
**TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN LA ZONA
RURAL Y SU POSTERIOR USO EN LA INDUSTRIA AGRICOLA**

(Autor)

WOLFAN SAIT SUECUN DIAZ

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA, junio 10 de 2020

**TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN LA ZONA
RURAL Y SU POSTERIOR USO EN LA INDUSTRIA AGRICOLA**

(Autor)

WOLFAN SAIT SUESCUN DIAZ

**Trabajo de monografía presentado como requisito para optar al título de
INGENIER(A)O QUÍMIC(A)O**

Director: MANUEL ANDRES RIVERA GUERRERO

Ingeniero químico

MSc en Controles industriales

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
Pamplona, junio 10 de 2020**

Dedicatoria

A mi abuela Policarpa Gelvez Díaz que cuidó de mí, que me formó desde temprana edad como una persona íntegra con el ejemplo de sus buenos valores y gracias a su ejemplo sirvió como motivante para desarrollar todo lo que me propusiera.

A mi madre Luz Dary Díaz Jaimes y a mi padre Carlos Andrés Suescun Gelvez por su paciencia, comprensión y apoyo total en cada proyecto que me propusiera, acompañándome siempre con amor y confianza total.

A Diana Carolina Jaimes Salcedo, por su apoyo incondicional en cada etapa de la formación profesional, que sirvió como motivante en los momentos más difíciles.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a mi familia quienes siempre entregaron su confianza en mí, me dieron apoyo y me llenaron de amor.

A todos los docentes que estuvieron presentes en mi formación profesional y llenaron cada vacío con sus conocimientos.

A él ingeniero Manuel por su paciencia y comprensión en su función como director de esta monografía.

.

GLOSARIO

AR aguas residuales

ARD aguas residuales domesticas

ARI aguas residuales industriales

DBO demanda bioquímica de oxígeno

DBO₅ Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días

DL₅₀ Dosis letal media

DQO demanda química de oxígeno

ESP Empresa de servicios públicos

FLS humedales de flujo subsuperficial

HFS humedales de flujo superficial

INCONTEC

NPK nitrógeno fosforo y potasio

PSI Porcentaje de sodio intercambiable

RAS Relación de Adsorción de Sodio

SINA Sistema Nacional Ambiental

SN sistema natural de tratamiento

SS solidos suspendidos

SST sólidos suspendidos totales

TPA tratamiento primario avanzado

TPC tratamiento primario convencional

TABLA DE CONTENIDO

1.;	Marcador	no
definido.2.;	Marcador	no
definido.3.;	Marcador	no
definido.3.1;	Marcador	no
definido.3.2;	Marcador	no
definido.4.		154
.1		154.1
.1		154.1.1
.1		154.1.1
.2		154.1.1
.3		164.1
.2		164.1.2
.1		164.1.2
.2		164.1.2
.3		174.1.2
.4		174.1.2
.5		194.1.2
.6		

		194.1.2
.7		194.1.2
.8		204.1.2
.9		224
.2		224
.3		234.3
.1		254.3.1
.1		254.3.1
.2		254.3.1
.3		264.3.1
.4		264.3
.2		274.3.2
.1		
27		27
4.3.2.2	284.3.3	284.3.4
	294.4	294.4.1
	294.4.1.1	314.4.1.2
	314.4.2	304.4.2.1
	304.4.2.2	304.4.2.3
	304.4.3	314.4.4
	324.4.5	334.4.6

344.4.6.1			354.4.6.2
354.5			384.5.1
384.5.2			414.5.3
434.5.4			434.6
435.			456.
467.;	Marcador	no	definido.8.
489.			53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de las aguas residuales adaptado de (CENTA, 2008)	23
Tabla 2. Niveles de tratamiento adaptado de (Cristea, 2016)	25
Tabla 3 Eficiencia remocional procesos de tratamiento de aguas	38
Tabla 4 Eficiencia remocional procesos de tratamiento de aguas	39
Tabla 5 Parámetros agronómicos resolución 1207 de 2014	42
Tabla 6 Directrices para interpretar la calidad del agua	44
Tabla 7 Tolerancia relativa de algunos cultivos al sodio intercambiable adaptada de	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Desbaste grueso	25	Figura 2	Desbaste
fino	25	Figura 3	
Tamizado	26	Figura 4	
Desarenado	26	Figura 5	Tratamiento
sedimentación.	27	Figura 6	primario,
primaria	28	Figura 7	Decantación
biológicas	28	Figura 8	de
		Figura 8	aguas
		Figura 8	salobre, Estados Unidos
			29
Figura 9 Floculación iónica	33	Figura 10	Humedal natural
			35

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital para la vida humana debido a la enorme cantidad que se requiere para las actividades diarias ya sean de uso doméstico, público, industrial o agrícola entre otras, esta cubre alrededor del 72% de la superficie terrestre sin embargo solo el 0.7% posee las condiciones físicas y químicas más viables para el consumo humano (Parada, 2012). En los últimos años factores como el crecimiento demográfico, la industrialización y la extensión de cultivos a gran escala han aumentado la demanda requerida, esto de la mano de factores ambientales ha traído una disminución de las fuentes hídricas en el mundo (Ojeda de la Cruz, Narváez Tijerina, & Quintana Pacheco, 2013). Esta problemática abre las puertas a buscar alternativas para aprovechar al máximo el agua, una alternativa para esto es la reutilización de las aguas residuales, las cuales se clasifican en dos tipos aguas residuales domésticas e industriales. En la actualidad estas aguas residuales son poco tratadas, simplemente son descargadas a las fuentes hídricas o suelos y se opta por dejar que los contaminantes de estas aguas sean degradados naturalmente por los sistemas naturales, pero debido a la cantidad de contaminantes biológicos y químicos cada día es más difícil para los ecosistemas tratarlas por si solos (Juan Carlos BEDOYA PÉREZ, Alba Nelly ARDILA ARIAS, 2014).

Por esto muchos gobiernos se han enfocado en plantear alternativas para el tratamiento de estas aguas residuales, buscando una reducción de los contaminantes presentes en estas aguas antes ser vertidos en los sistemas naturales, pero el trabajo se puede quedar ahí además de un tratamiento se debe optar por una reutilización de esta agua residual tratada, buscando aprovechar al máximo el potencial que esta presenta.

Este trabajo se enfoca en la reutilización de aguas residuales domésticas en las zonas rurales, al ser la industria agrícola uno de los sectores que más demanda al necesitar alrededor del 70% del agua total utilizada en el mundo para su funcionamiento en los sistemas (Parada, 2012). Además la zona rural uno de los sectores con menor cantidad de agua residual tratada presenta un buen campo para optar por el tratamiento y la reutilización de las aguas residuales en sus sistemas de riego pero esto requiere una correcta caracterización de las aguas residuales, utilizar métodos idóneos para el tratamiento de estas aguas, cumplir todas las normativas legales y evaluar el impacto que puede generar en la calidad del suelo cultivado por esto este trabajo muestra una compilación teórica de diversas fuentes bibliográficas donde se hablara de estos factores mencionados anteriormente en Colombia.

2. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN

El agua como recurso básico es vital para la vida humana, este se ha visto afectado en los últimos años debido a una disminución en las fuentes hídricas; desbalance provocado por el calentamiento global, el uso excesivo por parte de las grandes empresas, la urbanización masiva, entre otros (Valle, Valle, García-González, Carvajal-escobar, & Jiménez-escobar, 2007). Estos problemas abren la puerta para buscar alternativas que ayuden a mitigar esta reducción en las fuentes hídricas, una opción es el aprovechamiento de las aguas residuales ya sean domesticas o industriales (Collazos, 2008). Pero debido al alto número de compuestos químicos o biológicos presentes en ellas no pueden ser utilizadas directamente, para esto se requiere un tratamiento físico, químico y biológico(Villanueva et al., 2013) o la implementación de métodos más avanzados (Valle et al., 2007) , pero lo más común es que estas aguas residuales sea segregadas directamente a las fuentes hídricas o a los suelos, lo que genera problemas de salud pública debido a la fácil propagación de enfermedades patógenas y problemas ambientales, al afectar los sistemas acuáticos y el suelo(Silva, Torres, & Madera, 2008).

Es difícil conocer la forma que en la que se han producido los alimentos provenientes del sector agrícola por eso es de vital importancia conocer la calidad del agua utilizada y debido a La elevada demanda de agua por parte de este sector en sus sistemas de riego o limpieza es común que se utilice agua no tratada, en el mundo se estima que hasta un 10% del agua utilizada en el riego es de este tipo esto se debe al bajo costo que genera (Silva et al., 2008). Actualmente en Colombia el 27% de agua que se utiliza en el riego es tratada y 73% es agua sin tratar, esta agua no tratada usualmente es agua residual diluida en fuentes hídricas superficiales (Latinosan, 2007). Por esto la implementación de sistemas de tratamientos de agua residual domestica presenta oportunidades para sector agrícola debido a su necesidad de abastecimiento en temporadas secas, para tener un uso constante en sus sistemas de riego, esta implementación de agua residual presenta beneficios económicos, ambientales y agrícolas; en cuestiones de fertilidad , gracias a los valores altos de macronutrientes presentes en las aguas residuales domesticas (NPK)(Medeiros, Soares, Ferreira, Neves, & Souza, 2008) en la materia orgánica remanente en el agua residual , beneficio que podría disminuir el uso de fertilizantes de origen químico (Collazos, 2008).

Además el impulsar estas alternativas ayudan la conservación de la biodiversidad, los recursos naturales y así favorecer el fácil cumplimiento de las políticas nacionales e internacionales; buscando mejorar los estándares de una producción agrícola más limpia, mejorando la productividad, impulsando la innovación por la utilización de métodos más sostenibles y ecológicos con el medio ambiente y así ayudar a combatir la pérdida de fertilidad en los suelos, el deterioro y la contaminación de los acuíferos superficiales.(Fl & Calder, 2014).

El agua residual se puede considerar materia orgánica por su cantidad de residuos biológicos presentes en ella, para impulsar la sostenibilidad de un suelo esta es de vital importancia, con esto se puede mantener una buena productividad(Passarini, Gamarra, & Vanalle, 2012), siendo uno de los factores claves en Colombia al poseer una alta biodiversidad en cuestión de climas y agricultura presenta las condiciones idóneas para la acelerar la descomposición de la materia orgánica, un manejo adecuado de esta es importante en los suelos ya que mejora la micro flora responsable de realizar un conjunto de procesos en la dinámica del suelo, las aguas residuales hacen parte de las principales fuentes de esta materia orgánica.(Brechelt, n.d.)

Debido a todos estos factores mencionados anterior mente la reutilización de las aguas residuales domesticas presentan una oportunidad para la agricultura colombiana en cuestiones económicas, ambientales, sociales y agrícolas, como se puede observar en los trabajos realizados a nivel nacional en la sabana bogotana donde se reúsan aguas residuales de origen agroindustrial e industrial para un posterior uso en el cultivo de hortalizas, pastos y flores, la industria energética es otro sector que ha optado por la reutilización de las aguas residuales, para el cultivo de caña de azúcar implementado en la elaboración de biocombustibles(Leal, Lozada, & Parra, 2014), esto demuestra la viabilidad de la implementación de las aguas residuales como materia para el riego agrícola.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar alternativas para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona rural, observando la calidad de agua obtenida y su viabilidad para un posterior reusó sistemas de riego.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar las ventajas y desventajas de utilizar las aguas residuales domesticas en sistemas de riego en cultivos agrícolas.
- Conocer la normativa legal en cuanto al reusó de las aguas residuales domesticas tratadas y sus respectivos criterios de calidad de agua.
- Mostrar la influencia que puede llegar a tener las aguas residuales en la fertilidad y calidad del suelo al ser utilizadas en los sistemas de riego.
- Conocer diferentes métodos para el tratamiento de aguas residuales domesticas en la zona rural.

4. AGUAS RESIDUALES NORMATIVA LEGAL, TRATAMIENTOS Y UTILIZACION EN EL SECTOR AGRICOLA

Son principalmente aguas generadas en una población después de ser utilizadas, en los diferentes procesos que se realicen, se llaman aguas residuales por todas las contaminaciones que resulta en ellas después de su uso, también se les puede llamar aguas servidas, negras o cloacales, estas constituyen un residuo por esto son aguas que directamente no pueden ser utilizadas.

4.1 MARCO LEGAL

4.1.1 NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS

4.1.1.1 RESOLUCIÓN 1207 DE 2014.

Esta establece de mano de la Constitución Política la obligación en cabeza del Estado y de los particulares de proteger las riquezas naturales de la Nación y planificar el uso y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su conservación, además restauración y uso sostenible. Buscando el uso eficiente del agua que es fundamental para la conservación del recurso hídrico y es básico para el desarrollo sostenible, que en el contexto de Gestión Integral del Recurso Hídrico el reúso del agua residual aparece como una estrategia para el ahorro y uso eficiente del agua y esta muestra los valores máximo para el reúso de agua residual buscando así una solución ambientalmente amigable, capaz de reducir los impactos negativos asociados con la extracción y descarga a cuerpos de agua naturales.(RESOLUCIÓN, 2014)

4.1.1.2 Gestión ambiental calidad de agua.

La norma NTC-ISO 5667-10 fue ratificada por el Consejo Directivo de 1995-06- 21. Esta norma puede sufrir modificaciones por su naturaleza, fue producida por INCONTEC, ente privado que realiza y revisa las normas técnicas colombianas, esta se renueva según las exigencias del momento, Esta norma contiene detalles sobre muestreo de aguas residuales domésticas e industriales; es decir, el diseño de programas y técnicas de muestreo para la recolección de muestras, Cubre las aguas residuales en todas sus formas. El objetivo de esta norma es variado, pero de los más importantes es determinar el grado de contaminación de una AR mediante las concentraciones de los contaminantes; suministrar datos para la operación de una planta de tratamiento de aguas residuales; Realizar ensayos para determinar si en una descarga determinada se mantienen los límites de concentración;

Suministrar datos para el avalúo de impuestos por descarga de aguas residuales. Para esto se recomienda programas para el muestreo de las aguas residuales con el objetivo de evaluar los pros y contra de los tratamientos dados a las AR. (ICONTEC, 2004)

4.1.1.3 GTC 31 Gestión ambiental agua.

Esta norma técnica colombiana realizada por el ICONTEC fue ratificada por el Consejo Directivo de 27 de noviembre de 1996, Esta es una guía que sirve para escoger el método para detectar y determinar el efecto en organismos por la presencia de sustancias tóxicas, contenidas en las aguas naturales o residuales y permite evaluar el límite que pueden soportar los organismos, conocida como concentración letal media (DL50). Así evaluar los métodos para conocer el nivel de toxicidad y el posible daño que le puede generar a la flora y fauna, mediante la evaluación de la toxicidad de los vertimientos con esto también se puede generar sistemas de alerta. (ICONTEC, n.d.)

4.1.2 DECRETOS, LEYES Y RESOLUCIONES COLOMBIANAS

4.1.2.1 Decreto 2811 de 1974.

Este decreto fue realizado por el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Establece el ambiente como patrimonio común. Presenta que el Estado y los particulares deben participar en su preservación del ambiente y presenta eso como un factor de interés social. Este decreto es fundado en el principio de que el ambiente es patrimonio común de la humanidad y necesario para la supervivencia y el desarrollo económico y social de los pueblos, este Código tiene por objeto: lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables, plantea las plantas de tratamiento de AR como una herramienta para ayudar a mantener y preservar el agua potable en nuestro entorno. (Decreto 2811 de 1974)

4.1.2.2 Ley 9 de 1979.

En esta ley para la protección del Medio Ambiente establece:

a) Las normas generales que servirán de fundamentos a y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar u mejorar las condiciones necesarias en lo que se relaciona a la salud humana.

b) Los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente. Para los efectos de aplicación de esta Ley se entenderán por condiciones sanitarias del ambiente las necesarias para asegurar el bienestar y la salud humana. Las normas de protección de la calidad de las aguas se aplicarán tanto a unas como a otras. Del control sanitario de los usos del agua.

Para la revisión de los recursos hídricos se tendrán en cuenta los siguientes factores: Consumo humano, Doméstico, Preservación de la flora y fauna, Agrícola y pecuario, Recreativo, Industrial, Transporte. El Ministerio de Salud establecerá cuales usos que produzcan o puedan producir contaminación de las aguas, requerirán su autorización previa a la concesión o permiso que otorgue la autoridad competente para el uso del recurso. El Ministerio de Salud es el encargado de establecer las características admisibles que deben tener las aguas para efectos sanitarios. para esto se buscará tener en cuenta por lo menos, uno de los siguientes criterios: La preservación de sus características naturales, la conservación de ciertos límites acordes con las necesidades del consumo humano y con el grado de desarrollo previsto en su área de influencia, el mejoramiento de sus características hasta alcanzar las calidades para consumo humano y las metas propuestas para un conveniente desarrollo en el área de influencia. Todo usuario de las aguas deberá cumplir, además de las disposiciones que establece la autoridad encargada de administrar los recursos naturales, las especiales que establece el Ministerio de Salud. La descarga de residuos en las aguas deberá ajustarse a las reglamentaciones que establezca el Ministerio de Salud para fuentes receptoras. (Ley 9 de 1979)

4.1.2.3 Decreto 1594 de 1984

Esta norma declara las condiciones y los compuestos permitidos del vertimiento de líquidos. Cuando quiera que el presente Decreto se refiera a recurso, se entenderá por tipos aguas superficiales, subterráneas y marinas, incluidas las aguas residuales (Decreto 1594 de 1984)

4.1.2.4 Ley 99 de 1993

La política ambiental colombiana seguirá los siguientes principios generales: El proceso de desarrollo del país se orientará según los principios universales y del desarrollo sostenible contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de junio de 1992 sobre Medio Ambiente y Desarrollo, la biodiversidad del país, por ser patrimonio nacional y de interés de la humanidad, deberá ser protegida prioritariamente y aprovechada en forma sostenible, las políticas de población tendrán en cuenta el derecho de los seres humanos a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza, las zonas de páramos, sub-páramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial, en la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso. Sin embargo, las autoridades ambientales y las personas naturales darán aplicación al principio de precaución conforme al cual, cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de conocimiento sobre la ley o las composiciones de los residuos no deberá utilizarse como para defenderse o cobijar un daño ambiental, el estado incorporará instrumentos para la prevención, corrección y restauración del deterioro ambiental y para la conservación de los recursos naturales renovables, el paisaje por ser patrimonio común deberá ser protegido, la prevención de desastres será materia de interés colectivo y las medidas tomadas para evitar o mitigar los efectos de su ocurrencia serán de obligatorio cumplimiento, la acción para la protección y recuperación ambientales del país es una tarea conjunta y coordinada entre el Estado, la comunidad, las organizaciones no gubernamentales y el sector privado. El Estado apoyará e incentivará la conformación de organismos no gubernamentales para la protección ambiental y podrá delegar en ellos algunas de sus funciones, los estudios de impacto ambiental serán el instrumento básico para la toma de decisiones respecto a la construcción de obras y actividades que afecten significativamente el medio ambiente natural o artificial, el manejo ambiental del país, conforme a la Constitución Nacional, será descentralizado, democrático y participativo, para el manejo ambiental del país, se establece un Sistema Nacional Ambiental, SINA, cuyos componentes y su interrelación definen los mecanismos de actuación del Estado y la sociedad civil, Las instituciones ambientales del Estado se estructurarán teniendo como base criterios de manejo integral del medio ambiente y su interrelación con los procesos de planificación (“Ley 99 de 1993 | Secretaría Distrital del Hábitat,” n.d.)

4.1.2.5 Ley 42 de 1993.

El Control fiscal en su artículo 8: La vigilancia de la gestión fiscal del Estado se fundamenta en la eficacia, la economía, la eficiencia, la equidad, y la valoración de los costos ambientales, de tal manera que permita determinar en la administración, en un período determinado, que la asignación de recursos sea la más conveniente para maximizar sus resultados; que en igualdad de condiciones de calidad los bienes y servicios se obtengan al menor costo, que sus resultados se logren de manera oportuna y guarden relación con sus objetivos y metas. Así mismo, que permita identificar los receptores de la acción económica y analizar la distribución de costos y beneficios entre sectores económicos y sociales y entre entidades territoriales y cuantificar el impacto por el uso o deterioro de los recursos naturales y el medio ambiente y evaluar la gestión de protección, conservación, uso y explotación de los mismos (“Ley 42 de 1993 | Secretaría Distrital del Hábitat,” n.d.)

4.1.2.6 Ley 142 de 1994.

Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, distribución de gas combustible, telefonía pública básica conmutada y la telefonía local móvil en el sector rural; a las actividades que realicen las personas prestadoras de servicios públicos. El objeto es garantizar la calidad del bien del servicio público y su disposición final para asegurar el mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios. Atención prioritaria de las necesidades básicas insatisfechas en materia de agua potable y saneamiento básico (“Ley 142 de 1994 | Secretaría Distrital del Hábitat,” n.d.).

4.1.2.7 Resolución 1096 de 2000.

Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico, RASII. Considera que corresponde al Ministerio de Desarrollo Económico, formular la política de gobierno en materia social del país relacionada con la competitividad, integración y desarrollo de los sectores productivos del agua potable y saneamiento básico y expedir resoluciones, circulares y demás actos administrativos de carácter general o particular necesarios para el cumplimiento de sus funciones; ARTICULO 86, ARTICULO 119 tratamiento y manejo de lodos. ARTICULO 121 Sistemas de instrumentación y control. ARTICULO 175Desinfección de los efluentes de las PTAR. El proceso de desinfección debe realizarse en el efluente de plantas de tratamiento de agua residual (PTAR), cuando este último pueda crear peligros para la salud de las comunidades aguas abajo de la descarga. El

proceso de desinfección que se utilice debe seleccionarse después de la debida consideración de: caudal de aguas residuales a tratar; calidad final deseada de desinfección; razón de aplicación y demanda; el pH del agua que va a desinfectarse; costos del equipo y suministros y disponibilidad. ARTICULO 176 Manejo de lodos en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Todos los niveles de complejidad deben contemplar el manejo de lodos en su sistema de tratamiento de aguas residuales. Para esto, deben presentarse balances de masa de los procesos con los trenes de tratamiento de agua y lodos. Los efluentes líquidos del tren de lodos deben integrarse en los balances de masa del tren líquido. Además, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones: No deben descargarse dichos efluentes a cuerpos de agua superficiales o subterráneos. Los lodos primarios deben estabilizarse; se debe establecer un programa de control de olores; se debe establecer un programa de control de vectores. Además, se debe hacer una caracterización de los siguientes parámetros en los lodos: sólidos suspendidos, sólidos totales, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo y metales; adicionalmente para el nivel alto de complejidad, cromo, plomo, mercurio, cadmio, níquel, cobre y zinc. (Ministerio de desarrollo económico, 2000)

4.1.2.8 CONPES 3177 de 2002.

Este documento somete a consideración del CONPES las acciones prioritarias y los lineamientos para la formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales (PMAR) con el fin de promover el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico de la Nación. La política de agua potable y saneamiento básico establece la necesidad de formular un Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales donde sea viable y sostenible económica, social y ambientalmente. Para ello se requiere la articulación de instrumentos económicos y financieros y recursos para la inversión en tratamiento de aguas residuales, teniendo en cuenta la vulnerabilidad de las fuentes hídricas, así como la capacidad de pago de la población, la sostenibilidad financiera e institucional de las empresas para la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado y las metas de aumento de coberturas de dichos servicios. En junio de 1999 se definió una agenda conjunta de trabajo entre los Ministerios de Desarrollo Económico (MDE) y de Medio Ambiente (MMA), en la cual se propusieron líneas de acción en materia de política, regulación, fortalecimiento institucional y proyectos sectoriales. En el marco de esta Agenda, los Ministerios y el Departamento Nacional de Planeación (DNP) han llevado a cabo diversas acciones, llegando a acuerdos entre los que se destacan los siguientes: necesidad de articular los instrumentos de las políticas sectoriales de

agua potable y saneamiento básico y de medio ambiente para la formulación del PMAR que promueva la descontaminación y mejoramiento de la calidad de los cuerpos hídricos. Dicho Plan deberá tener en cuenta las condiciones socioeconómicas de los municipios y de los usuarios de los servicios, construir criterios y metodologías para realizar una identificación de las inversiones requeridas en descontaminación de los cuerpos de agua de la Nación y priorizar los principios que requieren atención inmediata y que a su vez cuenten con las condiciones ambientales, técnicas e institucionales requeridas para la construcción de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, realizar una priorización de las inversiones en tratamiento de aguas residuales, se realizara cobro en las tarifas del agua para recuperar las aguas ya contaminadas por uso doméstico o industrial. La contaminación de un cuerpo de agua depende del tamaño y calidad del vertimiento, así como del tamaño de la fuente y su capacidad de asimilación. Los cuerpos hídricos del país son receptores de vertimientos de aguas residuales y su calidad se ve afectada principalmente por los vertimientos no controlados provenientes del sector agropecuario, doméstico e industrial. Estrategias en el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: El Gobierno Nacional ha desarrollado las siguientes estrategias: i) aumento de coberturas de los servicios de acueducto y alcantarillado, ii) ampliación del tratamiento de aguas residuales, y iii) desarrollo de esquemas tarifarios que permitan financiar los costos de inversión y operación de los sistemas de acueducto y alcantarillado. Ampliación del tratamiento de aguas residuales: Con el fin de avanzar en la descontaminación del recurso hídrico, el MMA conjuntamente con las Autoridades Ambientales Regionales -CAR- (Corporaciones Autónomas Regionales, Corporaciones para el Desarrollo Sostenible y Autoridades Ambientales de los Grandes Centro urbanos) ha venido apoyando la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales. En la actualidad existen 237 plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas¹⁰ construidas en 235 municipios, que tratan cerca del 8% de los vertimientos producidos por éstos. Sin embargo, gran parte de estos sistemas de tratamiento de aguas residuales presentan deficiencias en cuanto a su capacidad y no cumplen con el proceso completo de tratamiento. Así mismo, aunque la Ley 142 de 1994 contempla la recuperación de los costos de operación y mantenimiento, en la mayoría de los casos estos no fueron incluidos en la estructura de costos de los prestadores, y a la fecha no ha sido posible garantizar la sostenibilidad de dichas inversiones. Las Empresas de Servicios Públicos (ESP), especialmente de las grandes ciudades han realizado inversiones en tratamiento de aguas residuales, incluida la

construcción de colectores e interceptores para recolectarlas. (Departamento Nacional de Planeación, 2002)

4.1.2.9 Decreto 3440 de 2004. ARTÍCULO 3°.

Las Autoridades Ambientales Competentes cobrarán la tasa retributiva por los vertimientos puntuales realizados a los cuerpos de agua en el área de su jurisdicción, de acuerdo a los Planes de Ordenamiento del Recurso establecidos en el Decreto 1594 de 1984 o en aquellas normas que lo modifiquen o sustituyan. Para el primer quinquenio de cobro, en ausencia de los Planes de Ordenamiento del Recurso, las Autoridades Ambientales Competentes podrán utilizar las evaluaciones de calidad del recurso disponible. ARTÍCULO 2°. Modifícase la siguiente definición contenida en el artículo 4° del Decreto 3100 de 2003: "Proyectos de inversión en descontaminación hídrica. Son todas aquellas inversiones cuya finalidad sea mejorar la calidad físico químico y/o bacteriológico de los vertimientos o del recurso hídrico. Incluyen la elaboración y ejecución de los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico. Igualmente, comprende inversiones en interceptores, emisarios finales y sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas y, hasta un 10% del recaudo de la tasa podrá utilizarse para la cofinanciación de estudios y diseños asociados a los mismos (Ministerio de Ambiente, 2011)

4.2 AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.

Las aguas residuales domésticas (ARD) son todas las que se generan en áreas urbanas, provenientes de actividades de diarias, son residuos de la comunidad y usualmente se caracterizan por poseer principalmente contaminantes biológicos, las ARD usualmente reportan valores de pH neutros, demandas químicas de oxígeno entre 250 y 800 mg/L y demandas bioquímicas de oxígeno entre el 40% y 60% de la DQO (Muñoz Cruz, 2008), Hay otros factores claves que caracterizan las ARD, los más comunes son el contenido en aceites y grasas, Sólidos en suspensión o también denominados sólidos totales; entre estos se pueden encontrar los sólidos sedimentables y los no sedimentables, Nitrógeno presente en forma de nitrógeno orgánico o amoníaco, nitratos y nitritos, fósforo que se presenta principalmente como fosfatos orgánicos y poli fosfatos y Organismos patógenos, estos parámetros son los más utilizados para caracterizar las ARD, aunque estos valores

varíen entre los autores y el sitio en donde se realicen las medidas, los hábitos de la población, el clima, factores socio económicos etc., en la tabla 1 se presenta un promedio. (CENTA, 2008a)

CONSTITUYENTE	CONCENTRACIONES mg/L		
	ALTO	MEDIO	BAJO
Sólidos totales	1200	700	350
Disuelto	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
En suspensión	350	200	100
Fijos	75	50	30
Volátiles	275	150	70
Sólidos sedimentables ml/l-h	20	10	5
DBO (5 días, 20°C)	400	200	100
DQO	800	380	190
Nitrógeno total (como N)	85	40	20
Orgánico (como N)	35	15	8
Amoniacal (como N)	50	25	12
Fósforo total (como P)	20	10	6
Cloruros (Cl)	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO ₃)	200	100	50
Grasas	150	100	50
Calcio (como Ca)	110	50	10
Magnesio (como Mg)	10	9	8
Sodio (como Na)	100	50	23

Tabla 1. Propiedades de las aguas residuales adaptado de (CENTA, 2008)

4.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales domesticas o industriales en la mayoría de los países son vertidas directamente a los suelos y cuerpos de aguas superficiales, esto debido a la poca regulación de las normas o decretos nacionales o internacionales, pero un correcto manejo de las aguas residuales se divide en 4 secciones, que van aumentando dependiendo de la complejidad

del método utilizado, la tabla 2 describe cada nivel de tratamiento y el tipo de contaminantes que se remueve en cada etapa.

NIVEL DE TRATAMIENTO	MECANISMOS PREDOMINANTES	ITEM CONTAMINANTES REMOVIDOS	EFICIENCIAS DE REDUCCION
PRELIMINAR	FISICO	Solidos gruesos (basuras, arenas) Grasas Acondicionamiento químico (PH)	SS: <10% DBO: <10% Coliformes: =0% Nutrientes: =0%
PRIMARIO	FISICO	Solidos suspendidos sedimentables Materia orgánica suspendida (parcialmente)	SS: 40-50% DBO: 25-35% Coliformes: 30-40% Nutrientes: <20%
PRIMARIO AVANZADO	FISICO Y QUIMICO	Solidos suspendidos sedimentables y no sedimentables Materia orgánica suspendida (parcialmente) Fosforo	SS: 70-85% DBO: 45-55% Coliformes: 60-90% Nutrientes: 20% N; 50-95%P
SECUNDARIO	BIOLOGICO O QUIMICO	Solidos no sedimentables Materia orgánica suspendida fina/soluble (parcialmente) Nutrientes (parcialmente) Patógenos (parcialmente) Contaminantes específicos	SS: 60-99% DBO: 60-99% Coliformes: 60-99% Nutrientes: 10-50%
TERCIARIO	BIOLOGICO O QUIMICO	Materia orgánica fina y soluble (pulimento) Nutrientes Patógenos (principalmente)	SS: >99% DBO: >99% Coliformes: >99,9% Nutrientes: >90%

Tabla 2. Niveles de tratamiento adaptado de (Cristea, 2016)

4.3.1 pretratamiento

4.3.1.1 Desbaste

La operación de desbaste consiste en la eliminación de sólidos grueso y sedimentables, lo más común es que esta se realice a través de rejas que aberturas entre 6mm y 25 mm, estas se utilizan para separar los sólidos grandes, para evitar futuros daños a los equipos de las siguientes etapas de tratamiento, dependiendo de la separación de las rejas se pueden clasificar entre desbaste fino y Desbaste Grueso, dependiendo de las características a tratar algunos autores reportan este pretratamiento de vital importancia (EOI, 2016), en la figura 1 y 2 se puede observar 2 sistemas de desbaste en plantas de tratamiento de agua residual.

Figura 1 Desbaste fino

(Perez de la Cruz & Urrea Mallebrera,



Figura 2 Desbaste grueso

(Picón & Morales, 2015)



4.3.1.2 Tamizado.

Tiene por función la reducción la cantidad de sólidos en suspensión de las aguas residuales, a través de ranuras sostenidas en un soporte delgado, el agua pasa por la parte superior del tamiz, los sólidos con tamaño superior a las aberturas de los tamices quedan retenidos en el enrejado y debido a la inclinación ruedan hacia contenedores ubicados en la parte inferior y la parte líquida pasan a través del enrejado, como se puede observar en la figura 3 (CENTA, 2008).

Figura 3 Tamizado (Correa, 2016)



4.3.1.3 Desarenado.

Su función es eliminar partículas con tamaño superior a 0.2mm, para evitar que se sedimenten en los canales y tuberías buscando proteger los elementos de la abrasión, la influencia de este proceso es vital para el mantenimiento de las estructuras de las plantas de agua de tratamiento (Mena-Sanz, 2008). En la figura 4 se puede observar una sección de desarenado en una planta de tratamientos convencional.

Figura 4 Desarenado (Carlos, 2011)



4.3.1.4 Remoción de grasas.

Se busca eliminar todas las grasas y materias flotantes ligeras en el agua, esto se logra haciendo pasar agua atrás de un depósito en forma de tabique, este obliga a las aguas a salir por la parte inferior del mismo y por diferencias de densidad los componentes con menos densidad del agua salen por la parte superior, este proceso es el principal cuando se trata

con aguas residuales de la industria pecuaria por la cantidad de grasas y residuos orgánicos que se obtienen (Pabón & Gélvez, 2009)

4.3.2 Tratamiento primario

Este proceso físico o fisicoquímico incluye la sedimentación de los sólidos en suspensión o procesos similares buscando reducir las DBO5 de las AR por lo menos un 20% antes de ser vertido y los SS por lo menos un 50%, el principal objetivo de esta etapa del tratamiento se centra en eliminar los sólidos en suspensión, agregando además una cierta reducción del material biodegradable, dado a que una buena parte de los sólidos que se eliminan están constituidos por materia orgánica como se puede observar en la figura 5.(CENTA, 2008b)

Figura 5 Tratamiento primario, sedimentación. (COLLAZOS, 2008)



4.3.2.1 Decantación primaria.

Su objetivo es la eliminación de la mayor parte posible de los sólidos sedimentables, gracias a la gravedad, esto es de vital importancia ya que de lo contrario generaría fuertes demandas de oxígeno en las siguientes etapas de tratamiento. (Eduardo & López, 2008), en la figura 6 se puede observar un proceso de decantación primaria.

Figura 6 Decantación primaria (Nuevo, 2014)



4.3.2.2 Tratamientos fisicoquímicos.

En este tipo de tratamiento se caracteriza por la adición de reactivos químicos, buscando con esto incrementar la tasa reducción de los sólidos en suspensión, gracias al aumento del tamaño y densidad de los mismo mediante procesos de coagulación y flotación.

4.3.3 Tratamiento secundario

En esta etapa se busca principalmente la reducción de los compuestos orgánicos, ya acondicionada en el tratamiento primario, esta realiza exclusivamente procesos biológicos, buscando reducir o convertir la materia orgánica dividida o disuelta, en solidos sedimentables floculantes que se pueden separar por sedimentación en los tanque de decantación, estos tratamientos buscan un eficiencia emocional de la DBO entre el 85% y el 95% se puede observar un sistema de tratamiento secundario con procesos biológicos en la figura 7

Figura 7 Tratamiento de aguas biológicas (Vázquez, 2008)



4.3.4 Tratamiento terciario.

Son tratamientos más avanzados y rigurosos estos permiten obtener efluentes finales con mayor calidad, se caracterización por eliminación de material particulado y coloidal, entre esos métodos podemos encontrar procesos de intercambio iónico, adsorción, micro filtración, osmosis inversa, electro desinfección, membranas cerámicas, oxidación avanzada estos métodos son aplicados principalmente a empresas que dejen residuos tóxicos para la salud humana o el ecosistema, debido a su elevado costo es raro encontrarlos en plantas de tratamiento convencionales, usualmente se aplican para la remoción de metales pesados, (Caviedes Rubio, Muñoz Calderón, Perdomo Gualtero, Rodríguez Acosta, & Sandoval Rojas, 2015) en la figura 8 se puede observar un proceso de osmosis inversa aplicado en la industria.

Figura 8 Sistema de osmosis inversa tomado de aguas salobre, Estados Unidos (Aqua, s.f.)



En la tabla 8 del anexo 1 se pueden observar de manera más detalla las etapas y los diferentes métodos de cada una de estas.

4.4 ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL EN ZONAS RURALES

4.4.1 TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES

4.4.2 Procesos anaerobios de tratamiento.

Estos procesos son utilizados usualmente para la estabilización de fangos, residuos industriales y residuos orgánicos diluidos, en estos procesos se produce descomposición de materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno, estos procesos se pueden clasificar como cultivos fijos y en suspensión.

4.4.2.1 Digestión anaerobia.

En este proceso, la materia orgánica que reside en los fangos primarios y biológicos, se transforma bajo parámetros anaerobios en metano y dióxido de carbono. Este fango tratado posee contenidos bajos de organismos patógenos. Este proceso se realiza en reactores(biodigestores), en este se utilizan 2 tipos de biodigestores de baja y alta carga, el primero tiene tiempos de digestión muy elevados y no posee calentamiento ni agitación, el segundo posee calentamiento y agitación provocando reducción en los tiempos de digestión, se han presentado combinaciones de ambos.

Esta digestión se realiza usualmente en 2, en la primera etapa se trabaja con bacterias facultativas y anaerobia que hidrolizan y fermentan los compuestos orgánicos complejos a simples, el segundo grupo son bacterias metano génicas que convierten los ácidos grasos a simples y en metano. (CENTA, 2008b)

4.4.2.2 Proceso anaerobio de contacto.

Este proceso se suele utilizar con cargas altas de DBO, las AR se mezclan con una recirculación de fango, para una posterior digestión en un reactor anaerobio, tras la digestión este realiza un mezclado completo en el reactor y se separa los fangos mediante un clarificador o unidad de flotación al vacío, el material sobrenadante se vierte como efluente y los fangos ya sedimentados se recirculan a la entrada. (CENTA, 2008b)

4.4.2.3 Filtro anaerobio.

Este tipo de procesos realizan en una columna rellena de diversos soportes en los que se fijan, estas columnas poseen bacterias anaerobias, este tratamiento se utiliza principalmente para la materia carbonosa orgánica, las aguas residuales a tratar fluyen en sentido ascendente y como las bacterias están fijadas a las columnas se suele obtener tiempo de retención elevados. (Caviedes Rubio et al., 2015)

4.4.2.4 Procesos de tratamiento aerobio de cultivos en suspensión.

Estos tipos de tratamiento se aplican usualmente para excluir la materia orgánica y para los procesos de nitrificación en las AR, estos tratamientos se enfocan en utilizar microorganismos para mantener en suspensión los compuestos de la disolución, presentes en las AR (Gómez, 1993).

4.4.2.4.1 Lodos activados.

Este proceso aeróbico se basa en suspender las partículas gelatinosas de lodo presentes en las AR mediante un tanque de aireación, para recibir un flujo de aire constante, estas partículas están compuestas por cientos de bacterias en crecimiento constante aglutinadas por la sustancia gelatinosa. En este proceso el Floc absorbe la materia orgánica y la convierte en productos aeróbicos (Orjuela Gutiérrez & Lizarazo Becerra, 2013).

4.4.2.5 Procesos de cultivo fijo.

En estos procesos los microorganismos mantienen fijos los lechos formados por materiales permeables y realizan trabajos similares a los procesos de cultivo. (Gómez, 1993)

4.4.2.5.1 Filtro de goteo.

Durante este proceso una corriente de AR se distribuye intermitentemente sobre una columna revestido con algún material poroso en el cual está una película gelatinosa de microorganismos que actúan como consumidores de la materia orgánica de la corriente residual, estos microorganismos transforman esa materia orgánica en dióxido de carbono y agua. Este proceso usualmente es seguido por sedimentación y puede llegar a reducir cerca de un 85% la DBO₅. (Gómez, 1993)

4.4.3 Pozos sépticos

Las fosas sépticas se utilizan para el tratamiento de las aguas residuales de familias que habitan en zonas rurales o localidades que no posean con servicio de alcantarillado. El uso de tanques sépticos es permitido en localidades rurales, urbanas y urbano-marginales. Uno de los principales objetivos del diseño de la fosa séptica es crear dentro de esta una situación de estabilidad hidráulica, que permita la sedimentación por gravedad de las partículas pesadas. Los sólidos sedimentables que se encuentren en el agua residual cruda forman una capa de lodo en la parte inferior del tanque séptico. Las grasas, aceites y demás material

ligero tienden a acumularse en la superficie donde forman una capa flotante en la parte superior y la capa de lodo sedimentado en el fondo. El líquido pasa por el tanque séptico entre dos capas constituidas por la espuma y los lodos. La materia orgánica contenida en las capas de lodo y espuma es descompuesta por bacterias anaerobias, y una parte considerable de ella se convierte en agua y gases más estables como dióxido de carbono, metano y sulfuro de hidrógeno. El lodo que se acumula en el fondo del tanque séptico está compuesto sobre todo de lignina, la cual hace parte de la composición del papel higiénico, aunque este material llegue a degradarse biológicamente, la velocidad de descomposición es tan baja que se forma acumulación. Las burbujas de gas que suben a la superficie y crean cierta perturbación en la corriente del líquido. Este del proceso de digestión aumenta su velocidad con la temperatura, con el máximo alrededor de los 35°C. El efluente de los tanques sépticos es anaerobio y contiene probablemente un número elevado de agentes patógenos, que son una fuente potencial de infección, no debe usarse para regar cultivos de manera directa, tampoco descargarse en canales o aguas superficiales sin permiso de la autoridad sanitaria. Los elementos básicos de una fosa séptica son: el tanque séptico y el campo de Oxidación; en el primero se sedimentan los lodos y se estabiliza la materia orgánica mediante la acción de bacterias anaerobias, en el segundo las aguas se oxidan y se eliminan por infiltración en el suelo, en la figura 9 se puede observar la construcción de un pozo séptico. (Orjuela Gutiérrez & Lizarazo Becerra, 2013).

Figura 9 Construcción de pozo séptico



4.4.4 Flocculación iónica:

Este método no requiere ningún insumo químico ni orgánico. El tiempo de proceso de potabilización es muy rápido (4 horas). Trata de manera eficiente residuos orgánicos e

inorgánicos. Trabaja a cualquier temperatura, grado de saturación, acidez o alcalinidad. Utiliza energía eléctrica de bajo voltaje (tipo domestico). Los costos de Instalación, operación y mantenimiento son muy bajos. Las plantas de tratamiento son modulares y pueden ser pequeñas y portátiles, o de las dimensiones que se requieran, ocupan menos del 50 % de la superficie de terreno que las plantas convencionales de tratamiento de aguas. (Orjuela Gutiérrez & Lizarazo Becerra, 2013). En la figura 10 se puede observar un sistema de tratamiento mediante floculación iónica.

Figura 8 Floculación iónica



4.4.5 Lagunas de oxidación

Este proceso requiere una extensión amplia de terreno, es uno de los más utilizados en las zonas rurales, estas lagunas usualmente poseen una profundidad de 0.6 a 1.5 con extensiones hasta de una hectárea en la zona inferior se descomponen los sólidos y maneja condiciones anaerobias, este cambio en las condiciones del estanque, dependen del suministro de aireación complementaria, de la profundidad del estanque y del grado de mezcla natural o inducida. Casi todos los estanques son facultativos, aquí los sólidos sedimentables retenidos sufren descomposición aerobia en el fondo del estan que los residuos orgánicos solubles son transformados en CO₂ y agua para las bacterias aerobias de los niveles superiores la zona superior que posee contacto con las superficie posee propiedades aeróbicas, estas lagunas permiten oxidación de la materia orgánica disuelta y coloidal, pueden lograrse reducciones de

la DBO₅ de un 75 a 80 %, (Arévalo & Lituma, 2010) en la figura 11 se puede observar una laguna de oxidación a campo abierto.

Figura 11 Lagunas de oxidación



4.4.6 Humedales.

Se consideran humedales, las extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, esto incluye las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros. Los sistemas naturales de tratamiento (SN) están surgiendo como alternativas de bajo costo, fáciles de operar y eficientes en comparación con los sistemas de tratamiento convencional para una amplia gama de aguas residuales. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales basados en macrófitas acuáticas tienen una función vital en relación con la depuración del agua residual. Los humedales están entre los ecosistemas más importantes de la tierra por sus condiciones hidrológicas, y porque constituyen un enlace entre sistemas terrestres y acuáticos. Un humedal artificial es un sistema complejo de medio saturado, diseñado y construido por el hombre, con vegetación sumergida y emergente y vida animal acuática que simula un humedal natural para el uso y beneficio humano, Estos se pueden clasificar en 2 tipos, en la figura 12 se puede observar un humedal natural.

Figura 19 Humedal natural



4.4.6.1 flujo superficial.

Los sistemas de humedales se describen típicamente por la posición de la superficie del agua y/o el tipo de vegetación presente. La mayoría de los humedales naturales son sistemas de flujo libre superficial en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera; estos incluyen a los fangales (principalmente con vegetación de musgos), las zonas pantanosas (principalmente de vegetación arbórea), y las praderas inundadas (principalmente con vegetación herbácea y plantas macrófitas emergentes). En el caso de los humedales FLS esos sustratos son las porciones sumergidas de las plantas vivas, los detritos vegetales, y la capa béntica del suelo (Mena-Sanz, 2008).

4.4.6.2 Subsuperficial.

Los humedales de flujo subsuperficial (HFS) se diseñan y construyen para que el agua fluya a través de la zona radicular de la vegetación y por lo tanto no presentan una superficie libre de flujo. Este sistema consiste en una excavación que contiene un lecho de material filtrante que generalmente es grava, el cual soporta el crecimiento de la vegetación emergente. En esencia, un humedal de flujo subsuperficial se clasifica como un sistema de tratamiento de película fija. Los contaminantes en los sistemas con macrófitas son removidos por una variedad compleja de procesos biológicos, físicos y químicos, incluyendo sedimentación, filtración, adsorción en el suelo, degradación microbológica, nitrificación y des nitrificación, decaimiento de patógenos y metabolismo de las plantas. Las macrófitas remueven contaminantes por asimilación directa dentro de sus tejidos, además proveen superficie de contacto y un ambiente adecuado para que los microorganismos transformen los contaminantes y reduzcan sus concentraciones. La transferencia de oxígeno dentro de la zona radicular es otro proceso que contribuye a la remoción de contaminantes por la creación de un ambiente aerobio para algunas poblaciones bacterianas (Mena-Sanz, 2008). El medio filtrante de los HFS puede ser cascajo de piedra, grava, diferentes tipos de suelo o sustratos

enriquecidos, que soportan el crecimiento de vegetación emergente (Figura nn). El agua fluye horizontalmente a través de las raíces de las plantas y el medio filtrante, luego el efluente tratado es recolectado en un canal de salida o tubería (Orjuela Gutiérrez & Lizarazo Becerra, 2013).

En la tabla 3 y 4 se pueden ver las eficiencias emocionales de cada tratamiento.

PROCESO	EFICIENCIA REMOCIONAL							
	SS	DBO	DQO	NH3 85-98	Norg	No3	PO4	STD
Arrastre de amoníaco								
Filtración								
Múltiple	80-90	50-70	40-60		20-40			
Diatomea	95-99							
Microfiltro	50-80	40-70	30-60		20-40			
Destilación	99	98-99	95-98		90-98	99	99	95-99
Flotación	60-80				20-30			
Congelación	95-98	95-99	90-99		90-99	99	99	95-99
Separación de fase gas				50-70				
Aplicación en suelo	95-98	90-98	80-90	60-80	80-95	5-15	60-90	
Osmosis inversa	95-98	95-99	90-95	95-99	95-99	95-99	95-99	95-99
Porción		50	40				99	10
Carbón activado	80-90	70-90	60-75		50-90			
precipitación química	60-80	75-90	60-70	5-15	60-50		90-95	20
Precip. Química en lodo activado	80-95	90-95	85-90	30-40	60-50	30-40	30-40	10
Intercambio iónico		40-60	30-50	85-98	30-40	80-90	85-98	
Electroquímico	80-90	50-60	40-50	80-85	80-95		80-85	
Electrodiálisis				30-50	80-85	30-50	30-50	40
Oxidación química		80-90	65-70	50-80				
Reducción						NO3-NH3		

Asimilación bacteriana	80-5	75-95	60-80	30-40	30-40	30-40	10-20
Desnitrificación						60-95	
Lagunas		50-75	40-60	50-90	50-90	50-90	50
Nitrificación – desnitrificación						60-95	

Tabla 3 Eficiencia de remoción en procesos de tratamiento de aguas

Proceso	Solidos suspendidos	Eficiencia de remoción (%)			COLIFORMES
		DBO	N	P	
Tanque séptico	50-70	40-62	<10	<10	<60
Tanque séptico-filtro anaeróbico		70-90	10-25	10-20	60-90
Tanque séptico-filtro anaeróbico-humedal de flujos subsuperficial	81-88	71-82	15	15	74-96
Primario avanzado(TPA)	73-84	46-70	<30	75-90	80-90
Filtro anaeróbico-filtro de arena	>90	90	>95	-	-
Infiltración lenta	-	94-99	65-95	75-99	>99
Infiltración rápida	-	86-98	10-80	30-99	>99
Infiltración subsuperficial	-	90-98	10-40	85-95	>99
Escurrimiento superficial	-	85-95	10-80	20-50	90-99
Laguna facultativa	-	70-85	30-50	20-60	60-99
Laguna anaeróbica-laguna facultativa	-	70-90	30-50	20-60	60-99
Laguna anaeróbica-humedal	87-93	80-90	37-48	45-50	-
UASB	60-80	60-70	10-25	10-20	60-90
UASB-laguna facultativa	84	88	-	-	-
UASB-lodo activado convencional	85-95	85-95	15-25	10-20	70-95
UASB-lodo activado intermitente	84-86	87-93	20-90	23-72	-

Lodo activado convencional	80-90	85-93	30-40	30-45	60-90
Lodo activado flujo intermitente(RSB)	80-90	85-95	30-40	30-45	60-90
Lodo activado areacion prolongada	80-90	93-98	15-30	10-20	65-90
Filtro biológico	85-93	80-93	30-40	30-45	60-90
Biodiscos	85-93	85-93	30-40	30-45	60-90

Tabla 4 Eficiencia de remoción en procesos de tratamientos de aguas (Rojas, 2002)

4.5 CALIDAD DEL AGUA E INFLUENCIA EN LA FERTILIDAD DEL SUELO

Las aguas residuales son un recurso hídrico que permite el desarrollo de la agricultura aún en zonas áridas o semiáridas, gracias a que estas pueden aprovechar sus aportes nutricionales para las plantas, por lo que se reducen los costos de producción al no requerir o disminuir considerablemente la aplicación de fertilizantes químicos, hay evidencias que muestran que los nutrientes que contienen las aguas residuales mejora la fertilidad de los suelos. Esto se traduce en mejores rendimientos de los cultivos producidos (Ojeda de la Cruz et al., 2013). Esta alternativa de uso para las aguas residuales permiten el desarrollo de pequeñas zonas agrícolas de riego, generando empleo y producción de alimentos, pero debido a que las aguas residuales son un producto de desecho, contienen agentes patógenos y otros contaminantes, se deben buscar alternativas para el tratamiento como se vio en el apartado anterior y evaluar alternativas para la selección de agua a utilizar, el tipo de suelo y tipo de cultivo. (IAEN, 2014)

4.5.1 Calidad del agua de riego

El concepto de calidad del agua hace referencia a las características del agua que puedan afectar un uso específico, es una “relación entre la calidad del agua utilizada y las necesidades del usuario” (Ayers y Westcot, 1987). Cuando se habla de aguas residuales, la calidad del agua de riego puede variar significativamente según su origen como se vio en los apartados anteriores por esto el aprovechamiento de las aguas residuales con fines de reúso en agricultura supone poner especial atención a la calidad del agua, tanto desde el punto de vista agronómico, como desde el punto de vista microbiológico. Por esto es de vital importancia analizar parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que establezca la normatividad vigente en caso la c mencionada en los apartados anterior, esta aborda Algunos parámetros

agronómicos importantes a considerar en la calidad del agua de riego son: Conductividad Eléctrica (CE), cationes: Sodio (Na), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K); aniones: Carbonato (CO₃⁻²), Bicarbonatos (HCO₃⁻²), Cloruro (Cl⁻), Sulfato (SO₄⁻²) y Nitrato (NO₃⁻), entre otros, Para más información ver la tabla 5.(resolución 1207 de 2014)

VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
FISICOS		
Ph	Unidades de Ph	6,0-9,0
Conductividad	uS/cm	1.500,0
MICROBIOLOGICOS		
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1,0*E(+4)
Enterococos fecales	NMP/100mL	1,0
Helmintos parasitos humanos	Huevos y larvas/L	1,0
Protozoos parasitos humanos	Quistes/ L	1,0
Salmonella sp	NMP/100mL	1,0
QUIMICOS		
Fenoles totales	mg/L	0,002
Hidrocarburos totales	mg/L	1,0
BIOCIDAS		
2,4 D acido	mg/L	0,0001
Diuron	mg/L	0,0001
Glifosato	mg/L	0,0001
Mancozeb	mg/L	0,0001
Propineb	mg/L	0,0001
IONES		
Cianuro libre	mgCN-/L	0,2
Fluoruros	mgF-/L	1,0
METALES		
Aluminio	mgAL/L	5,0
Berilio	mgBE/L	0,1
Cadmio	mgCd/L	0,01
Cinc	mgZn/L	3,0
Cobalto	mgCo/L	0,05
Cobre	mgCu/L	1,0
Cromo	mgCr/L	0,1
Hierro	mgFe/L	5,0
Litio	mgLi/L	2,5
Manganeso	mgMn/L	0,2
Mercurio	mgHg/L	0,002
Molibdeno	mgMo/L	0,07
Niquel	mgNi7L	0,2
vanadio	mgV/L	0,1
METALOIDES		
Antimonio	mgSb/L	0,05
Arsénico	mgAs/L	0,1

Selenio	NO METALES mgSE/L	0,02
Cloro total residual (con mínimo 30 minutos de contacto)	OTROS mgCl ₂ /L	Menor a 1,0
Nitratos	mgNO ₂ -N/L	5,0

Tabla 5 Parámetros agronómicos resolución 1207 de 2014

Además, cuando se sospeche que la calidad del agua tiene algún problema relacionado con la presencia de metales pesados, se deberá solicitar la determinación de alguno(s) en específico, con base en el listado de la normatividad vigente o tomando como referencia los más importantes por sus efectos sobre la salud humana, tales como: Arsénico, Cadmio, Cianuros, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc.

Los parámetros bacteriológicos importantes a considerar en la calidad del agua de riego para cultivos agrícolas se puede ver la tabla, con el fin de evitar la contaminación del agua por bacterias y parásitos causantes de enfermedades de tipo gastrointestinal en humanos. La determinación de su presencia o ausencia en el agua de riego es importante, porque éstos afectarán la calidad sanitaria de los productos regados e incrementarán el riesgo de contraer enfermedades en los consumidores de éstos productos. Un aspecto más de la importancia de determinar la calidad del agua de riego radica principalmente en que ésta puede afectar las características físicas de los suelos, como su permeabilidad y los puede degradar. Para esto hay que evaluar la calidad del agua de riego se desde el punto de vista agronómico, considerando la salinidad, la sodicidad y la toxicidad. El aumento de la salinidad ocurre con las sales de calcio de baja solubilidad, lo que provoca un aumento del porcentaje de sodio intercambiable (PSI) que afecta la estructura del suelo. Normalmente, se utiliza a la Conductividad Eléctrica como parámetro para evaluar la salinidad del agua de riego. La sodicidad del agua de riego se evalúa utilizando la Relación de Adsorción de Sodio (RAS). Un alto contenido de sodio en el agua de riego puede inducir elevados índices de PSI, que pueden llevar a la pérdida de estructura del suelo por dispersión o hinchamiento de los agregados. La toxicidad del agua de riego se evalúa utilizando la determinación de los iones cloro, boro y sodio, ya que muchos cultivos son sensibles a la toxicidad de éstos, cuando las raíces del cultivo los absorben del agua de riego y llegan a las hojas de la planta donde se acumulan, afectando la función de fotosíntesis por el daño que presentan las hojas, y reflejándose en problemas de desarrollo y productividad del cultivo. Un factor crucial en el

agua de riego es la conductividad eléctrica cuando se presentan valores de CE de <0.7 ds/m se pueden regar casi todos los cultivos, excepto aquellos muy sensibles a sales. Por otro lado, si la CE se encuentra en el rango de 0.7 a 3.0 dS/m, sólo se recomienda sembrar aquellos cultivos que tengan buena a moderada tolerancia a salinidad estos factores al igual que otras directrices se pueden observar en la tabla 6.

PARAMETRO	UNIDAD	GRADO DE RESTRICCIÓN PARA SU USO		
		NINGUNO	LIGERO	MODERADO
Salinidad CE _w (1)	dS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
TDS	mg/l	<450	450-200	>2000
TSS	mg/l	<50	50-100	>100
RAS	0-3 meq/l	>0.7EC _w	0.7 — 0.2EC _w	<0.2EC _w
RAS	3-6 meq/l	>1.2EC _w	1.2 — 0.3EC _w	<0.3EC _w
RAS	6-12 meq/l	>1.9EC _w	1.9 — 0.5EC _w	<0.5EC _w
RAS	12-20 meq/l	>2.9EC _w	2.9 — 1.3EC _w	<1.3EC _w
RAS	20-40 meq/l	>5.0EC _w	5.0 — 2.9EC _w	<2.9EC _w
Sodio (Na ⁺)	Riego por aspersión meq/l	<3	>3	
Sodio (Na ⁺)	Riego superficial meq/l	<3	3-9	>9
Cloruro (Cl ⁻)	Riego por aspersión meq/l	<3	>3	
Cloruro (Cl ⁻)	Riego superficial meq/l	<4	4-10	>10
Cloruro (Cl ₂)	Total residual mg/l	<1	1-5	>5
B i c a r b o n a t o (HCO ₃)	mg/l	<90	90-500	>500
Boro (B)	mg/l	<0.7	0.7-3.0	>3.0
Sulfuro de hidrógeno	mg/l	<0.5	0.5-2.0	>2.0
Hierro (Fe)	Riego de goteo mg/l	<0.1	0.1-1.5	>1.5
Manganeso (Mn)	Riego de goteo mg/l	<0.1	0.1-1.5	>1.5
Nitrógeno total	mg/l	<5	5-30	>30
pH	Amplitud normal 6.5 - 8			

Tabla 6 Directrices para interpretar la calidad del agua (Bolivia, 2018)

4.5.2 Salinización

La salinización del suelo puede tenerse gracias a diversos factores, uno de ellos es una mala práctica del riego, recurriendo a un uso excesivo de agua de mala calidad del tipo físico-químico, favoreciendo la concentración de las sales en los terrenos. Sin importar el agua utilizada para el riego esta posee una cantidad de sales estas usualmente tienden a concentrarse en la superficie del terreno por evaporación del agua de riego, este fenómeno se puede notar al observar una costra blanquecina. Además de las aguas utilizadas en el riego, los fertilizantes aplicados pueden afectar la salinidad de los suelos. Este fenómeno se presenta usualmente en zonas áridas o semiáridas, también en temporadas secas, para conocer la tolerancia de algunos cultivos respecto al sodio se puede observar la tabla 8.

Sensibles I PSI < 15	Semitolerantes I 15 < PSI < 40	Tolerantes I PSI > 40
Palta (<i>Persea americana</i>)	Zanahoria (<i>Daucus carota</i>)	Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)
Frutas caducifolias	Trébol ladino (<i>Trifolium repens</i>)	Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)
Nueces	Pato miel, gramalote (<i>Paspalum dilatatum</i>)	Remolacha hornamental (<i>Beta vulgaris</i>)
Frijoles (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Fetusca alta (<i>Festuca arundinacea</i>)	Remolacha azucarera (<i>Beta vulgaris</i>)
Algodón (germinación) (<i>Gossypium hirsutum</i>)	Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	Zacate Bermuda (<i>Cynodon dactylon</i>)
Maíz (<i>Zea mays</i>)	Mijo (<i>Pennisetum typhoides</i>)	Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>)
Arveja (<i>Pisum sativum</i>)	Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)	Capín, hierba de Pará (<i>Brachiaria mutica</i>)
Toronja (<i>Citrus paradisi</i>)	Bersim, trébol de Alejandría (<i>Trifolium alexandrinum</i>)	Zacate Rhodes (<i>Chloris gayana</i>)
Naranja (<i>Citrus sinensis</i>)	Meliloto, trébol dulce (<i>Melilotus parviflora</i>)	Agropiro crestado (<i>Agropyron cristatum</i>)
Durazno (<i>Prunus persica</i>)	Mostaza (<i>Brassica juncea</i>)	Agropiro alargado (<i>Agropyron elongatum</i>)
Mandarina (<i>Citrus reticulata</i>)	Avena (<i>Avena sativa</i>)	Zacate Carnal (<i>Diplachna fusca</i>)
Frijol chino (<i>Phaseolus aureus</i>)	Rábano (<i>Raphanus sativus</i>)	
Lenteja (<i>Lens culinaris</i>)	Arroz (<i>Oriza sativa</i>)	
Maní (<i>Arachis hypogaea</i>)	Centeno (<i>Secale cereale</i>)	
Garbanzo (<i>Cicer arietinum</i>)	Grama de centeno (<i>Lolium multiflorum</i>)	
Caupíes (<i>Vigna sinensis</i>)	Sorgo (<i>Sorghum vulgare</i>)	
	Espinaca (<i>Spinacea oleracea</i>)	

Tomate (*Lycopersicon
esculentum*)
Veza (*Vicia sativa*)
Trigo (*Triticum vulgare*)

Tabla 7 Tolerancia relativa de algunos cultivos al sodio intercambiable adaptada de
(Bolivia, 2018)

4.5.3 Selección de cultivos de acuerdo con la calidad del agua

La calidad del agua de riego, tanto desde el punto de vista fisicoquímico y bacteriológico, tiene influencia sobre los cultivos, beneficiándolos o afectándolos. En los factores fisicoquímicos el factor primordial es la conductividad eléctrica ya mencionada con anterioridad, la toxicidad por los iones específicos (boro, sodio, cloro), los metales pesados y los patógenos (Huevos de Helminthos y Coliformes Fecales). Estas directrices son de vital importancia para interpretar la calidad del agua de riego que resultan y para seleccionar los cultivos que se pueden establecer con base en los grados de restricción que presentan las agua para su uso, pero el factor primordial es la salinidad para más detalles se pueden ver las tablas 5,6 y 7.

4.5.4 Selección de cultivos considerando los riesgos de salud pública

Los riesgos de salud pública, relacionados a productos agrícolas contaminados, están asociados a la contaminación por patógenos (bacterias y parásitos) presentes en el agua de riego que causan problemas gastrointestinales. Por lo tanto, dependiendo de la calidad bacteriológica de la fuente de agua utilizada para el riego agrícola, se deberá seleccionar también el cultivo. La clasificación de riesgos de salud asociados al reúso con aguas residuales va de bajo, medio y alto, de acuerdo al tipo de cultivo y su destino. Es decir, si es para consumo humano, para consumo animal o para industrializar, pero también en función del grupo expuesto (trabajadores agrícolas y consumidores).

4.6 ANTECEDENTES DE REUSO E IMPACTO SOBRE EL SUELO Y LOS CULTIVOS

En Colombia se han realizado investigaciones en el sector cañaveralero, evaluando la potencialidad del reúso del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralero, PTAR-C (Cali, Colombia) para el riego de caña de azúcar, empleando dos

calidades de efluente tratado bajo las modalidades de tratamiento primario convencional (TPC) y avanzado (TPA) y agua de pozo como control. Aunque los resultados estadísticos no muestran diferencias significativas en los tratamientos evaluados, el reuso de las ARI evitó la descarga de 43 toneladas de DBO₅ y 21 toneladas de SST al río Cauca, no se observó una influencia nutricional considerable en el suelo, pero sí ayudó significativamente a reducir la contaminación de los cuerpos hídricos receptores. (Leal et al., 2014)

En España se utilizaron aguas residuales del afluente Luyanó en el municipio Arroyo Naranjo, clasificadas como aguas residuales de baja contaminación de acuerdo con los análisis realizados de DBO₅ y DQO, con ningún riesgo toxicológico, no constituyen un riesgo de contaminación ni para el suelo ni para el medio ambiente. Las parcelas experimentales que se establecieron con cultivos de zanahoria, rábano y flor del Marigold, mostraron en las primeras cosechas que es posible alcanzar en ellas altos rendimientos agrícolas, dado el valor fertilizante de estas aguas residuales. Los resultados de la cosecha del rábano, según análisis bacteriológicos realizados, no mostraron ningún tipo de contaminación. El suelo y el entorno agrícola, tampoco presentaron afectaciones. (Passarini et al., 2012)

En Maracaibo (Venezuela), el efluente de un sistema de lagunas de estabilización, con un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 20 días y que trata 1.296.000 L·d⁻¹, fue reutilizado para el riego de una parcela experimental de 5 ha, ocupada con 3 ha de frutales perennes (lima persa, guayaba, mango y níspero) y una superficie dedicada a cultivos de ciclo corto. El comportamiento de las especies irrigadas con este efluente y con agua fresca fue similar y no se presentaron problemas de salinidad y/o de Na en el suelo (Trujillo et al., 2000).

Quipuzco (2004) menciona el uso de reservorios profundos de estabilización, de 8-15 m de profundidad, para almacenamiento estacional y purificación de efluentes parcialmente tratados, provenientes de sistemas como lagunas anaerobias y aerobias, que garantizan eficiencias de remoción de DBO de 90%, detergentes y 3-4 órdenes de magnitud de Coliformes fecales y otros contaminantes. (Ushñahua, 2004)

5. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

La agricultura al ser el mayor sector consumidor de recursos hídricos abre las puertas a buscar una correcta implementación de los tratamientos de aguas residuales, como se pudo se puede evaluar con los antecedentes de reusó a nivel nacional e internacional, pero para esto hay varios factores a tener en cuenta, el primero es la normativa legal. Estas leyes, resoluciones y decretos se deben tomar como punto de referencia para evaluar de manera correcta el agua residual a utilizar para un reusó, principalmente la resolución 1207 de 2014.

Que aborda los valores máximos de admisibles de las aguas residuales, después el método de tratamiento de las aguas residuales a utilizar es vital; las aguas residuales que tengan como fin procesos de riego, no necesitan tratamientos tan intensos, ya que los mayores contaminantes o problemas con estas son la salinidad y microorganismos como se mencionó en el apartado de salinidad, pero todo depende del tipo de agua residual que se valla tratar sabiendo las características de esta y el tipo del suelo o cultivo en el que se valla utilizar se puede escoger el método de tratamiento de AR. Siendo los tocados en la sección de alternativas para el tratamiento del agua residual en zonas rurales como las idóneas por la baja inversión que esta trae y la facilidad de instalación en las zonas rurales, además de poseer cantidades de remoción idóneas para la reutilización de estas aguas residuales en los sistemas de riego.

Aunque las cantidades nutricionales ganadas en los suelos encontradas en los antecedentes no son tan abruptas, hay que considerar otros factores en cuestiones del reusó como el impacto ambiental, social y económico, que esta práctica puede traer y que un factor crucial para el reusó es el tipo del cultivo al que se va aplicar como se pudo observar en los trabajos hechos con los cultivos se zanahoria, rábano y flor de Marigold en España tuvieron mejores rendimientos que el reusó en el sector Cañaveralejo, esto demuestra que a algunos suelos se van a ver mejor beneficiados con el riego de aguas residuales que otros, como se mencionó anteriormente la temperatura del sitio es un factor importante en cuestiones del aumento de la salinidad de los suelos, esto pudo influenciar los rendimientos. Pero como ninguno de estos estudios se enfocó en el impacto generado al suelo no podría saberse con puntualidad.

6. CONCLUSIONES

La agricultura es el principal sector consumidor de recursos hídricos; la disponibilidad hace que en algunas zonas sea necesario emplear otros recursos, como aguas residuales domésticas. Aunque siempre es recomendable tratarlas antes de su uso, Según los datos físico, químicos y biológicos, se hace evidencia que el agua residual puede ser utilizada como materia prima en los sistemas de riego agrícola, siempre y cuando se cumplan las normativas y características idóneas para realizar este proceso.

Independientemente del tipo de cultivo en el cual se valla a utilizar las AR como sistema de riego, siempre se debe tomar la normas nacionales o internacionales como punto de partida y el tipo de suelo en él va trabajar para de esta manera saber que tratamientos son necesario para el agua residual utilizada y así conseguir los mejores resultados.

La fertilidad y la calidad del suelo, se ve afectada positivamente al utilizar aguas residuales tratadas las cuales presenten una buena remoción de sustancias contaminantes como lo exige la resolución, para esto es de vital importancia aplicar los métodos correctos de tratamiento de aguas residuales y además de métodos de caracterización de éstas sustancia como puede ser la conductividad en el caso de la determinación de las sales presentes.

7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Se recomienda los futuros trabajos, evaluar de manera puntual el tipo de suelo del cultivo y las exigencias nutricionales de cada una fruta, verdura, hortaliza, tubérculo o pasto, ya que algunos se van a ver más favorecidos con la utilización de aguas residuales en los sistemas de riego, además abordar normativas legales internacionales si se busca una exportación de los productos cosechados ya que esta puede cambiar dependiendo del país en el que se está trabajando.

Buscar alternativas para implementar métodos más restrictivos en la zona rural, buscando una mejor calidad de agua esto sería otro factor crucial para evaluar la eficiencia de las aguas residuales en sistemas de riego, así como alternativas de riego que favorezcan a cada cultivo en el que se esté trabajando.

Evaluar el factor económico y social de los métodos de tratamiento es otro punto vital para la selección de los métodos de tratamiento de aguas residuales, ya que acá se basó en escoger los métodos con mejores rendimientos y con facilidad para la aplicación y elaboración.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 2004, D. 2716 de. (2010). Contenido del Documento. *Decreto 2716 de 2004, 2003*(Marzo 13), 1–18. Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=9863>
- Agricultura, L. A. (n.d.). *GUÍA TÉCNICA PARA EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES EN*. Retrieved from www.mmaya.gob.bo
- Arévalo, P., & Lituma, P. (2010). Digestión de lodos residuales de las lagunas de oxidación de Ucubamba, Cuenca. *La Granja, II*(1), 31–35.
- Brechelt, D. A. (n.d.). Manejo Ecológico del Suelo. In *Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina* (Vol. Agosto de).
- Caviedes Rubio, D. I., Muñoz Calderón, R. A., Perdomo Gualtero, A., Rodríguez Acosta, D., & Sandoval Rojas, I. J. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Ingeniería y Región, 13*(1), 73. <https://doi.org/10.25054/22161325.710>
- CENTA. (2008a). Manual de depuración de aguas residuales urbanas. *Centa, Secretariado de Alianza Por El Agua, Ecología y Desarrollo.*, 264. <https://doi.org/Z-2802/08>
- CENTA. (2008b). Manual de depuración de aguas residuales urbanas. *Centa, Secretariado de Alianza Por El Agua, Ecología y Desarrollo.*, 264. <https://doi.org/Z-2802/08>
- Collazos, C. J. (2008). Tratamiento de aguas residuales domesticas e industriales. *Universidad Nacional De Colombia*, 49.
- Cristea, A. (2016). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE TIPO DOMÉSTICO A PARTIR DE COLEÓPTEROS SCARABAEIDAE. *Revista Brasileira de Ergonomia, 9*(2), 10. <https://doi.org/10.5151/cidi2017-060>
- Departamento Nacional de Planeación, D. (2002). Conpes 3177. *República de Colombia*, 27.
- Eduardo, F., & López, D. (2008). Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio Sewage treatment by activated sludge at laboratory scale. *Revista de Tecnología - Journal of Technology* •, 7(2), 21–28.
- EOI. (2016). Pretratamientos/Aguas.
- Fl, G. Y., & Calder, P. A. (2014). Análisis de beneficios socio-ambientales por la implementación de estrategias de producción más limpias en el sector agropecuario de la cuenca media del río Chinchiná , Colombia, 193–203.
- GESTION AMBIENTAL. AGUA. GUIA PARA LA REALIZACION DE ENSAYOS DE TOXICIDAD - BIOENSAYOS - EN ORGANISMOS ACUATICOS. - Icontec. (n.d.).

Retrieved June 9, 2020, from <https://www.icontec.org/rules/gestion-ambiental-agua-guia-para-la-realizacion-de-ensayos-de-toxicidad-bioensayos-en-organismos-acuaticos/>

- Gómez, E. G. (1993). Tratamientos anaerobios de las aguas residuales domésticas. Limitaciones y potencialidades. *Revista De Ingeniería Uniandes*, 12.
- IAEN. (2014). *Agriculturas campesinas en Latinoamérica - Propuestas y desafíos*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- ICONTEC. (2004). NTC-ISO-5667-3: Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Directrices para la preservación y manejo de las muestras. *Norma Técnica Colombiana*, 57.
- Juan Carlos BEDOYA PÉREZ, Alba Nelly ARDILA ARIAS², J. R. C. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30.
- Latinosan. (2007). ¿Cómo estamos en 21 países de América Latina y el Caribe? *Programa de Saneamiento Para América Latina y El Caribe*, 208.
- Leal, J. A. S., Lozada, P. T., & Parra, C. A. M. (2014). Reutilización de aguas residuales tratadas en la agricultura: una oportunidad para el sector cañero. *I3+*, 1(2), 10. <https://doi.org/10.24267/23462329.62>
- Ley 142 de 1994 | Secretaría Distrital del Hábitat. (n.d.). Retrieved June 10, 2020, from <https://www.habitatbogota.gov.co/transparencia/normatividad/normatividad/ley-142-1994>
- Ley 42 de 1993 | Secretaría Distrital del Hábitat. (n.d.). Retrieved June 10, 2020, from <https://www.habitatbogota.gov.co/transparencia/normatividad/normatividad/ley-42-1993>
- Ley 99 de 1993 | Secretaría Distrital del Hábitat. (n.d.). Retrieved June 10, 2020, from <https://www.habitatbogota.gov.co/transparencia/normatividad/normatividad/ley-99-1993>
- Leyes desde 1992 - Vigencia expresa y control de constitucionalidad [DECRETO_2811_1974]. (n.d.). Retrieved June 10, 2020, from http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_2811_1974.html
- Medeiros, S. D. S., Soares, A. A., Ferreira, P. A., Neves, J. C. L., & Souza, J. A. De. (2008). Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura : Estudo do estado nutricional do cafeeiro 1 Use of wastewater of domestic origin in agriculture : A study

-
- of nutritional status of coffee, (77), 109–115.
- Mena-Sanz, J. (2008). Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos. *Conapa*, 25.
- Ministerio de Ambiente. (2011). Decreto 3440, 22.
- Ministerio de desarrollo económico. (2000). Resolución 1096 de 2000, (1096), 1–29.
- Muñoz Cruz, A. (2008). Caracterización y tratamiento de aguas residuales. *Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería*, 305.
- Ojeda de la Cruz, A., Narváez Tijerina, A. B., & Quintana Pacheco, J. (2013). Gestión del agua doméstica urbana en Hermosillo (Sonora, México). *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 23(1), 147–164. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v23n1.41089>
- Orjuela Gutiérrez, M. I., & Lizarazo Becerra, J. M. (2013). Sistemas De Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales En Colombia, 82.
- Pabón, S. L., & Gélvez, J. H. S. (2009). Arranque y operación a escala real de un sistema de tratamiento de lodos activos para aguas residuales de matadero. *Ingeniería e Investigación*, 29(2), 53–58.
- Parada, G. (2012). El agua virtual : conceptos e implicaciones Virtual water : concepts and implications A água virtual : conceitos e implicações, 69–76.
- Passarini, K. C., Gamarra, F. M. C., & Vanalle, R. M. (2012). Reutilización de las Aguas Residuales en la Irrigación de Plantas y en la Recuperación de los Suelos Sewage Reuse in Plant Irrigation and Soil Recovery, 23(1), 57–64. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000100007>
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 13. <https://doi.org/10.1117/12.533904>
- Valle, U., Valle, U., García-gonzález, M. L., Carvajal-escobar, Y., & Jiménez-escobar, H. (2007). 2007-Agua.
- Villanueva, A. A. C., Flores, H. E., Sahagún, R., SILVA, Á. S., ZAMORA, H. D., Rojas, I. R., ... Alvarado, P. C. O. (2013). Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. *Universidad Politecnica de Cataluña*, 1(3), 39–51.

	Químico	Físico	REMOCION MATERIA ORGANICA Y COLOIDAL	Remoción de solidos suspendidos		TR
Desbaste Rejas Rejillas	Neutralización	Flotación	Lodos activados	Sedimentación	Coagulación/ sedim	Dig aer
	Coag/sedimen	Sedimentación (T. Imhoft)	Convencional Alta capacidad		Filtración	Dig ana
Trituradores	Cloración	(T. Séptica)	Contacto estabiliza		Adsorción carbón activado	En Do
Desarenado	Adición de nutrientes		Aeración prolongad			Cer
Separación aceite y grasa			Filtración biológica Filtros percoladores		Intercambio iónico	Esp
Homogenización			Alta tasa Baja tasa Fase simple Fase doble		Destilación	Filt vac
					Osmosis inversa	
					Electrodiálisis	Lav (elu
			Discos rotatorios		Aplicación en suelo	Lag
			Proceso Unox/Lide		Cloración u ozonización	Leo
			Laguna estab. Aeróbica Anaeróbica Facultativa			
			Laguna aerada Mezcla completa Aerada facultativa Facultativa con aeración mecánica Difusión de aire		AGUA SALUBRE	
		LODO			LODO	
			Anaeróbica Por contrato			

TRATAMIENT
O
PRELIMINAR

TRATAMIE
NTO
PRIMARIO

TRATAMIE
NTO
SECUNDARI
O

Filtro
anaeróbico
RAFA

TRATAMIE
NTO
TERCIARIO

MANEJO DE
LODOS

9. ANEXOS

Anexo 1 Niveles de tratamiento y procesos de cada nive

