

ECONOMÍA CIRCULAR APLICADA A LOS RECURSOS HÍDRICOS



PAULA CATALINA LÓPEZ ARIAS

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

INGENIERO CIVIL

Curso internacional Misión Académica en el Marco de las Relaciones Colombia – Perú

Universidad de Lima, Lima, Perú.

Tutor:

Ing. Hebert Gonzalo Rivera PhD

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C., 2020

Economía circular aplicada a los recursos hídricos*

Paula Catalina López Arias**

Introducción

La economía de todo el planeta enfrenta un contexto de escasez de materias primas donde se encuentran marcados por problemas ambientales. Por lo tanto, existe una clara necesidad de usar recursos tan eficientemente como sea posible, reducir el desperdicio y contaminación innecesaria y modificar la producción, consumo y gestión de los residuos para lo cual se puede emplear una economía circular.

Se trata de reemplazar una economía lineal basada en la extracción, producción, consumo y descarte, por un modelo circular en el que los materiales que contienen residuos para la producción de nuevos productos o materias primas. En esta los procesos como la planificación, la reducción, la reutilización, el reciclaje y la recuperación de materiales son esenciales (Humana Portugal, 2019).

La sociedad se enfrenta a una “crisis de la seguridad del agua, entendiendo por tal la disponibilidad de una cantidad y calidad aceptables de agua para la salud, la vida, los ecosistemas y producción, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua para las personas, el medio ambiente y la economía” (C.W. & D., 2015), debido a que el uso del agua ha ido aumentando en todo el mundo aproximadamente un 1% por año desde la década de 1980. (AQUASTAT, 2020). Este crecimiento es impulsado por una combinación de crecimiento poblacional, desarrollo socioeconómico y patrones de consumo en evolución. Como se muestra en la Figura 1, la agricultura es el mayor consumidor de agua, dado que representa el 69% de las extracciones anuales de agua a nivel global. La industria (incluyendo la generación de energía) representa el 19%, y los hogares el 12% (AQUASTAT, 2020). Se espera que la demanda global de agua continúe aumentando a un ritmo similar hasta 2050,

* Artículo presentado como trabajo de grado del curso internacional Misión Académica en el marco de las relaciones Colombia – Perú, Universidad de Lima, Lima, Perú.

** Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada, 2020.

donde se tendrá un aumento del 20% al 30% por encima del nivel actual de uso del agua (Burek, Satoh, & Fischer G, 2016).

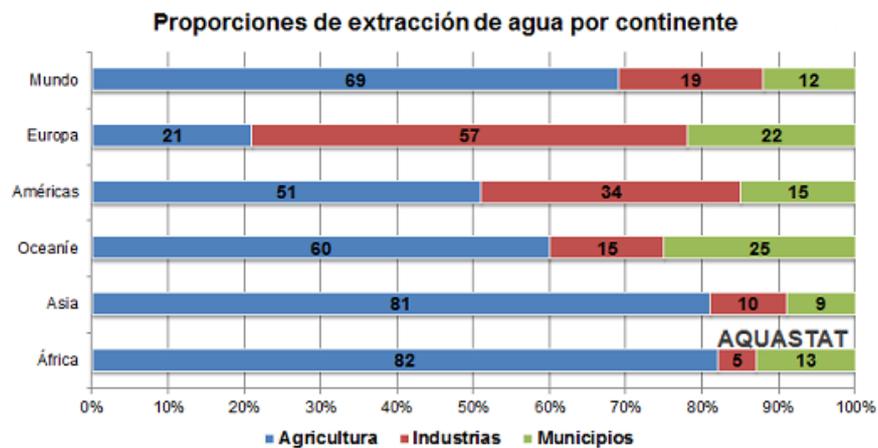


Figura 1: Proporciones de extracción de agua por continente. Obtenido de (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, 2019).

En el mundo más de 2.000 millones de personas viven en países que experimentan un alto estrés hídrico (siendo la demanda de agua más alta que la cantidad de agua disponible durante un periodo determinado). Aunque el estrés hídrico promedio mundial es solo del 11%, 31 países experimentan estrés hídrico entre el 25% (que se define como el umbral mínimo de estrés hídrico) y el 70%, y 22 países están por encima del 70%, y por lo tanto están bajo un estrés hídrico severo (Organización de las naciones unidas (ONU), 2018).

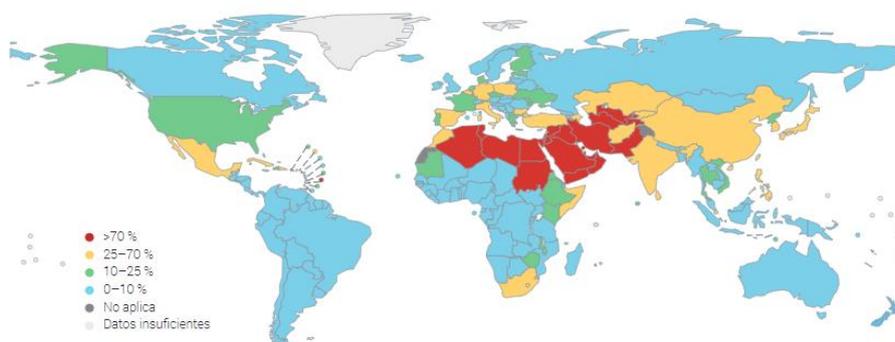


Figura 2: Nivel de estrés hídrico a nivel mundial. Obtenido de (Organización de las naciones unidas (ONU), 2018).

En la Figura 2 se puede observar el estrés hídrico a nivel mundial, donde se puede evidenciar que en los continentes de África y Asia se presenta un estrés hídrico mayor al 70% y los continentes de América y Oceanía se presente un estrés hídrico menor al 10%.

Es probable que los niveles de estrés hídrico aumenten a medida que crezcan las poblaciones y su demanda de agua, y se intensifiquen los efectos del cambio climático (Organización de las naciones unidas (ONU), 2018). De igual manera, el cambio climático y la variabilidad del clima en aumento oscilen a escala local y de cuenca y según las estaciones. Sin embargo, en su mayoría, las áreas secas tenderán a ser más secas y las húmedas más húmedas (ver Figura 3), de forma que el cambio climático probablemente aumentará el estrés hídrico en las áreas que ya son de las más afectadas (Organización de las naciones unidas (ONU), 2019).

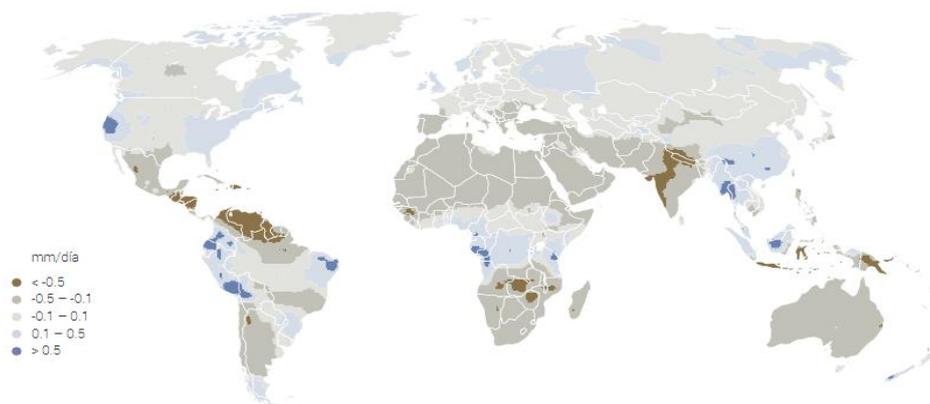


Figura 3: Cambio de la precipitación neta a nivel mundial. Obtenido de (PBL Netherlands Environmental Assessment Agency., 2018).

Por lo cual el sector del agua puede ser uno de los principales protagonistas de la transformación de los sistemas económicos lineales a modelos más circulares, dado que gestiona un recurso vital, que requiere de una gestión eficiente por el carácter circular del propio ciclo del agua, y por su importante relación en determinados ámbitos con la energía y el sector residuos, desde el cual es posible la obtención de materias primas secundarias (SgROI, Vagliasindi, & Roccaro, 2018), para esto, se requiere que el agua residual se sometan a un tratamiento para regenerarlas y lograr su aplicación en otros usos (García de Durango, 2018), ya que la mayoría de las aguas residuales que se producen vuelven directamente al ecosistema sin ser tratadas, impactando negativamente la preservación de los recursos naturales, el medio

ambiente y el sector productivo, generando consecuencias económicas altas ya que al momento de realizar la potabilización de dicho recurso se necesitan procesos más intensos (Real , 2016).

¿Qué es la economía circular?

La economía circular es un modelo económico dirigido al uso eficiente de los recursos a través de la minimización de residuos, la retención de valor a largo plazo, la reducción de los recursos primarios y los lazos cerrados de productos, partes de productos y materiales dentro de los límites de protección ambiental y beneficios socioeconómicos (Ver Figura 4), teniendo el potencial de conducir al desarrollo sostenible, al tiempo que desacopla el crecimiento económico de las consecuencias negativas del agotamiento de los recursos y la degradación ambiental (Morseletto, 2020).

También se puede definir como el modelo económico que utiliza la mínima cantidad de recursos naturales necesarios, incluidos el agua y la energía, para satisfacer las necesidades requeridas en cada momento, seleccionando de forma inteligente los recursos, evitando los no renovables y las materias primas críticas y favoreciendo la utilización de materiales reciclados siempre que sea posibles y cumplan con una finalidad determinada, para así mantener y recircular los recursos en el sistema el mayor tiempo posible, generando menos residuos y reduciendo los impactos ambientales, además de permitir restituir el capital natural y fomentar su regeneración (Fundación Conama, 2019).



Figura 4: Esquema básico de la economía circular. Obtenido de (Congreso nacional del medio ambiente , 2016)

La economía circular se basa en las siguientes premisas:

- ✓ La reparación: encontrar una segunda vida a los productos estropeados.
- ✓ La eco-concepción: considera los impactos medioambientales durante el ciclo de vida de un producto y los tiene incorpora desde su creación (A & Mendonca, 2018).
- ✓ La ecología industrial y territorial: establecimiento de un modo de organización industrial en un mismo territorio caracterizado por una gestión optimizada de los productos y de los flujos de materiales, energía y servicios.
- ✓ El segundo uso: reintroducir en el ciclo económico aquellos productos que ya no corresponden a las necesidades iniciales de los consumidores.
- ✓ La reutilización: reutilizar ciertos residuos o ciertas partes de los mismos, que todavía pueden funcionar para la elaboración de nuevos productos o usos diferentes, como por ejemplo las aguas grises, las cuales son provenientes de duchas y lavabos principalmente, donde se pueden reutilizar para alimentar las cisternas de los inodoros (Hidrología sostenible, s.f.).
- ✓ El reciclaje: aprovechar los materiales que se encuentran en los residuos.
- ✓ La valorización: aprovechar energéticamente los residuos que no se pueden reciclar.

Economía circular y agua

Habitualmente, la economía circular se ha representado a través de círculos que expresaban únicamente sencillos cierres de los materiales, relacionando, algunas veces, este concepto al de reciclaje. La economía circular es mucho más que esto. Así lo ha demostrado la Fundación Ellen MacArthur (Ellen MacArthur Foundation, SUN, & McKinsey Center for Business and Environment , 2015) al combinar en un mismo esquema los dos grandes ciclos que representan tanto la esfera tecnológica o material como la esfera natural o biológica. Esto ha evidenciado que no solo hay un único cierre circular al final de la vida útil de un producto o servicio, para lo cual la fundación Conama realizó un diseño más amplio que tuvo en cuenta el ciclo del agua y los flujos energéticos para lograr situar en un mapa conceptual el papel que

juega cada ámbito del sector del agua para el fácil entendimiento de la economía circular e involucrar a todos.

Por ende, se denota que la circularidad no solo pasa por el desarrollo de la reutilización, sino que cada ámbito tiene su función y responsabilidad y es además interdependiente de la labor del resto.

La Figura 5 representa cómo el conocido ciclo natural del agua (evaporación, condensación, precipitación, escorrentía, infiltración, etc.), que ofrece ya en sí mismo numerosos servicios ambientales (servicios de abastecimiento, regulación y saneamiento), es interrumpido en el momento en que se realiza una captación de agua para su uso en algún desarrollo socioeconómico por lo cual en función de sus usos, el agua inicia otro ciclo paralelo, donde, además de ser captado, podrá ser potabilizado, distribuido, consumido y vertido. En la gran mayoría de los casos, antes de su vertido existirá un sistema de saneamiento que recogerá las aguas residuales por las redes de alcantarillado y que las depurará antes de volver al sistema hidrológico para ser empleadas nuevamente en tareas.

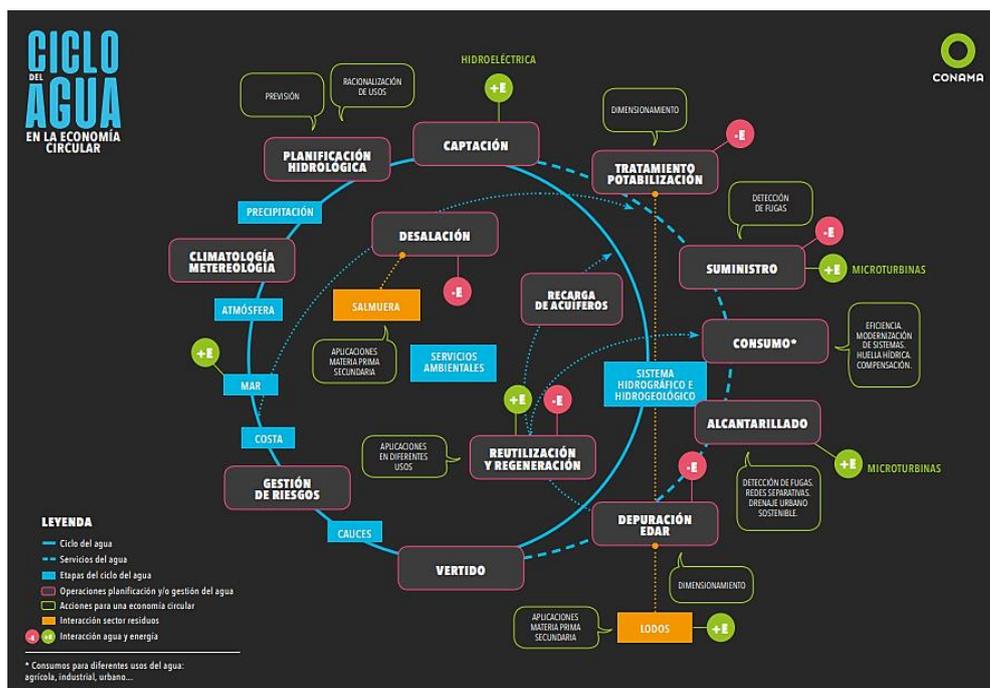


Figura 5: Ciclo del agua en la economía circular, obtenido de (Fundación Conama, 2019).

Papel de los diferentes ámbitos del sector del agua en la economía circular

Planificación hidrológica: Es análogo al papel que el eco diseño ejerce dentro de la economía circular, decidiendo como crear un determinado producto o servicio para utilizar la menor cantidad de recursos naturales posibles, para que los que sean utilizados sean lo menos impactantes, se mejore su capacidad de reutilización (Fundación Conama, 2019). El recurso del agua en esta primera fase está íntimamente ligado a la energía. El sector del agua es un fuerte consumidor de energía, consumiendo el 4% del total de energía eléctrica generada a nivel mundial (Instituto para la diversificación y el ahorro de energía, 2014). Pero también el agua produce energía, utilizándose en esta primera fase de captación para generar energía hidráulica.

Potabilización: El agua de abastecimiento urbano una vez captada se conduce a los sistemas de tratamiento, ya sean centralizados o descentralizados, allí se llevan a cabo diferentes procesos físico – químicos, como la pre-oxidación, coagulación-floculación, decantación, filtración y desinfección final; procesos con los que se consigue que el agua sea potable (Fundación Conama, 2019).

Dimensionamiento: Se necesita trabajar el correcto dimensionamiento de las instalaciones para que pueda cumplir con la creciente regulación de la calidad de agua y utilización del material físico – químico y biológico necesarios para el correcto tratamiento.

Detección de fugas efectiva: En la fase de abastecimiento se pueden producir fugas en las redes de distribución por lo cual la detección de fugas puede lograr un ahorro de agua y reducción en los niveles de agua no contabilizada.

Proceso de tratamiento: Se utilizan procesos físicos, químicos y biológicos para la eliminación de la contaminación que permite su vertido al entorno ecológico con la calidad adecuada, cumpliendo con lo establecido en la normatividad sobre tratamiento de aguas residuales y vertimientos (Fundación Conama, 2019).

Reutilización del agua: Es uno de los campos donde más posibilidades y capacidades de futuro existen, dado que cada vez son más los usos para los que el agua puede ser regenerada una vez utilizada: recarga intencionada de acuíferos, suministro para sistemas agrícolas, usos industriales como la refrigeración, riego de parques y jardines, baldeo de calles e incluso para el abastecimiento de poblaciones, evitando así el uso de agua potable procedente de las reservas naturales en dichos usos. El proceso de tratamiento necesario para que el agua residual pueda ser reutilizada se denomina generalmente regeneración, la cual consiste en devolverle, parcial o totalmente, el nivel de calidad que tenía antes de ser utilizada en aprovechamientos urbanos, industriales o de otro tipo (Mujeriego , 2016).

Los sistemas de reutilización de agua existentes pueden clasificarse principalmente como sistemas centralizados y descentralizados. Los sistemas centralizados se benefician de economías de escala en los costos de gestión y tratamiento, pero requieren inversiones significativas en sistemas de distribución para transportar agua a grandes distancias, por otro lado, los sistemas de agua descentralizados, se implementan en áreas urbanas pequeñas, como hogares individuales y grupos de edificios (SgROI, Vagliasindi, & Roccaro, 2018).

Sistemas centralizados de tratamiento de agua

Consiste en un sistema de recolección de aguas residuales a través de un alcantarillado hacia una planta de tratamiento de aguas residuales generalmente localizada a las afueras de la ciudad (Caicedo Villada, 2014), donde su objetivo es la conversión del agua residual en un efluente aceptable a las condiciones del ambiente y la disposición adecuada de los sólidos obtenidos durante el proceso de purificación (SgROI, Vagliasindi, & Roccaro, 2018).

Para que el tratamiento sea el adecuado existen unas fases que se deben llevar a cabo, las cuales son recolección del agua residual, evaluación de la calidad del agua residual, tratamiento preliminar o pre tratamiento, tratamiento secundario, tratamiento avanzado o terciario, desinfección y disposición de lodos (Rojas, 2017).

Recolección: Las aguas residuales, son recolectadas por el sistema de alcantarillado que lo conduce a la planta de tratamiento. En el caso de sistemas separativos de alcantarillado, el caudal de agua residual desciende significativamente durante la noche y dependiendo del tamaño de la población servida, el caudal máximo puede alcanzar hasta tres veces el caudal medio diario. Así mismo, cuando el sistema de alcantarillado se diseña para recolectar conjuntamente aguas residuales y aguas de lluvia, se le conoce como combinado (ver Figura 6), en estos casos el aporte del agua de lluvia puede sobrepasar con amplitud el caudal promedio de agua residual conduciendo a un alto grado de dilución de esta agua residual (Rojas, 2017).

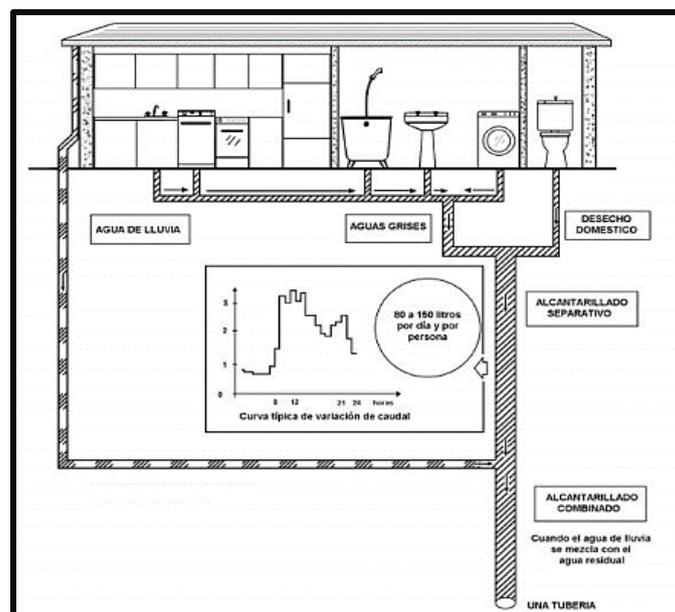


Figura 6: fuentes de generación de aguas residuales y recolección. Obtenido de (Rojas, 2017).

Evaluación de la calidad del agua residual: La composición de las aguas residuales, en líneas generales consiste un 50% de materia orgánica y 50% de materia mineral, la cual es sedimentable un 20% y no sedimentable un 80% (Rojas, 2017). Con base a esto, se evalúan parámetros de calidad tales como:

Sólidos suspendidos totales (SST): Compuestos por partículas orgánicas o inorgánicas fácilmente separables del líquido por sedimentación, filtración o centrifugación.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Es la cantidad necesaria para la oxidación química de la materia orgánica. Proporciona un medio indirecto de la concentración de materia

orgánica en el agua residual.

Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días (DBO5): Es la cantidad de materia orgánica fácilmente biodegradable durante cinco días y a 20°C y corresponde a la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar biológicamente la materia orgánica.

Contenido de nutrientes (nitrógeno y fósforo): Estos compuestos indican si las aguas residuales tienen la adecuada proporción de nutrientes como para facilitar la degradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales. En la Tabla 1 se pueden evidenciar los parámetros con los cuales se clasifica el agua residual en concentración alta, media o baja.

Tabla 1: Composición típica de tres clases de aguas residuales domésticas, obtenido de (Rojas, 2017).

Parámetro	Concentración [mg/l]		
	Alta	Media	Baja
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	9
DBO 5	300	200	100
DQO	570	380	190
Nitrógeno total	85	40	30
Fósforo total	20	10	6
Cloruros	100	50	30
Grasas	160	100	50
Calcio	110	50	10
Magnesio	10	9	8
Sodio	100	50	23

Tratamiento preliminar o pre tratamiento: Se encuentra destinado a la preparación o acondicionamiento de las aguas residuales con el objetivo de proteger las instalaciones de la planta, consta de etapas como cribados, desarenadores, trampa de grasas y homogenización. (Rojas, 2017) , donde se realiza una remoción del 5%. (Collazos, 2016)

✓ **Cribado:** son rejillas de barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas (ver Figura 7), las cuales cumplen la función de detener sólidos gruesos o finos que floten o se encuentren

suspendidos en el agua. (Collazos, 2016). La velocidad máxima de aproximación deber ser de 1.2 m/s para caudal máximo y de 0.3 m/s para caudal mínimo (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2017).

El cribado se puede clasificar en grueso, medio y fino, como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2: Tipos de cribado. Obtenido de (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2017).

Tipo de cribado	Espaciamiento [cm]
Grueso	4 a 10
Medio	4 a 2
Fino	2 a 1



Figura 7: Cribado. Obtenido de (Collazos, 2016).

- ✓ Desarenador: Son estructuras destinadas a remover arenas y otros guijarros presentes en las aguas residuales, estos pueden ser rectangulares o circulares; de flujo horizontal o helicoidal; aireados o no (Ver Figura 8). Tienen como función prevenir la abrasión de equipos mecánicos, evitar la sedimentación de áreas en tuberías, canales y tanque ubicados aguas abajo (Collazos, 2016).



Figura 8: Desarenador. Obtenido de (Collazos, 2016).

Su localización dentro de la planta debe ser después de las rejillas y antes de los tanques de sedimentación primaria y las estaciones de bombeo. Para el diseño de los desarenadores se requiere prever la eliminación de las partículas con diámetro menor a 0.3 mm, con una velocidad de decantación de 0.03 m/s y debe buscarse mantener una velocidad de 0.3 m/s. Se exige construir mínimo dos unidades con la capacidad de operar con los caudales de diseño (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2017).

- ✓ Trampa de grasas: Son sistemas mecánicos que mediante una serie de compartimientos especiales en un tanque remueve residuos sólidos, grasas y aceites (Ver Figura 9), para prevenir el taponamiento de las tuberías y daños en las unidades posteriores (Hernández & Sánchez, 2016). Usualmente se construyen en acero inoxidable o cemento, aunque también se utilizan materiales plásticos y resistentes.

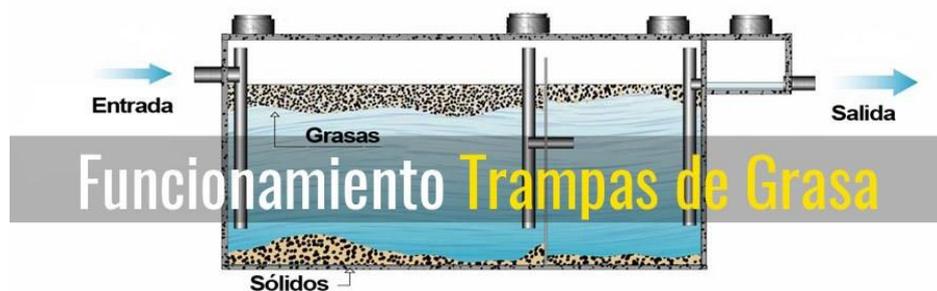


Figura 9: Trampa de grasas. Obtenido de (Wastech, 2016).

- ✓ Homogenización: Son tanques que sirven para regular o disminuir los efectos de la variación de flujo o la concentración de las aguas residuales (Collazos, 2016).

Tratamiento primario: Tiene como objetivo la remoción por medios físicos o mecánicos de una parte sustancial del material sedimentable o flotante. Es decir, el tratamiento primario es capaz de remover una fracción importante de la carga orgánica y que puede representar entre el 25% y 40% de la DBO y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos (Rojas, 2017). Entre los tipos de tratamiento se encuentran sedimentación primaria, flotación, coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

- ✓ Sedimentación primaria: Es un proceso físico el cual aprovecha la diferencia de densidad y el peso entre el líquido y las partículas suspendidas. Los sólidos más pesados que el agua precipitan produciéndose su separación del líquido. (Rojas, 2017). Los sedimentadores pueden ser circulares (ver Figura 10) o rectangulares.



Figura 10: Sedimentador primario. Obtenido de (Rojas, 2017).

Al momento de diseñar sedimentadores primarios para caudales mayores a 6 L/s es necesario emplear sistemas barre lodos auxiliares con pendiente de fondo entre 5 a 10% para sedimentadores circulares y 1% para sedimentadores rectangulares y el tiempo de retención hidráulica debe estar entre 1.5 y 2.5 horas (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2017).

- ✓ Flotación: Proceso físico fundamentado en la diferencia de densidades. La flotación permite separar la materia sólida o líquida de menor densidad que la del fluido, por ascenso de ésta hasta la superficie, ya que en este caso, las fuerzas que tiran hacia arriba (rozamiento y empuje del líquido) superan a la fuerza de la gravedad.

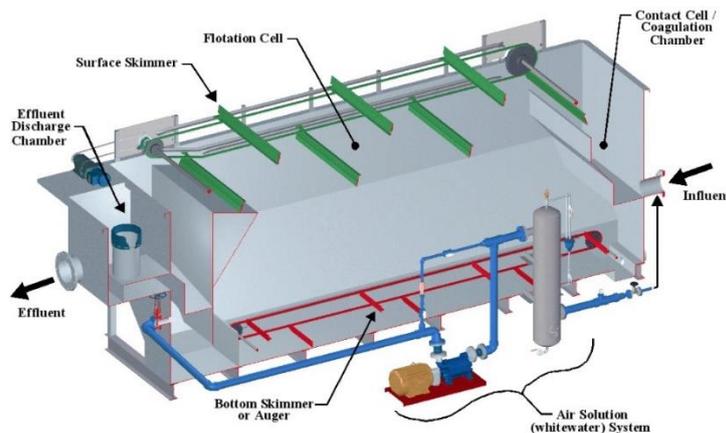


Figura 11: Sistema de flotación. Obtenido de (SPENA GROUP, 2020).

En la Figura 11 se puede observar las partes un sistema de flotación tales como celdas de flotación, cámara de descarga, aletas superficiales.

- ✓ **Coagulación – floculación:** En muchos casos parte de la materia en suspensión está formada por partículas de muy pequeñas, conformando una suspensión coloidal. Estas suspensiones coloidales suelen ser muy estables, por tanto tienen una velocidad de sedimentación muy lenta (Cyclus, 2020). Por lo cual se adicionan ciertos reactivos químicos que desestabilizan la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables.
- ✓ **Filtración:** La filtración es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena.

Tratamiento secundario: La reducción de los compuestos orgánicos presente en el agua residual se realiza exclusivamente por procesos biológicos. Este proceso convierte la materia orgánica finamente dividida y/o disuelta, en sólidos sedimentables floculantes que puedan ser separados por sedimentación en tanques de decantación. Los tratamientos biológicos de esta categoría tienen una eficiencia remocional de la DBO entre el 85% al 95%. Los procesos biológicos más utilizados son los siguientes:

- ✓ **Lodos activados:** El nombre del proceso se deriva de la formación de una masa de microorganismos activos capaz de estabilizar un desecho orgánico bajo condiciones aerobias, este ambiente es generado mediante aireación difusa o mecánica (Ver figura 12).

El reactor aeróbico podrá localizarse a continuación del tratamiento preliminar o después de un sedimentador primario (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2017).



Figura 12: Sistema de lodos activados. Obtenido de (Belzona Inc., 2010).

En la Tabla 3 se pueden observar sistemas de lodos activos con sus parámetros:

Tabla 3: Parámetros de lodos activados. Obtenido de (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2017).

Proceso	F/M [KgDBO/kgMLLVSS]	LV [KgDBO/m ³ .d]	td [hr]	θc [días]	XT [ssv]
Convencional	0,2-0,4	0,3-0,7	4-8	3-15	1000-3000
Completamente mezclado	0,2-0,6	0,3-1,6	3-5	3-15	1500-4000
Aireación escalada	0,2-0,4	0,7-1	3-5	3-15	1500-4000
Alta tasa	1,5-2	1,2-2,4	1.5-3	0.5 - 2	200-1000
Estabilizador por contacto	0,2-0,6	1-1,3	0.5-1	5-10	1000-3000
aireación extendida	0,04-0,10	0,1-0,3	20-30	20-40	2000-5000
Zanjón de oxidación	0,04-0,10	0,1-0,3	15-30	15-30	3000-5000
Reactores secuenciales por tandas	0,04-0,10	0,1-0,3	15-40	10-30	2000-5000
Oxígeno puro	0,5-1	1,3-3,2	1-3	1-4	2000-5000

F/M: relación alimento/microorganismo. Lv: Carga volumétrica. Td: Tiempo de retención. θc: edad de lodos. XT: Sólidos suspendidos volátiles en el reactor.

En la Figura 13 se puede observar el diagrama básico de una planta convencional de lodos activados la cual comienza con el cribado, reteniendo sólidos gruesos y finos, luego al desarenador donde se sedimentan las arenas, continua al sedimentador primario, luego al tanque de aireación y finalmente llega al efluente.

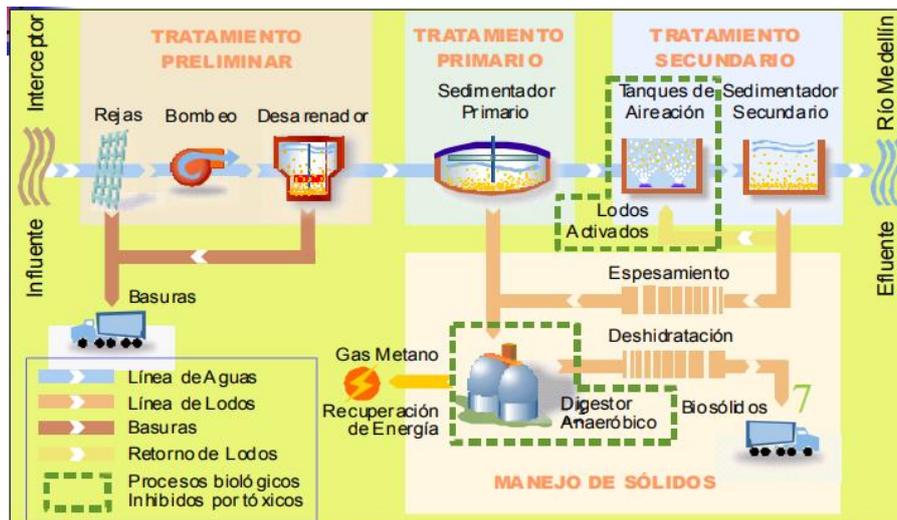


Figura 13: Diagrama básico de una planta de lodos activados. Obtenido de (Grupo EPM, 2016).

- ✓ Filtros percoladores: Es un filtro biológico de lecho fijo que opera, principalmente, bajo condiciones aeróbicas, a través del cual se percola el agua residual. Normalmente el agua residual se distribuye en forma de pulverización uniforme sobre el lecho de relleno mediante un distribuidor rotativo del flujo. El agua residual percola en forma descendente a través del relleno y el efluente se recoge en el fondo como se observa en la Figura 14 (Ramalho, 2015).

El Filtro Percolador se llena con material de alta superficie específica, tales como piedras o grava. Las partículas deben ser uniformes de manera que el 95% de las estas tengan un diámetro entre 7 y 10 cm. El filtro puede constar de un recipiente cilíndrico o rectangular con diámetros variables, hasta de 60 m y con profundidad entre 1.50 y 12 m.

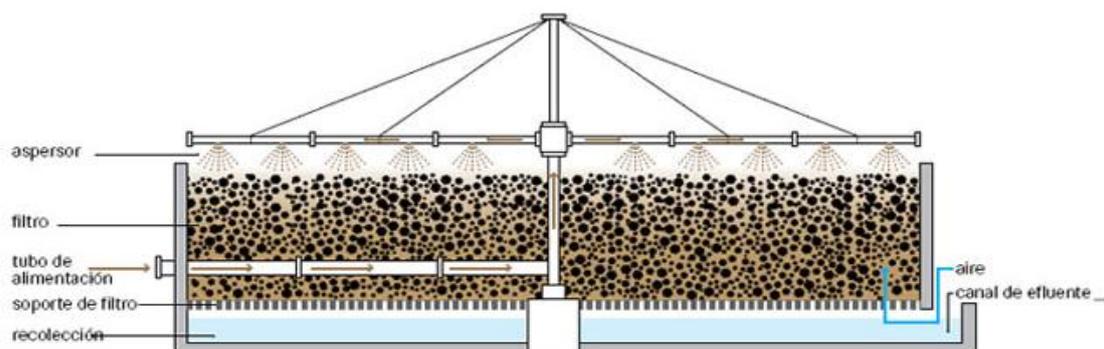


Figura 14: Filtro percolador. Obtenido de (Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento, 2020).

Los parámetros de diseño se pueden observar en la Tabla 4.

Tabla 4: Parámetros de diseño para filtros percoladores.

Características de diseño	Baja tasa	Tasa intermedia	Alta tasa	Alta tasa	Tratamiento grueso
Tipo de lecho	Roca	Roca	Roca	Plástico	Roca/plástico
Carga hidráulica [m³/m².d]	1-4	4-10	10-40	10-75	40-200
Carga orgánica [KgDBO/m³.d]	0.07-0.22	0.24-0.48	0.4-2.4	0.6-3.2	>1.5
Relación de recirculación	0	0-1	1-2	1-2	0-2
Moscas de filtro	Muchas	varias	pocas	pocas	pocas
Desprendimientos	Intermitentes	Intermitentes	continuos	continuos	continuos
Profundidad [m]	1.8-2.4	1.8-2.4	1.8-2.4	3-12.2	0.9-6
Remoción DBO [%]	80-90	50-80	65-90	75-95	40-70

✓ Lagunas de estabilización (ver Figura 15): son depósitos construidos mediante la excavación y compactación de la tierra que almacenan agua de cualquier calidad por un periodo determinado funcionando por la actividad bacteriana y las relaciones simbióticas con algas y otros organismos (Tratamiento de aguas, 2017). Tienen como objetivo remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación, eliminar microorganismos patógenos y utilizar su efluente para reutilización.

Las lagunas de estabilización operan con concentraciones reducidas de biomasa que ejerce su acción a lo largo de periodos prolongados. La eliminación de la materia orgánica en las lagunas de estabilización es el resultado de una serie compleja de procesos físicos, químicos y biológicos, entre los cuales se pueden destacar dos grandes grupos.

- Sedimentación de los sólidos en suspensión, que suelen representar una parte importante (40-60% de DBO₅) de la materia orgánica contenida en el agua residual, produciendo una eliminación del 75-80 % de la DBO₅ del efluente (Crites, 2000)
- Transformaciones biológicas que determinan la oxidación de la materia orgánica contenida en el agua residual.



Figura 15: Lagunas de estabilización. Fuente: propia.

Los procesos biológicos más importantes que tienen lugar en una laguna son:

1. Oxidación de la materia orgánica por bacterias aerobias. La respiración bacteriana provoca la degradación de la DBO5 del agua residual hasta CO₂ y H₂O produciendo energía.
2. Producción fotosintética de oxígeno. La fotosíntesis algal produce, a partir de CO₂, nuevas algas, y O₂, que es utilizado en la respiración bacteriana.
3. Digestión anaeróbica de la materia orgánica con producción de metano.

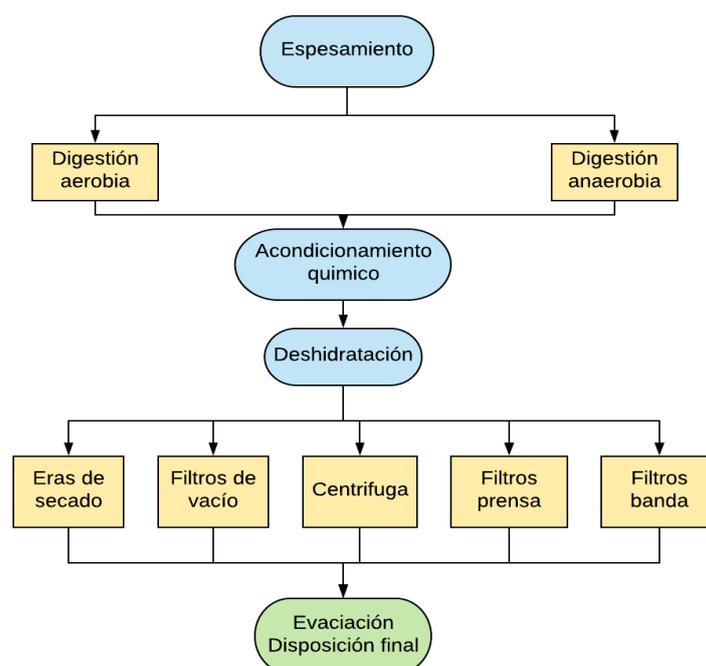
Tratamiento avanzado o terciario: Tiene como objetivo complementar los procesos anteriormente indicados para lograr efluentes más puros, con menor carga contaminante y que pueda ser utilizado para diferentes usos como recarga de acuíferos, recreación, agua industrial, etc. las sustancias o compuestos comúnmente removidos son: fosfatos y nitratos, huevos y quistes de parásitos, sustancias tóxicas activas, algas, bacterias y virus (desinfección), sólidos totales y disueltos (Rojas, 2017).

Desinfección: Se emplea para reducir principalmente el contenido de bacterias, virus y quistes amebianos en las aguas previo a su disposición final. Consiste en la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades (Rojas, 2017).

- ✓ Sistema de Cloración: Se trata de mantener el agua depurada en un depósito final de distribución con un contenido adecuado de cloro libre para evitar la proliferación de microorganismos con el objetivo de hacerla apta para su reutilización (Belzona Inc., 2010).
- ✓ Radiación Ultravioleta: En este caso la desinfección se realiza mediante un equipo UV que proporciona una desinfección inmediata (Belzona Inc., 2010).

- ✓ **Ozonización:** El ozono es un poderoso oxidante y desinfectante con una velocidad de esterilización superior. Esto permite tratamientos con ozono con tanques muy reducidos ya que únicamente son necesarios unos tres minutos de contacto para asegurar la desinfección.

Tratamiento de lodos: Los lodos son el subproducto del tratamiento de las aguas residuales, que se lleva a cabo principalmente para reducir la presencia de patógenos, eliminar olores desagradables y reducir o eliminar su potencial de putrefacción. (Universidad de las Américas Puebla, 2018), donde el esquema básico de tratamiento de lodos es:



Sistemas descentralizados de tratamiento de agua

Se define como aquel sistema de tratamiento cuyo funcionamiento es que el agua debe tratarse lo más cerca posible del lugar de generación (wilderer & Schreff, 2015). Significa que no solo hay una planta de tratamiento sirviendo una población en un área determinada, sino que, habrá más de una y con un surtido amplio de tecnologías. Estos sistemas evitan el uso extensivo de tuberías y trabajos de excavación para crear una red de recolección compuesto. La idea básica es tratar el agua residual en el sitio haciendo uso directo de los subproductos del tratamiento (agua, lodos y biogás) permitiendo un manejo de aguas residuales más sostenible (IWA, 2015). Estos sistemas se pueden presentar en casa individuales grupos de casa o

comunidades aisladas, industrias cerca del punto de generación, aplicando los siguientes principios: requisitos de tierra limitado, bajo requerimiento de energía, fácil operación, no degradación del ambiente local, producir un efluente de calidad y reducción de costos globales (Galbán Rodríguez, 2009).



Sistemas de Tratamiento Satélite y Semi-Centralizados: generalmente se ubican en las zonas más distantes del sistema de recolección centralizado, usualmente carecen de instalaciones para procesamiento de sólidos. Los sólidos generados en estas plantas son devueltos al sistema de recolección para ser procesados en la planta de tratamiento centralizada (Gikas & Tchobanoglous, 2017). Pueden ser empleados para reducir los flujos de aguas residuales en las plantas centralizadas o para eliminar, reducir el impacto en los cuerpos de agua. Su fundamento es el reúso del agua residual (Ashley, Cordell, & Mavinic, 2011).

Sistemas de Tratamiento en Grandes Bloques: se emplean en grandes edificaciones, promoviendo el reúso del agua tratada en el lugar de generación. Son considerados como sistemas de tratamiento satélite de tipo interceptor ya que interceptan estos efluentes residuales antes de llegar al sistema de recolección, tratando y reutilizando el agua en aplicaciones como descargas de inodoros y orinales, jardinería, etc. (Gikas & Tchobanoglous, 2017).

Sistemas de Tratamiento en Grupo: son sistemas satélites para el tratamiento de un grupo de viviendas o una urbanización suburbana, que se conectan al sistema de recolección urbano para el tratamiento de los sólidos generados (Caicedo Villada, 2014). Indican que estos sistemas tratan los efluentes de grupos de residencias y el agua tratada se emplea para la recarga de las aguas subterráneas o irrigación.

Sistemas de Tratamiento Individual o en sitio: Es el nivel básico de descentralización. Varían entre tecnologías de tratamiento convencionales a avanzadas y se encargan del tratamiento de una sola propiedad (Caicedo Villada, 2014).

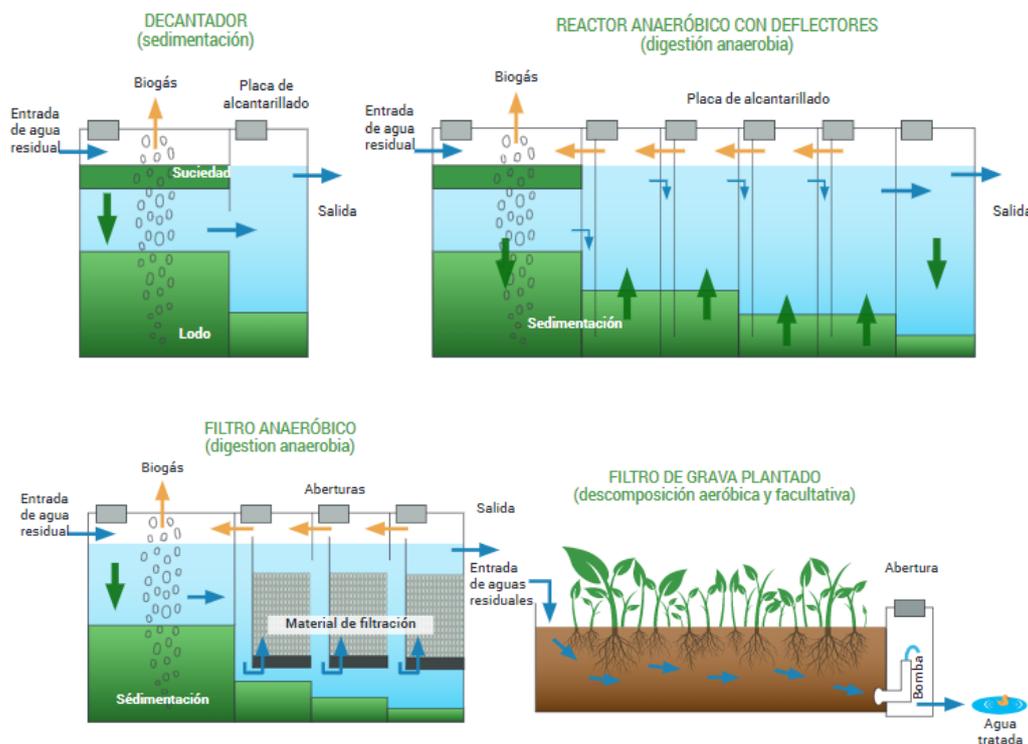


Figura 16: Modelo tradicional de sistema descentralizado de aguas residuales. Obtenido de (Organización de las naciones unidas, 2019).

Las tecnologías de tratamiento descentralizados se aplican generalmente en comunidades con una Población Equivalente menor de 2000 habitantes y sus procesos asociados son apropiados para cada tipo de agua residual, existiendo en un mismo sistema varias operaciones unitarias como sedimentación, filtración, flotación y oxidación biológica, como se puede ver en la Figura 18 (Galbán Rodríguez, 2009). Algunos de estos sistemas son:

tanques sépticos, tanques aireados, filtros percoladores, lagunas de estabilización y otros procesos combinados.

- ✓ **Tratamiento primario** en lagunas de sedimentación, tanques sépticos, tanques Imhoff o lagunas anaeróbicas profundas.
- ✓ **Tratamiento secundario** en filtros de cama fija o tanques sépticos.
- ✓ **Tratamiento secundario y terciario**, aerobio/anaerobio en humedales construidos o en lagunas de pulimento de baja profundidad y otros.

Tanques sépticos: El sistema de tratamiento para aguas residuales, conocido como tanque séptico, consiste entonces, en tres etapas: La primera es el tanque, el cual es un sedimentador de las partes gruesas que van al fondo y donde las partículas livianas y las grasas se acumulan en la parte superior. En el tanque, al darse la acumulación de partículas, se define una primera etapa de tratamiento, y al darse una primera descomposición de la materia, por las condiciones anaerobias y la biodigestión lograda, se entra en lo conocido como un avance de una siguiente etapa biológica de tratamiento. El buen funcionamiento de estos tanques sigue los principios básicos de la sedimentación, debiéndose entonces guardar entre otras razones, una relación de 1:3 entre el ancho y la longitud de la unidad que se construya (ver Figura 17); así como una profundidad mínima de 1,0 m (Rosales Escalante, 2019).

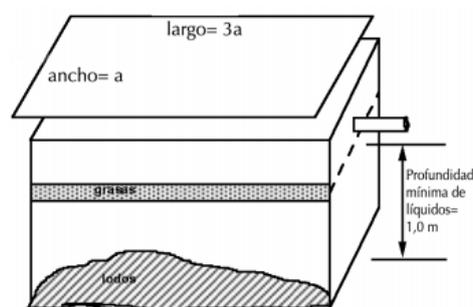


Figura 17: Tanque sedimentador. Obtenido de (Rosales Escalante, 2019).

La segunda etapa es la que se cumple con el drenaje. En esta etapa se dan dos situaciones: una de ellas es la continuación del tratamiento secundario, por medio de la biodegradación de la materia orgánica disuelta en el efluente del tanque. Este proceso es

realizado por las bacterias adheridas a las piedras; la otra situación, es la que representa la capacidad de absorción del terreno existente.

Los drenajes, para este sistema de tratamiento individual se deben construir con piedra en tamaños entre 7 y 10 cm (aportan mayor superficie de contacto y menos vacíos que la “piedra bruta” o de gran tamaño tradicionalmente usada) y sin la colocación de plásticos. La tercera etapa se refiere a la remoción, tratamiento y disposición de los lodos.

La primera unidad está compuesta por un compartimiento de sedimentación donde las partículas pesadas van al fondo por gravedad y las livianas se dirigen hacia la superficie, conformando una capa delgada de espumas y natas. La segunda es un digestor, donde se depositan los sólidos sedimentados de la sección superior y se inicia su correspondiente biodegradación mediante un proceso anaerobio. El tratamiento secundario se da en el filtro anaerobio, donde el efluente forma una película biológicamente activa en los espacios que dejan los agregados, degradando la materia orgánica restante, como se puede observar en la Figura 18 (Valencia G, Silva G, & Narváez R., 2014).

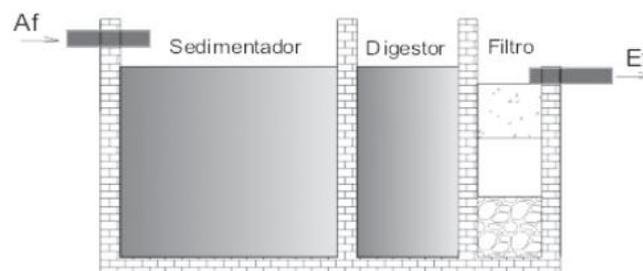


Figura 18: Corte longitudinal de un TSAM. Obtenido de (Valencia G, Silva G, & Narváez R., 2014).

La eficiencia de remoción de DBO en los tanques sépticos depende de la temperatura, se pueden lograr remociones del orden del 70% de DBO y SS y 90% de CF. En el TSAM, las remociones pueden subir a 85% de DBO, 90% de SS y 99% de CF (Valencia G, Silva G, & Narváez R., 2014)

Humedal artificial: Es un sistema que consiste en un estanque o canal poco profundo, construido por el hombre en el que se siembran plantas acuáticas (ver Figura 19); estas plantas

ayudan a purificar el agua mediante la absorción de los nutrientes, eliminando una cantidad significativa de contaminantes, mientras sus raíces proporcionan el hábitat para microorganismos. El tratamiento en el humedal ocurre cuando el flujo de agua atraviesa lentamente el tallo y la raíz de la vegetación emergente, la cual permite la degradación biológica de contaminantes y materia orgánica por microorganismos, generando también la sedimentación de los sólidos suspendidos (Thurnhofer, Gauss, Cáceres, & Fong, 2018).

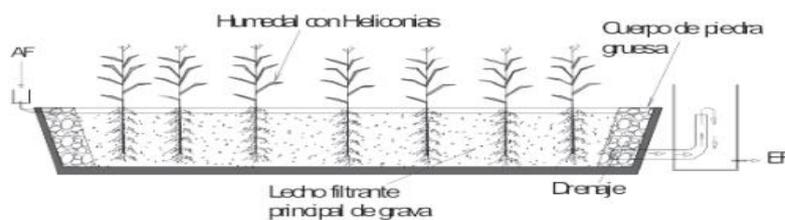


Figura 19: humedal de flujo horizontal. Obtenido de (Valencia G, Silva G, & Narváez R., 2014).

Existen dos tipos de humedales, los de flujo superficial y subsuperficial. Los humedales de flujo subsuperficial se diseñan y construyen para mantener el nivel de agua totalmente por debajo de la superficie del lecho filtrante y por lo tanto no presentan una superficie libre de flujo, evitando problemas con la proliferación de insectos. 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 (Peña Varón & Van Ginneken, 2016). Los humedales de flujo superficial son aquellos en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera.

En una evaluación realizada a un Biofiltro de Flujo Horizontal, construido en Masaya - Nicaragua, se encontraron remociones de 97% de DBO; 94% de DQO, 97% de SS, 34% de N, 26% de P, y 99% de CF, considerando altas las remociones de DBO DQO y SS, aceptables las de N y P, y baja la de CF (Valencia G, Silva G, & Narváez R., 2014).

Alberca biológica: Es un sistema que consiste en un tanque pequeño para el tratamiento de aguas residuales, donde se siembran plantas flotantes las cuales realizan el tratamiento. Este tanque está dividido en dos compartimientos donde se siembra Jacinto/buchón de agua, las plantas funcionan como medio de filtración y adsorción de sólidos,

poseen un sistema radicular sobre el cual las bacterias crecen las cuales ayudan a realizar la limpieza a la planta; el sistema esta complementado con un filtro compuesto de piedra, grava y arena (ver Figura 20), en el cual se culmina el tratamiento del efluente proveniente de las albercas con buchón. (Valencia G, Silva G, & Narváez R., 2014).

Para una Alberca Biológica, construida en la Institución Educativa El Tejar del municipio de Timaná – Huila, para el tratamiento de las aguas residuales de una porqueriza, se presenta como remociones teóricas, 83% de DBO, 77 de SS, 68% de N, 67% de P y 99,9% de CF. (Valencia G, Silva G, & Narváez R., 2014)

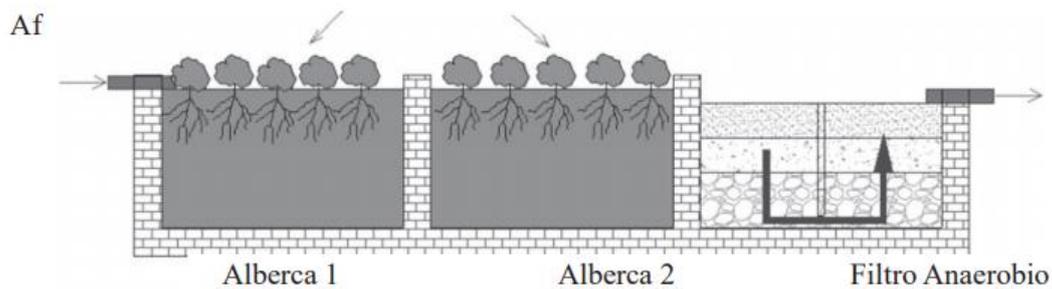


Figura 20: Corte longitudinal de una alberca biológica. Obtenido de (Valencia G, Silva G, & Narváez R., 2014).

Prototipos de sistemas descentralizados integrados y sostenibles (economía circular)

Sistemas con humedales: Contempla para el tratamiento preliminar una trampa de grasas para las aguas grises (AG), para el tratamiento primario un sedimentador y para el secundario un humedal sembrado con heliconias. El efluente (Ef) del humedal (ver Figura 21), es usado para riego de un cultivo y la producción del humedal se destina su comercialización.

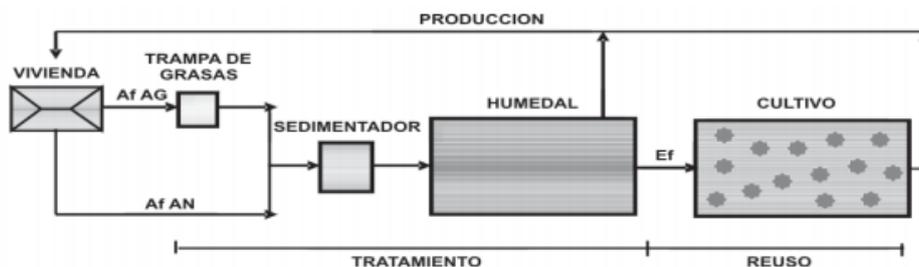


Figura 21: Esquema del sistema de humedal. Obtenido de (Rosales Escalante, 2019).

Las eficiencias teóricas de remoción de contaminantes del sistema, pueden considerarse

altas, del 83% en DBO, 92% en SS y G y A, el 60% en N, 46% en P y 99% en CF.

Sistemas con Alberca biológica: Contempla para el tratamiento preliminar una trampa de grasas para las aguas grises, en el tratamiento primario un sedimentador y en el secundario una Alberca Biológica, compuesta por dos tanques sembrados con plantas acuáticas: Jacinto de agua *Eichhornia Crassipes*, y un filtro anaerobio (ver Figura 22), Los Jacintos cosechados serán compostados para ser utilizado en un cultivo y el efluente del filtro se utilizará para riego. La producción retorna a la vivienda para ser comercializada

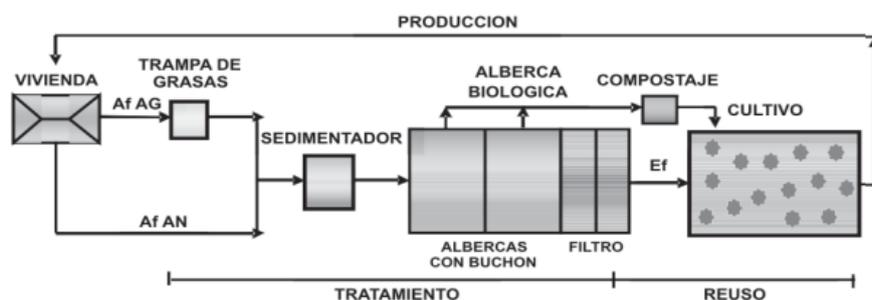


Figura 22: Esquema del sistema con alberca biológica. Obtenido de (Rosales Escalante, 2019).

Las Eficiencias teóricas de remoción de contaminantes del sistema, pueden considerarse altas, 95% en DBO, 98% en SS, 92% en G y A, 85% en N, 54% en P y 99% en CF.

Sistema con Tanque Séptico de Acción Múltiple (TSAM). Contempla para el tratamiento preliminar una trampa de grasas, y un Tanque Séptico de Acción Múltiple, conformado por un sedimentador como tratamiento primario y un digestor y un filtro anaerobio de flujo ascendente como tratamiento secundario (ver Figura 23). Los lodos extraídos del sedimentador serán compostados para ser utilizados como abono en un cultivo; y el efluente como agua para riego.

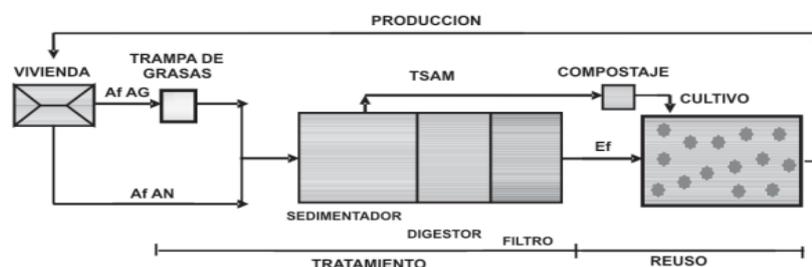


Figura 23: Sistema con tanque séptico de acción múltiple. Obtenido de (Rosales Escalante, 2019)

Las Eficiencias teóricas de remoción de contaminantes del sistema, pueden considerarse altas, 80% en DBO, 94% en SS, 92% en G y A, 62% en N, 58% en P y 99% en CF.

CASO DE APLICACIÓN

Adaptación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la comunidad urbana de Lacabamba región Ancash – Perú, usando tecnologías de humedales artificiales.

Lacabamba es un distrito de 180 km² el cual se ubica en la microcuenca del río conchicos, en la cordillera negra de los Andes del Norte de Perú, tiene una altitud promedio de 3346 msnm. Se caracteriza por su clima templado en la región Quechua y frío en la zona de Puna, su temperatura fluctúa entre los 10 y 20 °C, presentando abundantes precipitaciones en los meses de enero y abril. Lacabamba presenta una población de 3450 habitantes (ver Figura 27), donde su actividad económica es la agricultura tradicional y de autoconsumo. (Lovera D., Quipizco, Guadencio, & Carolina, 2016)



Figura 24: Distrito de Lacabamba, Perú. Obtenido de (Anónimo, 2020).

En el contexto del PDSL (Países en desarrollo sin litoral), el IIGEO-UNMSM (La Revista de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la universidad de San Marcos), presenta el proyecto «Adaptación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la comunidad de Lacabamba, Región Ancash, Perú; usando tecnologías de humedales artificiales», al Secretariado de Manejo del Medio Ambiente para América Latina y Caribe (SEMA / EMS) y del International Development Research Centre, IDRC de Canadá, y es seleccionado. El proyecto se ejecutó con la firma de un Convenio

entre SEMA/EMS en nombre del International Development Research Centre, IDRC; y las autoridades de la Municipalidad del distrito de Lacabamba en el 2005.

La investigación aplicada se inició coordinando con las autoridades del municipio para que se desarrolle el proyecto y por otro lado la realización de la Consulta Ciudadana, aprobación del Plan de Desarrollo Sostenible del Distrito de Lacabamba al 2012, permitió presentar el proyecto de investigación (Lovera D., Quipizco, Guadencio, & Carolina, 2016).

El objetivo principal del proyecto fue implementar y evaluar un sistema integral de manejo de aguas residuales en la comunidad urbana de Lacabamba mediante el uso de sistemas de humedales artificiales en un biohuerto comunal, como tecnología innovadora y limpia para reducir la contaminación de las fuentes superficiales de agua, proteger la salud de los habitantes y evitar el deterioro del medio ambiente.

Inicio del proyecto:

El equipo técnico de IIGEO-UNMSM inspeccionó (ver Figura 25): el terreno a 300 m del centro urbano, cerca al tanque de aguas residuales, cedido por el municipio de Lacabamba para instalar el humedal artificial y biohuerto comunal. El tanque de aguas residuales se detectó en mal estado, sin expediente técnico; este fue construido en 1996 por el Fondo Nacional de Compensación y Desarrollo Rural - FONCODES (Presidencia de la República), se planteó rediseñarlo para reserva y tratamiento primario de las aguas residuales para abastecer el humedal artificial que se construiría.



Figura 25: Revisión del tanque Obtenido de (Lovera D., Quipizco, Guadencio, & Carolina, 2016).

Descripción del tanque: Como se puede observar en la Figura 26 el tanque es de concreto armado de 4.5 m de largo, 3.5 m de ancho y 4 m de profundidad, tiene una tubería de entrada al tanque de 6" de diámetro de PVC dos tuberías de salida de PVC localizadas a 2,0 m del nivel superior del tanque. A la salida de ésta, la tubería se interconexiona con un lecho de secado de lodos localizado a 5 m de distancia del tanque. El tanque recibe un caudal de 106 m³/día, de aguas residuales de una población de 1300 personas.

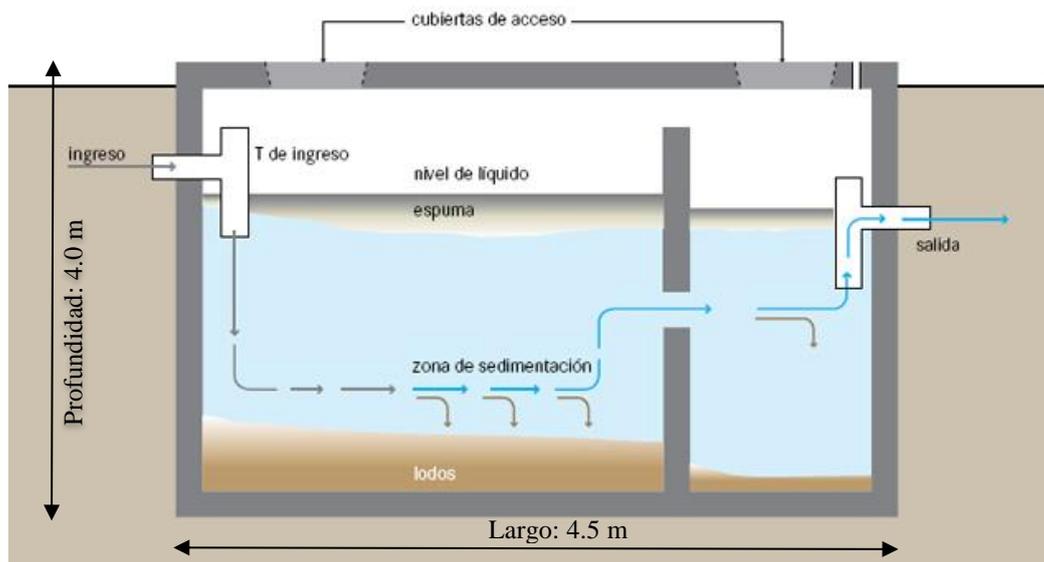


Figura 26: Dimensiones del tanque Imhoff. Fuente propia.

Lecho de secado de lodos: Como se puede observar en la figura 27, el lecho de secado de lodos tiene una área de 110 m², donde sus dimensiones son de ancho 10 m, largo de 11 m y profundidad de 0.6 m. La tubería de 6" de diámetro de PVC conecta el tanque con el lecho. El lecho consta de dos tuberías de salida que evacúan las aguas a una acequia colindante.

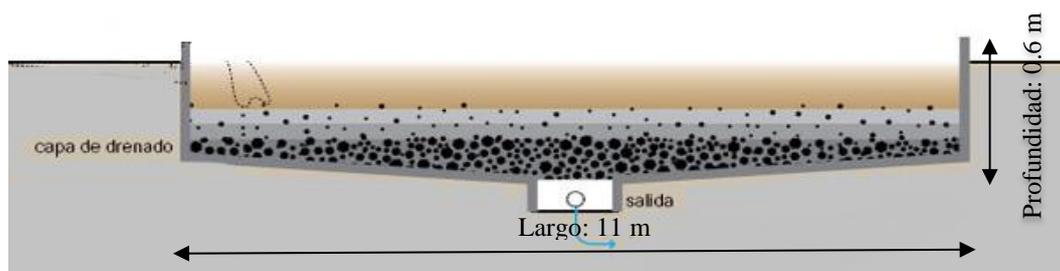


Figura 27: Dimensiones de lecho de secado de lodos. Fuente propia.

Implementación y evaluación del humedal artificial:

Trabajo previo: Se identificó el lugar donde se instalaría el humedal artificial, el terreno tenía una pendiente 12% por lo que se consideró excavar y construir un terraplén con la tierra excavada y con piedras formar muros de sostenimiento en los lados del humedal. En campo se dimensionó el humedal de ancho 6.5 m, largo de 9.0 m y profundidad de 0.45 m (ver Figura 28). Así mismo se determinó el uso de materiales del lugar, como: 11.9 m³ de grava, 5.6 m³ de arena gruesa, 7.02 m³ de gravilla, 130 m² de geo membrana de PVC, 88 m² de geotextil.

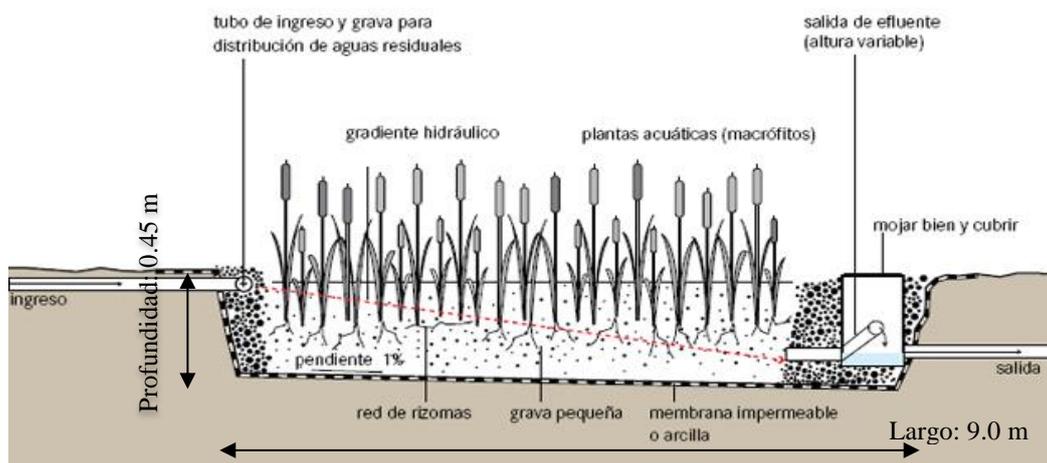


Figura 28: Dimensiones del humedal. Fuente Propia.

Parámetros de diseño (ver Tabla 5):

Tabla 5: Parámetros de diseño de humedal artificial. Obtenido de (Lovera D., Quipizco, Guadencio, & Carolina, 2016).

Parámetros de diseño	Humedal Horizontal
Flujo	Subsuperficial
Área superficial [m ²]	58.5
Profundidad	0.45
Porosidad del medio	0.49
Volumen efectivo [m ³]	12.84
Tiempo de retención [días]	4.3
Caudal [m ³ /d]	3
Borde libre [m]	0.33

La superficie del suelo del humedal tiene una pendiente descendente en el sentido del flujo de 1% para asegurar una buena capacidad hidráulica. La base y los taludes del humedal está revestidas con geo membrana de PVC de color negro de 0,5 mm de espesor como

impermeable y encima un geotextil Pavco NT 3000 como refuerzo para la distribución de cargas del medio filtrante.

Teniendo en cuenta los criterios de diseño, el medio poroso está constituido por un substrato de grava y arena usando 3 tamaños de material dispuestos desde el fondo hacia arriba: grava de 1" de Ø con una altura de 0,15 m; gravilla de (3/8") con una altura de 0,10 m; arena gruesa con una altura de 0,15 m. En la cabecera del humedal se instaló un sistema de ingreso de agua a través de un codo y una tubería de PVC transversal perforada con el objetivo de distribuir el agua de modo uniforme. Esta tubería se cubrió con una capa de grava de 1/2" de diámetro. La entrada de agua residual al humedal se reguló por medio de una llave compuerta de 2" de diámetro. El humedal se construyó para operar un flujo promedio de 3 m³/día. La carga hidráulica o tasa de aplicación hidráulica en el humedal es de 0,051 m/día, con una capacidad de almacenamiento de 12,84 m³ de agua residual. En el humedal se sembró rizomas de carrizo o caña brava, con una tasa de trasplante de rizomas de 5 plantas/m², para que garantice una buena cobertura a los tres o cuatro meses de sembrío.

Resultados

En la Tabla 6 se muestra el desempeño del humedal artificial. En esta tabla se detallan los valores promedios representativos de los parámetros analizados a la entrada y salida del humedal durante el periodo de remoción del contaminante.

Tabla 6: Desempeño de humedal artificial (valores promedios representativos y desviación estándar entre octubre y noviembre del 2005). Obtenido de (Lovera D., Quipizco, Guadencio, & Carolina, 2016).

Parámetros	Afluente	Efluente	Remoción
SST [mg/l]	58.6 +/- 14.5	5.7 +/- 4.2	90.30%
DBO5 [mg/l]	57.7 +/- 33.72	30 +/- 19.9	48%
N Amoniacal [mg/l]	4.83 +/- 0.07	5.45 +/- 2.1	-0.13%
P total [mg/l]	2.2 +/- 0.18	1.2 +/- 0.35	45.50%
Coliformes [NMP/100ml]	4.03E+06	1.50E+06	62.70%

El humedal artificial ha demostrado tener una buena capacidad para eliminar sólidos en suspensión por filtración por parte del suelo. Con respecto a la remoción de la DBO5, se

obtuvo una remoción del 48%, se espera mejorar este valor cuando se alcance una cobertura vegetal total, en el humedal y por tanto, una densidad de raíces. La densidad de raíces, favorecerá el crecimiento de microorganismos, que degraden la materia orgánica y favorezcan su mineralización ofreciendo estos minerales para el consumo de las plantas. (Lovera D., Quipizco, Guadencio, & Carolina, 2016)

Se considera que una vez alcanzado el desarrollo total de la vegetación se podrá suministrar un efecto de invernadero para ayudar a mantener una cama libre de heladas y asegurar una digestión complementaria de la fracción carbonada de forma aerobia. La remoción del nitrógeno amoniacal en el humedal presenta un valor de -0.13%, lo que indica que el nitrógeno amoniacal se ha acumulado en el humedal. Los rendimientos negativos indican la dificultad para la remoción, debido a la falta de oxígeno en el medio, se espera que una vez alcanzada la cobertura vegetal y radicular del carrizo, se mantengan las condiciones secuenciales aerobias y anaerobias, para que las bacterias nitrificantes transformen el nitrógeno amoniacal en nitritos y nitratos en la zona aireada y las bacterias desnitrificantes permitan la transformación de los nitratos y nitritos en nitrógeno gaseoso.

Mantenimiento

- En el humedal artificial se debe realizar la limpieza de las tuberías de recolección y distribución de lodos y agua una vez al mes, podar y cuidar de la vegetación cuando sea necesario, cuidar los bordos y geo membrana y realizar la inspección y regulación del nivel de agua en los humedales. La recomendación a largo plazo es realizar podas cada año cuando empiecen a secarse las parte aéreas de las plantas, cambiar el medio granular del filtro cada cuatro o cinco años.
- Se debe asegurar que no crezcan árboles en el área, ya que la raíz puede dañar el recubrimiento del humedal artificial.
- En el lecho de secado se den retirar los sólidos una vez que ya no contengan exceso de agua.

Conclusiones

La economía circular es un paradigma de actuación que ha resultado de la evolución del concepto de sostenibilidad y su aplicación en la economía, la sociedad, y el cuidado necesario del ambiente. Por lo cual se ha convertido en el camino para lograr un cambio integral en función de un problema global y conocido: lograr el desarrollo sostenible. En este orden, la economía circular no va en contra del crecimiento económico, sino que propone cerrar los ciclos de los recursos naturales y materiales para hacer un uso intensivo de los recursos que ya tenemos a disposición, en vez de expandir su explotación y ampliar los daños ambientales. Incluso, la economía circular crea nuevas oportunidades de negocio, más eslabones dentro de cadenas de valor y mucho más largas, desafiando la innovación de todo tipo y estimula el surgimiento de nuevos modelos de negocio.

Según lo anterior, este estudio propone entender la economía circular a través de cinco campos de acción que abarcan el ciclo de vida que deberían tener los productos desde que los materiales son extraídos hasta que sean recuperados de productos y servicios: extraer, transformar, distribuir, usar y recuperar, como se puede observar con el recurso hídrico, el cual mediante el ciclo que presenta la economía circular, se puede evitar mayores impactos en la contaminación de este, mediante mecanismos como sistemas de tratamientos de aguas residuales, los cuales se pueden escoger según la necesidad de donde se llegue a tratar el agua, ya que si es en un lugar alejado se puede emplear perfectamente un sistema descentralizado, pero si nos encontramos en la ciudad, se emplea el sistema centralizado, ya disponible en la mayoría de casos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A, J., & Mendonca. (2018). Lost in Transition? Drivers and Barriers in the Eco-innovation Road to the Circular Economy. *Ecological economics*, 75-89.
- Anónimo. (2020, enero 18). *LACABAMBA-PALLASCA-ANCASH-PERÚ*. Obtenido de: <https://conociendoperu.wordpress.com/2008/05/10/40/>

- AQUASTAT. (2020). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)*. Obtenido de:
<http://www.fao.org/aquastat/en/overview/methodology/water-use>
- Ashley, K., Cordell, D., & Mavinic, D. (2011). A brief history of phosphorus: From the philosopher's. *Chemosphere*, 84(6), 737-746.
- Belzona Inc. (2010). *Tratamiento de aguas residuales*. Miami.
- Burek, P., Satoh, Y., & Fischer G. (2016). *Water Futures and Solution: Fast Track Initiative (Final Report)*. Laxenburg: Documento de trabajo. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA).
- C.W. , S., & D., G. (2015). "Sink or Swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, (9) 545-571.
- Caicedo, J.(2014). *Aspectos claves para la selección de esquemas descentralizados en el manejo de aguas residuales municipales en Colombia*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- Collazos, C. (2016). *Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales* . Bogotá D.C.: Unversidad Nacional de Colombia.
- Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento (2020). *Filtro percolador*. Obtenido de <http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t8.html>
- Congreso nacional del medio ambiente (2016). *Contratación y compra pública sostenible e innovadora*. Obtenido de:
http://www.conama.org/conama/download/files/conama2016/GTs%202016/6_final.pdf
- Crites, R. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades*. MC GRAW HILL.
- Cyclus. (2020). *Tratamiento primario*. Obtenido de: <http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-primario/>
- Ellen MacArthur Foundation, SUN y McKinsey Center for Business and Environment . (2015). *Growth Within: a circular economy vision for a competitive Europe*. Obtenido de:https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Growth-Within_July15.pdf
- Fundación Conama. (2019). *Agua y economía circular*. Obtenido de:
<http://www.fundacionconama.org/wp-content/uploads/2019/09/Agua-y-Economi%CC%81a-Circular.pdf>
- Fundación Conama. (2019). *Ciclo del agua en la economía circular*. Obtenido de:
<https://www.elagoradiario.com/wp-content/uploads/2019/11/Esquema-de-Agua-y-Econom%C3%ADa-Circular-fundacion-conama.pdf>
- Galbán, L. (2009). El tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas como alternativa sostenible para el saneamiento periurbano en Cuba. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, Vol XXX, 29-35.
- García de Durango, A. (2018). *El viaje del agua hacia la economía circular*. Obtenido de:
<https://www.iagua.es/noticias/aguada-garcia-durango/viaje-agua-economia-circular>
- Gikas, P., & Tchobanoglous, G. (2017). The role of satellite and decentralized strategies in water. *Journal of environmental management*, 144-152.

- Grupo EPM. (2016). *Planta San Fernando*. Obtenido de: <http://www.grupo-epm.com/site/Portals/22/Docs/Plaza%20del%20Agua/PresentacionPlaza%20delAgua/SocializaciondeImaginario.pdf?ver=2015-10-04-132718-897>
- Hernández, D., y Sánchez, S. (2016). *Diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de san marcos - departamento de sucre*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.
- Hidrología sostenible. (s.f.). *Tratamiento y reutilización*. Obtenido de: <http://hidrologiasostenible.com/tratamiento-y-reutilizacion/>
- Humana Portugal. (2019). Jornada técnica sobre economía circular. *Premios humana circular*, (pp. 2-6). Sintra.
- Instituto para la diversificación y el ahorro de energía (2014). Estudio de Prospectiva. Consumo energético en el sector del agua. 22-26.
- IWA. (2015). sostenibles para los países en. *Presented in 2nd International Symposium on Ecological Sanitation*. Hanoi, Viet Nam.
- Lovera D., D., Quipizco, L., Guadencio, L., & Carolina, B. (2016). Adaptación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la comunidad urbana de Lacabamba, región Ancash - Perú, usando tecnologías de humedales artificiales. *Revista del instituto de investigaciones FIGMMG Vol 9*, 32-43.
- Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (2017). *Resolución N° 0330*. Bogotá D.C.
- Morseletto, P. (2020). Targets for a circular economy. *Resources conservation & recycling*, 1-12.
- Mujeriego, R. (2016). La reutilización, la regulación y la desalación de agua. *Universidad Politecnica de cataluña*, 2-3.
- Organización de las naciones unidas (ONU) (2018). Clean water and sanitation. *Sustainable Development Goal 6*, 72.
- Organización de las naciones unidas (ONU) (2018). *Clean Water and Sanitation: Ensure Availability and Sustainable Management of Water and Sanitation for All. SDG 6 Goal Profile*. Obtenido de: www.unescap.org/resources/sdg6-goal-profile
- Organización de las naciones unidas (ONU). (2019). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019*. París.
- Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. (2019). *Sistema mundial de información de la FAO sobre el agua en la agricultura*. Obtenido de: <http://www.fao.org/aquastat/es/overview/methodology/water-use>
- PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. (2018). *The Geography of Future Water Challenges*. La Haya: BPL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Peña, M. y Van Ginneken, M. (2016). Humedales de flujo subsuperficial: una alternativa natural para el tratamiento de aguas residuales domésticas en zonas tropicales. *CINARA*, 22-27.
- Ramallo, R. (2015). *Filtros percoladores*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Real, C. (2016). *¿Por qué es tan importante el tratamiento de aguas residuales?* Obtenido de: <https://www.iagua.es/blogs/carlot-real/que-es-tan-importante-tratamiento-aguas-residuales>
- Rojas, R. (2017). *Sistema de tratamiento de aguas residuales*.

- Rosales, E. (2019). Tanques sépticos. Conceptos teóricos básico y aplicaciones. *Tecnología en marcha*, Vol 18, 27-33.
- Sgroi, M., Vagliasindi, F., y Roccaro, P. (2018). Feasibility, sustainability and circular economy concepts in water reuse. *Current opinion in environmental Science & Health*, Vol 2, 20-25.
- Thurnhofer, M., Gauss, M., Cáceres, V. y Fong, N. (2018). *Biofiltro: Una Opción Sostenible para el Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Localidades*. Honduras: Programa de Agua y Saneamiento, América Latina y el Caribe (WSP-LAC).
- Tratamiento de aguas (2017). *Lagunas de oxidación*. Obtenido de:
<https://www.tratamientodelagua.com.mx/lagunas-de-oxidacion-que-son/>
- Universidad de las Américas Puebla (2018). *Tratamiento de lodos*. Puebla.
- Wastech. (2016). Valencia G, E., Silva G, I. J., & Narváez R., C. P. (2014). Sistemas Descentralizados Integrados y Sostenibles para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas. *Ingeniería y Región N° 7*, 66-72.
- ¿Qué es una trampa de grasas y para qué sirve? Obtenido de:
<https://wastechcr.com/2016/02/24/trampas-de-grasa/>
- Wilderer, P. y Schreff, D. (2015). Decentralized and centralized wastewater management: A challenge for technology developers. *Water Science and technology* 41, 1-8.