residuales. Composición. Obtenido de

https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

Flores, V. (2018) Propuesta de un diseño de filtro sumergido de flujo ascendente en la planta

Fovissste V etapa. (Tesis de pregrado) Universidad de Quintana Roo, México. Obtenido

de: [http://risisbi.uqroo.mx/bitstream/handle/20.500.12249/1939/TD756.2018-](http://risisbi.uqroo.mx/bitstream/handle/20.500.12249/1939/TD756.2018-1939.pdf?sequence=3)

[1939.pdf?sequence=3](http://risisbi.uqroo.mx/bitstream/handle/20.500.12249/1939/TD756.2018-1939.pdf?sequence=3)

Galeano, L.J. & Rojas, V.D. (2016). Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua

residual por zanjón de oxidación para el casco urbano del municipio de Velez –

Santander. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia. Bogotá. Obtenido de

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13930/4/PROPUESTA%20DE%20DISEÑO%20DE%20UNA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20RESIDUAL%20POR%20ZANJÓN%20DE%20OXIDACIÓN%20PARA%20EL%20CASCO%20URBANO%20DEL%20MUNICIPIO%20DE%20VELEZ%20-SANTANDER..pdf>

[SE%20C3%91O%20DE%20UNA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20RESIDUAL%20POR%20ZANJÓN%20DE%20OXIDACIÓN%20PARA%20EL%20CASCO%20URBANO%20DEL%20MUNICIPIO%20DE%20VELEZ%20-SANTANDER..pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13930/4/PROPUESTA%20DE%20DISEÑO%20DE%20UNA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20RESIDUAL%20POR%20ZANJÓN%20DE%20OXIDACIÓN%20PARA%20EL%20CASCO%20URBANO%20DEL%20MUNICIPIO%20DE%20VELEZ%20-SANTANDER..pdf)

GEDAR (2021) Filtro Percolador. gedar.com Obtenido de:

<https://www.gedar.com/residuales/tratamiento-biologico-aerobio/filtros-percoladores.htm>

Gómez, S.M (2016) Manejo integrado del medio ambiente, Pitalito Huila. Universidad de

Manizales. Obtenido de: [https://es.slideshare.net/SilviaGomez56/problematicas-del-agua-](https://es.slideshare.net/SilviaGomez56/problematicas-del-agua-59856037)

[59856037](https://es.slideshare.net/SilviaGomez56/problematicas-del-agua-59856037)

Gómez, A.H. & Alvarez, G.M. (2008) Evaluación de la eficiencia de un filtro anaerobio de grava

a escala piloto, análisis comparativo con un filtro anaerobio de guadua – Planta de

tratamiento de aguas residuales – Universidad Pontificia Bolivariana – Bucaramanga.

(Tesis de pregrado) Obtenido de:

https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/234/digital_16622.pdf?seq

González, J.P. & Gómez, K.A. (2016) OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE BOJACÁ CUNDINAMARCA. (Tesis de pregrado) Universidad Católica de Colombia. Obtenido de:

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13907/4/OPTIMIZACI%C3%93N%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20DEL%20MUNICIPIO%20DE%20BOJAC%C3%81.pdf>

IBTECH (2017) Tecnologías. Aguas residuales. ibtech.com.mx Obtenido de:

<https://ibtech.com.mx/tecnologias/procesos-aerobios-anoxicos.php>

Ipuz, A. M., & Reyes, M. A. (2015) Diseño, construcción y arranque de un Reactor Anaerobio de flujo a Pistón (RAP) con guadua como medio de soporte, para el tratamiento de agua residual doméstica de un campamento de trabajadores de una piscícola. (Tesis de pregrado) Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. Obtenido de:

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1284&context=ing_ambiental_sanitaria

Ji, Z.G. (2008). Hydrodynamics and water quality. Modelling Rivers, Lakes, and Estuaries, Wiley-Interscience.

La Nación (2014) Contaminación en el río Guarapas. lanacion.com.co Obtenido de:

<https://www.lanacion.com.co/contaminacion-en-el-rio-guarapas/>

La situación del tratamiento de aguas residuales en Colombia. (2017). Acuatecnica. Obtenido de [. https://acuatecnica.com/la-situacion-del-tratamiento-aguas-residuales-colombia/](https://acuatecnica.com/la-situacion-del-tratamiento-aguas-residuales-colombia/)

Lettinga, G., Van Velsen, A., Hobma, S., De Zeeuw, W., Klapwijk, A. (1980). Use of the Upflow Sludge Blanket reactor concept for biological wastewater treatment, specially for anaerobic treatment. *Biotechnology & Bioengineering*: 22 (4) 699 – 734. Obtenido de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bit.260220402>

Lees, M.J; Camacho; L.A.; Whitehead. (1998). Extension of the QUASAR river quality model to incorporate dead-zone mixing. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2, pp. 353-365.

Lozano, W.H. (2012). FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Manga, H. Valencia, A. & Ospino, A. (2001) Diseño de un reactor de lecho fluidizado para el tratamiento de las aguas residuales industriales en el centro de investigación de tecnologías ambientales “CITA” de la Corporación Universitaria De La Costa” (Tesis de pregrado) Obtenido de: <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/2702/Dise%C3%B1o%20de%20un%20reactor%20de%20lecho%20fluidizado%20para%20el%20tratamiento%20De%20las%20aguas%20residuales%20industriales%20en%20el%20centro%20de%20Investigaci%C3%B3n%20de%20tecnolog%C3%ADas%20ambientales%20%E2%80%9Ccita%E2%80%9D%20de%20la%20Corporaci%C3%B3n%20universitaria%20de%20la%20costa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Mata, L. A. (2012) EMPLEO DE BIODISCOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN UN EDIFICIO DE CIUDAD UNIVERSITARIA (Tesis de posgrado) Universidad Nacional Autónoma De México. Obtenido de: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/6144/1/tesis.pdf>
- Martelo, J. & Lara J.A. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. (Artículo). Ingeniería y Ciencia, Ing. Obtenido de <file:///C:/Users/ALEJA/Downloads/Dialnet-MacrofitasFlotantesEnElTratamientoDeAguasResiduale-4111241.pdf>
- Méndez, M.C. (2019). PROPUESTA DE MEJORA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ARBELAEZ A PARTIR DEL SISTEMA DE DEER ISLAND WASTEWATER TREATMENT PLANT. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia. Bogotá. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23287/1/Propuesta%20de%20mejora%20de%20la%20planta%20de%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20de%200arbelaez%20a%20partir%20del%20sistema%20de%20Deer%20Island%20Waste%20Water%20Treatment%20Plant.pdf>
- Medina, M. P. (2009). Propuesta metodológica para la estimación de la capacidad de nitrificación de los ríos de montaña. Casos de estudio río Teusacá y río Subachoque. (Tesis de posgrado) Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Obtenido de: https://www.anla.gov.co/documentos/ciudadania/03_partic_ciudadana/con-pub/Metodologia - Longitud de Influencia de Vertimientos.pdf

Mendes, L. (2019) Tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación acoplada a un MBR para minimizar el ensuciamiento de la membrana y obtener efluentes de alta calidad. (Tesis de posgrado) Universidad De Alicante, España. Obtenido de:
<https://www.fundacionaquae.org/wp-content/uploads/2020/07/tesis-lyvia-mendes.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 Marzo del 2015). Vertimientos y reusos de Aguas residuales. [0631]. Recuperado de:
https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

Morales, K. & Rodriguez, N. (2017) ESTADO DEL ARTE SOBRE EL PROCESO DE DESCONTAMINACIÓN DEL RÍO BOGOTÁ EN EL PERIODO 2010 - 2016 Y SUS IMPLICACIONES EN EL MEDIO AMBIENTE (Tesis de pregrado) Universidad la Gran Colombia. Bogotá, D.C. Obtenido de:
<https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5526/ESTADO%20DEL%20ARTE%20SOBRE%20EL%20PROCESO%20DE%20DESCONTAMINACION%20DEL%20RIO%20BOGOTA%20EN%20EL%20PERIODO%202010%202016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Moreno, S.N. (2017) “TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL TANQUE IMHOFF PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN EN LA QUEBRADA SICACATE DEL DISTRITO DE MONTERO” (Tesis de pregrado) Universidad Nacional de Piura, Perú. Obtenido de:

<https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1154/IND-MOR-JAB-18.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Negrete, A.J. Guzman, R.C. & Mejía, J.R. (2001) Diseño de una planta piloto de discos biológicos rotatorios para aguas residuales institucionales en Barranquilla – Colombia. (Tesis de pregrado) Corporación Universitaria De La Costa. Obtenido de:

<https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/1962/Dise%C3%B1o%20de%20una%20planta%20piloto%20de%20discos%20biol%C3%B3gicos%20rotatorios%20para%20aguas%20residuales%20institucionales%20en%20Barranquilla%20-%E2%80%93%20Colombia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Noyola, A., Morgan, J.M. & Güereca, L.P. (2003) Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas. Universidad Nacional Autónoma De México. Obtenido de: http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf

Pa'la gente. (2018) Río Combeima: La Ola Negra. palagente.com Obtenido de:

<https://www.palagente.com/post/2018/06/03/r%C3%ADo-combeima-la-ola-negra>

Pedrozo, H. (2011) Evaluación para la construcción de sistemas sépticos caso Campo Casabe. (Tesis de posgrado) Universidad Pontificia Bolivariana, Floridablanca, Colombia. Obtenido de:

https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1666/digital_21071.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pérez, L.E. (2015) Río Tejo, el Río total de Ocaña. Publicaciones de la Academia de Historia de Ocaña. Obtenido de: <https://es.calameo.com/read/000777657dbc881994655>

Pérez, A. (2011). El problema del río Bogotá. Obtenido de: <https://docplayer.es/11883136-El-problema-del-rio-bogota-por-alfonso-perez-preciado.html>

Periódico 15 (2016) 'Santander por Naturaleza' le apuesta a la recuperación del río de Oro. periodico15.com Obtenido de: <https://www.periodico15.com/santander-naturaleza-le-apuesta-la-recuperacion-del-rio-oro/>

Pineda, J.L. (2020) Proyecto para descontaminar el Río de Oro inició su primera etapa. vanguardia.com Obtenido de: <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/proyecto-para-descontaminar-el-rio-de-oro-inicio-su-primera-etapa-MY2919871>

Raffo, E. Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial, Volumen (17), p.74.

Ramírez, O.L. (2012) INVESTIGACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS ETAPAS EN SERIE DEL FILTRO PERCOLADOR DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS. (Tesis de posgrado) Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0414_MT.pdf

Rodríguez, J.A (2008) Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades. (Tesis de pregrado) Universidad de Sonora. México. Obtenido de: <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=19117>

Rivera, J. (2016) GUARAPAS, FUENTE HÍDRICA SIN VIDA. julianeriverai.wordpress.com Obtenido de: <https://julianeriverai.wordpress.com/2016/05/27/guarapas-fuente-hidrica-sin-vida/>

Salazar, I. (2010) Documento de trabajo sobre Economía Regional. Geografía económica de la región Andina Oriental. Banco de la República. Obtenido de:

https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/3070/dtser_121.pdf

Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) (2021) Calidad del agua.

www.siac.gov.co/ Obtenido de: <http://www.siac.gov.co/calidadagua>

Suarez, C.L. (2011) TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN EL VALLE DEL CAUCA. (Tesis de posgrado) UNIVERSIDAD DEL VALLE. Colombia, Santiago de Cali. Obtenido de:

<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/10174>

Tilley, E. Ulrich, L., Lüthi, C. Reymond, P. Schertenleib, R. & Zurbrügg, C.

(EAWAG/SANDEC) (2020a) Fosa séptica. sswm.info Obtenido de:

<https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/recoleccion-y-almacenamiento/fosa-s%C3%A9ptica>

Tilley, E. Ulrich, L., Lüthi, C. Reymond, P. Schertenleib, R. & Zurbrügg, C.

(EAWAG/SANDEC) (2020b) Tanque Imhoff. sswm.info Obtenido de:

<https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/tanque-imhoff>

Tilley, E. Ulrich, L., Lüthi, C. Reymond, P. Schertenleib, R. & Zurbrügg, C.

(EAWAG/SANDEC) (2020c) Laguna de estabilización. sswm.info Obtenido de:

<https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/laguna-de-estabilizaci%C3%B3n>

Tilley, E. Ulrich, L., Lüthi, C. Reymond, P. Schertenleib, R. & Zurbrügg, C.

(EAWAG/SANDEC) (2020d) Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente. sswm.info

Obtenido de: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/recoleccion-y-almacenamiento/filtro-anaerobio-de-flujo-ascendente>

Torres, M. (2013). PERSPECTIVAS DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN PAÍSES EN DESARROLLO. (Artículo). Escuela de ingeniería de Antioquia. Medellín. Obtenido de <file:///C:/Users/ALEJA/Downloads/Dialnet-PerspectivasDelTratamientoAnaerobioDeAguasResidual-5688315.pdf>

Utgés, E. (2017) Reactor de lecho fluidizado para tratar un efluente industrial con Furfural.

UCES - Editorial de la Universidad de Ciencias Empresariales y Sociales. Revista Terra Mundus, 4(1). Obtenido de:

http://dspace.uces.edu.ar:8180/xmlui/bitstream/handle/123456789/3711/Reactor_Utg%c3%a9s.pdf?sequence=1

Valdivielso, A. (2021) ¿Qué es un sistema de lodos activados? iagua.es Obtenido de:

<https://www.iagua.es/respuestas/que-es-sistema-lodos-activados>

Van Haandel, A., & Lettinga, G. (1994). Tratamiento Anaerobio de Esgotos —Un manual para regiones de clima calientell. Brasil. Editorial EPGRAF. Campina Grande.

Villacis, A. (2011). Estudio de un Sistema de Depuración de Aguas Residuales para reducir la contaminación de Río Ambato y los sectores aledaños, en el sector de Pisocucho, de la parroquia Izamba, del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica De Ambato. Ambato, Ecuador. Obtenido de.

https://www.google.com/search?q=definici%C3%B3n+malos+olores+en+las+aguas+residuales+tesis+pdf&sxsrf=ALeKk03je4OiIauMAadmmpmvnyNbPQ1sU1Q%3A1628743342995&ei=rqYUYeyZPOGrwbkPva6OwA0&oq=definici%C3%B3n+malos+olores+en+las+aguas+residuales+tesis+pdf&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAM6BwgAEEcQsANKBAhBGABQ3m1Ys4QBYOGGAWgBcAJ4AIAB7QKIAYEWkgEGMi0xMS4xmAEAoAEBByAEIwAEB&scient=gws-wiz&ved=0ahUKEwjsqI7j1aryAhXhVTABHT2XA9gQ4dUDCA4&uact=5

Vivanco, E., Yaya, R. & Chamy, R. (s.f) Manual técnico sobre tecnologías biológicas anaerobias aplicadas al tratamiento de aguas y residuos industriales. Red de Tratamiento y reciclaje de aguas industriales mediante soluciones sostenibles fundamentadas en procesos biológicos. CYTED Obtenido de:

http://www.cytmed.org/sites/default/files/tratamiento_anaerobio_de_aguas_residuales.pdf

Von Sperling, M. (1996). Comparison among the most frequently used systems for wastewater treatment in developing countries. International symposium on technology transfer. Journal Water Science Technology, 33 (3). 59–72. Obtenido de.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0273122396003010>

Zuñiga, O.E. (2015) Análisis de la contaminación microbiológica en el río Combeima, municipio de Ibagué (Tolima, Colombia) Revista Producción + Limpia. 10 (2) pp. 92 – 103 Obtenido de:

<http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/899/623>