



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Tratamiento de aguas residuales provenientes de la  
industria del café. Revisión sistemática, 2022.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR:**

Castillo Jara, Wayo (ORCID:0000-0001-6538-9684)

**ASESORA:**

Mg. Cabello Torres, Rita Jaqueline (ORCID:0000-0002-9965-9678)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2022

### **Dedicatoria**

Con todo el amor y cariño a mis padres Martha Jara Torres y Abel Castillo Saavedra, por el apoyo incondicional durante mis años de formación.

A mis queridos hermanos que, junto a mí, aprendimos los valores necesarios de la vida, para alcanzar nuestros propios logros.

### **Agradecimiento**

A Dios por la salud, por la vida llena de ejemplos, que me permiten tomar las mejores decisiones y así poder completar esta etapa de mi vida.

A mi familia que con mucho esfuerzo brindó el soporte, que me permitió continuar con el desarrollo de este trabajo que llevo mucho tiempo y dedicación para su culminación.

A la Mg. Rita Cabello Torres, quien con mucha paciencia guio mi camino para desarrollar correctamente esta tesis.

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
<b>Dedicatoria</b> .....	ii
<b>Agradecimiento</b> .....	iii
<b>Índice de contenidos</b> .....	iv
<b>Índice de tablas</b> .....	v
<b>Índice de figuras</b> .....	vi
<b>Índice de abreviaturas</b> .....	vii
<b>Resumen</b> .....	viii
<b>Abstract</b> .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	6
<b>Características de las aguas residuales</b> .....	11
<b>Valorización de las ARC.</b> .....	12
<b>Tratamientos de agua residual de café.</b> .....	14
III. METODOLOGÍA.....	22
<b>3.1 Tipo y diseño de investigación</b> .....	22
<b>3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística</b> .	24
<b>3.3 Escenario de estudio</b> .....	26
<b>3.4 Participantes</b> .....	26
<b>3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos</b> .....	26
<b>3.6 Procedimientos</b> .....	26
<b>3.7 Rigor científico</b> .....	30
<b>3.8 Método de análisis de información</b> .....	39
<b>3.9 Aspectos éticos</b> .....	40
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
V. CONCLUSIONES .....	55
VI. RECOMENDACIONES .....	56
REFERENCIAS:.....	57

## Índice de tablas

Tabla 1. Matriz: tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria del café. Revisión sistemática.....	24
Tabla 2. Estrategia de búsqueda.....	27
Tabla 3. Clasificación de cuartiles .....	30
Tabla 4. Características de las ARCs de acuerdo a diferentes autores .....	42
Tabla 5. Resultados promedio de los parámetros medidos .....	44
Tabla 6. Propuestas para la valorización de las aguas residuales .....	45

## Índice de figuras

Figura 1. Aspectos botánicos del café.....	6
Figura 2. Fruto del café y su estructura.....	7
Figura 3. Etapas del proceso de cosecha de café.....	9
Figura 4. Procesamiento seco del café .....	10
Figura 5. Ecuación modelo de recuperación de cafeína .....	12
Figura 6. Países productores de café.....	13
Figura 7. sistema continuo de humedales construidos en dos etapas .....	14
Figura 8: Aspecto del efluente tratado de agua residual de café (ARC) con recirculación .....	18
Figura 9. Proceso de fabricación de café con potencial de valorización del agua .....	46
Figura: 10 Balance de masa y energía de los sustratos ARC y lodos activados .....	48
Figura 11. Proceso de fitorremediación.....	51

## Índice de abreviaturas

ARC:	Agua Residual de Café
TRH:	Tiempo de Retención Hidráulica
pH:	Potencial De Hidrogeno
T°:	Temperatura
NTU:	Unidad Nefelométrica de Turbidez
OLR:	Taza de Carga Orgánica
POA:	Procesos Oxidativos Avanzados
COT:	Carbono Orgánico Total
mg:	Miligramo
ADMI:	Métodos Estándar Americanos 2120 E
Pt-Co:	Escala Platino Cobalto
UASB:	Reactor Anaeróbico De Flujo Ascendente
AnMBR:	Biorreactor de membrana anaeróbica
μS:	Microsiemens
OD:	Oxígeno disuelto
MIDAGRI:	Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego
ICO:	Organización Mundial de Café
CONCYTEC:	Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica
ISO:	Organización Internacional de Normalización

## Resumen

El café representa el segundo producto comercial con mayor demanda en el mundo, tan solo antecedido por el petróleo, es por esta razón que cumple con un importante papel en cuanto a su producción y comercialización, no obstante, su transformación en la bebida de café genera impactos negativos hacia el ambiente donde se desarrolla, debido al procesamiento del fruto, donde tiene lugar la aplicación de procesos húmedos los que integran agua para cada etapa, la investigación tuvo por objetivo identificar y analizar las técnicas de tratamiento con su aplicación en aguas residuales, provenientes de la industria del café. La investigación es de carácter cualitativo, descriptivo, con metodología que consistió en la revisión de 52 artículos científicos, con 5 años de antigüedad, que fueron considerados desde el 2018, los resultados se obtuvieron de acuerdo a las categorías y subcategorías, es así que las características son compartidas para las aguas residuales de café, de acuerdo a 10 autores diferentes con pH promedio de 4.43, DQO y DBO promedio de 15465.2 mg/L, 9258.7 mg/L respectivamente, la valorización de las aguas residuales con subproductos, producción de metano, fuente de nutrientes, fertirrigación y las técnicas óptimas para los tratamientos de ARC, como la digestión anaerobia, fitorremediación, coagulación, procesos oxidativos avanzados, como resultados se determinó que la digestión anaerobia con la utilización de Reactores, es el tratamiento más eficiente para tratar las aguas residuales del café, independientemente de su precedencia.

Palabras clave: beneficio del café, aguas mieles, aguas residuales, tratamiento, características.



## **Abstract**

Coffee represents the second commercial product with the highest demand in the world, only preceded by oil, it is for this reason that it plays an important role in terms of its production and marketing, however, its transformation into the coffee drink generates negative impacts towards the environment where it is developed, due to the processing of the fruit, where the application of wet processes takes place, which integrate water for each stage, the research aimed to identify and analyze the treatment techniques with their application in wastewater, from the coffee industry. The research is qualitative, descriptive, with a methodology that consisted of the review of 52 scientific articles, 5 years old, which were considered since 2018, the results were obtained according to the categories and subcategories, so that the characteristics are shared for coffee wastewater, according to 10 different authors with average pH of 4.43, average COD and BOD of 15465.2 mg/L, 9258.7 mg/L respectively, the recovery of wastewater with by-products, methane production, source of nutrients, fertigation and optimal techniques for ARC treatments, such as anaerobic digestion, phytoremediation, coagulation, advanced oxidative processes, as results it was determined that anaerobic digestion with the use of Reactors is the most efficient treatment to treat coffee wastewater, regardless of its precedence.

Keywords: coffee processing, honey water, wastewater, treatment, characteristics.

# I. INTRODUCCIÓN

El café es una planta perteneciente a la familia Rubiaceae, género *Coffea*. Sus semillas se llaman granos de café y se pueden procesar en bebidas (Ijanu et al. 2019). Es el segundo producto básico más grande del mundo, reciclar estos subproductos ricos en nutrientes puede reducir la cantidad de desechos orgánicos que terminan en los vertederos, al mismo tiempo que crea productos más sostenibles que tienen valor agregado (Janissen et al, 2018). Para conseguir el producto del café, se pasa por diversos procesos generando gran cantidad de residuos sólidos y líquidos.

Para conseguir café despulpado se utiliza sólo 5% de la cosecha y se generan residuos como aguamielos que tienen diferentes azúcares en su composición, además su pH oscila entre 4,4-5, por cada kg de café seco, se utilizaron 40 litros de agua que, al ser vertidos, pueden ocasionar graves problemas en la salud e impactar negativamente el ambiente (Torres et al, 2019). Según Gurudev et al (2018), analizar y comprender el procesamiento del café y el comportamiento propio de las aguas residuales del procesamiento del café es esencial para diseñar y operar tecnologías de tratamiento apropiadas y efectivas; debido a que los desechos que se vierten sin cuidado terminan en ríos cercanos o se filtran en aguas subterráneas, al mismo tiempo se convierten en una gran amenaza para estas fuentes de agua. Las industrias de transformación no aplican o aplican tecnologías de baja eficiencia para la gestión, debido a la falta de viabilidad económica y tecnológica (Alemayehu, et al 2020).

A su vez existe una fuente de contaminación proveniente del proceso húmedo en la industria del café, que genera aguas residuales en grandes cantidades.

Debido a esta situación es importante investigar y buscar técnicas para tratar los impactos negativos por aguas residuales (Hailemariam et al, 2020). Otro problema importante asociado con el procesamiento húmedo del café es la gran cantidad de agua requerida para procesar aproximadamente 15–20 L por 1 kg de grano de café; si no hay reciclaje de agua, entonces los recursos mismos están en juego (Dadi et al, 2018). En la actualidad muchos países discuten sobre

la contaminación ambiental que existe y que crece a un ritmo constante y alarmante.

Varios estudios han demostrado que las ARCs, se caracterizan por su demanda biológica de oxígeno (DBO), su alta concentración de (DQO), alta cantidad de olor y color (marrón oscuro) debido a su mayoría por taninos, pH ácido de entre 4,4 – 5,1, alta carga de materia orgánica que contienen azúcar y proteínas provenientes de la pulpa que se presentan en forma de mucílago, que generan viscosidad y que se consideran determinantes y particulares de las aguas residuales. Cuando el mucílago se disuelve durante la fermentación, estos azúcares presentes se transforman en ácidos orgánicos, lo que disminuye el nivel del PH de las aguas residuales (Alemayehu et al, 2019).

En cuanto a la valorización de los compuestos en las ARCs, existen nutrientes que también pueden ser aprovechados como materia prima para la generación de biogás, como combustible sustituto para la producción de electricidad, biopesticida, bioetanol, compuestos volátiles, cafeína y compost. las aguas residuales del procesamiento de café que contienen mucílago, pueden ser usados como un sustrato diferente y sin precedentes para la producción de hidrógeno; las aguas residuales también pueden ser utilizadas con fines de fertilización de suelos, a través de fertirrigación debido a su contenido rico nutrientes orgánicos que puede mejorar el desarrollo de las plantas (Ancy et al, 2021).

Como alternativas de procesos de tratamiento químicos tenemos la aplicación de procesos oxidativos avanzados, donde se trata de estudiar la eficiencia que tiene la radiación UV aplicada y el peróxido de hidrogeno en la fotocátalisis homogénea, como pretratamiento para reducir taninos en ARC (Córdoba et al, 2019). La ozonización también es considerada como un proceso de tratamiento químico debido a que el ozono es objeto de estudio durante años, en aguas tratadas para uso poblacional. No obstante, por su eficiencia en oxidar algunos compuestos complicados, su aplicación en vertimientos es citada con mayor frecuencia en la literatura (López et al, 2022). Así mismo los procesos de coagulación y floculación resultan ser opciones muy buenas y de bastante interés

en cuanto se refiere al tratamiento de aguas residuales provenientes del café; el intercambio iónico es un proceso de adsorción que se puede generar con la aplicación de carbón activado en donde el mecanismo es electrostático (Ijanu et al, 2019). Los humedales construidos para tratar ARC, representan una forma físico-química de tratarlas, debido a su gran capacidad de remoción de DQO y DBO5 con capacidad de remoción del 95% y 96%, respectivamente (samuel Z.A; 2021). La utilización de un Reactor de tipo (UASB) para eliminar el 94 % de DQO y DBO, que al mismo tiempo podría darle valor agregado produciendo gas, de hasta 0.58 m<sup>3</sup> de biogás kg/DQO (Alemayehu et al, 2020).

Este estudio también analizó las condiciones operativas para cada tipo de tratamiento, debido a que dependen de las características particulares que contienen las ARCs y que se trataron bajo condiciones como el pH, la temperatura, el tiempo de retención hidráulica, el caudal y volumen con el que se trabajó, entre otras, puesto que se deben de optimizar para cada caso particular. Se obtiene mejores resultados en condiciones operativas con el pH a 10-11 y [Fe<sup>3+</sup>] = 250 mg/L, a una temperatura de entre 20 – 55 °C, las mismas que reducen toxicidad y elevan la biodegradabilidad de los compuestos de las ARCs de 0.34 a 0.47 respectivamente, esto permitió remover COT de 76,2%, DQO = 76,5 y DBO5 = 66,3% (Gomes de Barros et al, 2020).

A pesar de la existencia de mucha literatura que explica las distintas técnicas de tratamiento para las aguas residuales y su posible reaprovechamiento, no hay un documento que describa de manera precisa los tratamientos y su correspondiente aplicación para el agua residual proveniente de la industria del café y su reaprovechamiento, es esta falta de información la que limita posibles aplicaciones de los residuos que incluyen el agua residual en un contexto de economía circular; además de la revalorización de los residuos dentro de la biorrefinería, es necesario integrar la información dispersa sobre este aspecto en la industria del café, para ofrecer alternativas en la gestión sostenible del recurso.

Es por esto que esta investigación pretende identificar la información disponible de artículos científicos de revistas indizadas que contemplan los tratamientos más apropiados de los residuos provenientes del procesamiento húmedo en la

industria del café, que genera la mayor cantidad de contaminantes debido a su naturaleza de funcionamiento.

En el mundo se consumen en toneladas de café aproximadamente 9 millones, anualmente, de acuerdo a los datos que se brinda el departamento especializado en agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA, 2019). En el Perú también se comparte una situación similar, puesto que se tiene como producto agroindustrial al café en sus diversas variedades, es por ello que el presente estudio justifica la búsqueda de información sobre los tratamientos para las aguas residuales generadas por este producto, puesto que en la actualidad no se conocen técnicas de tratamiento accesibles, ni su posible reaprovechamiento, al mismo tiempo se pretende ampliar la información recopilada a través de artículos científicos especializados en aguas residuales y técnicas para su tratamiento como solución al constante impacto ambiental negativo que se genera por el procesamiento húmedo del café en nuestro. El principal producto agrícola en el Perú que se exporta es el café, según el último Censo Nacional Agropecuario que se realizó en el 2012, aproximadamente 223000 familias trabajan 425400 hectáreas exclusivas al cultivo de café (MIDAGRI, 2018).

Por esta razón surge las siguientes interrogantes:

**PG.:** ¿Cómo tratar las aguas residuales provenientes de la industria del café?, del mismo modo, surgen como problemas específicos:

**PE1** ¿Cuáles son las características de las aguas residuales provenientes de la industria del café?

**PE2** ¿Qué tipos de valorización se desarrollan para aguas residuales provenientes de la industria del café?

**PE3** ¿Cuáles son las técnicas de tratamiento para las aguas residuales provenientes de la industria del café?

En esta investigación se plantea contribuir de forma teórica, ya que se actualiza la información de los últimos 5 años, analizando y describiendo datos de revistas

indexadas para identificar la alternativa más idónea a tener en cuenta para trabajos de investigación del tema en el futuro.

Con base en ello se plantea el objetivo general:

**OG:** Identificar y analizar las técnicas de tratamiento para aguas residuales provenientes de la industria del café.

Así mismo se tienen los objetivos específicos:

**OE1:** Analizar las características que tienen las aguas residuales provenientes de la industria del café.

**OE2:** Describir los tipos de valorizaciones de aguas residuales provenientes de la industria del café.

**OE3:** Analizar las técnicas de tratamiento del agua residual provenientes de la industria del café.

## II. MARCO TEÓRICO

El café de acuerdo a su botánica pertenece a la familia Rubiaceae, su crecimiento depende mucho de la altitud y se desarrolla en los pisos bajos de bosques, el genero Coffea es el integrante mas representativo para el mercado debido a su valor económico (ICO 2022). Existen 2 especies que se consideran las más importantes dentro del café, desde un enfoque comercial son la Arabica, que lidera la producción a nivel mundial con más del 60% de la producción mundial, así mismo la Canephora que se produce minoritariamente pero considerable. Por otra parte, también existen otros cultivos con especies de escala inferior en la producción como el Coffea liberica y el Coffea dewevrei, de acuerdo a ello, la cantidad de café que se exportó mundialmente se estimó en 10.9 millones de sacos para enero de 2022 con respecto a los 10.6 millones de sacos correspondientes a enero de 2021 (ICO, 2022).

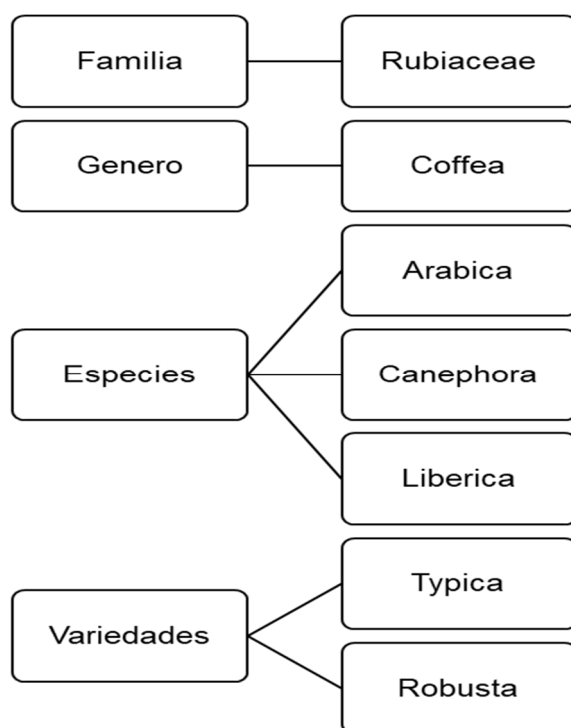


Figura 1. Aspectos botánicos del café. Fuente: Adaptado de Organización mundial del café (2022)

El requerimiento del café se ha incrementado en todo el mundo, debido a la referencia del café como alimento con mucho potencial. Los componentes bioactivos del café contienen a su vez compuestos fenólicos (clorogénicos ácidos, cafestol y kahweol), alcaloides (cafeína y trigonelina), y otros metabolitos secundarios, su consumo se asocia con estilos de vida saludable entre los consumidores con mejoras durante la concentración, el riesgo de contraer diabetes tipo 2 se minimiza con el consumo de café, también la depresión, daño hepático, cirrosis, trastornos neurológicos, conducta suicida, cáncer y reducción del riesgo cardiovascular) y como efectos positivos en el tracto gastrointestinal y la microbiota intestinal están bien documentados beneficios (De Melo et al, 2020).

El fruto maduro del cafeto (planta) tiene la cáscara, con diversos tonos de color que van desde el amarillo al rojo, de acuerdo al genotipo de la especie varían, también se puede apreciar un tono verde cuando el fruto todavía es prematuro.

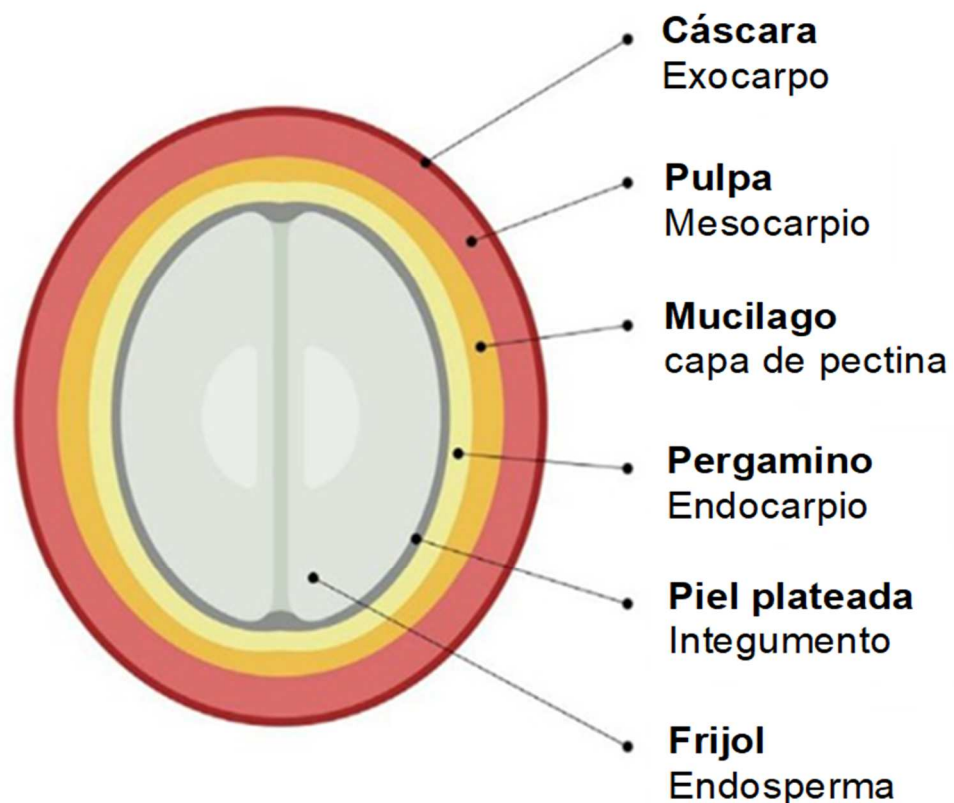


Figura 2. Fruto del café y su estructura. Fuente: De Melo et al (2020)



De la figura 2; se puede observar la composición en la estructura que tiene un grano de café maduro, por la parte externa se tiene a la cáscara (exocarpio), una capa interna inmediata está compuesta por la pulpa (mesocarpio), por dentro encontramos al mucilago (capa de pectina), con una coloración más clara y de menor grosor se puede encontrar al pergamino (endocarpio), adentrando aún más por las capas del fruto, se encuentra la envoltura de piel plateada (integumento), es en el epicentro donde se ubica al frijol (endosperma) que es el único producto que se extrae del fruto para el consumo en la bebida del café, es por esta particular composición del fruto del café que se generan diversos compuestos tóxicos que facilitan la contaminación al medio ambiente, estas se originan en el procesado húmedo donde se separan las diversas capas del fruto y que a su vez libera el mucilago que al combinarse con el agua durante el procesado generan por ejemplo aguas mieles. Del mismo modo, Fernández et al (2020) indica que los granos se encuentran cubiertos con una doble membrana: inicialmente se tiene al endocarpio, que es duro pero delicado y con una coloración amarilla tenue, llamado pergamino compuesta por el 6.1% en fruto fresco, la segunda, pegada al grano y con mayor delgadez, denominada piel plateada, expresada por el 0,2% del fruto fresco (Melo et al, 2020).

Según el MIDAGRI (2021), el Perú es el octavo exportador mundial del café, con exportación anual de 3.6 millones de sacos y se cultiva café en 425,400 hectáreas, en 450 distritos de 95 provincias y 15 departamentos; de estas, en regiones como Cajamarca, Cusco, Junín, Amazonas, San Martín y Pasco, se encuentran el 91% del del área cultivable y el total de productores.

Según Fernández et al (2020), del café cultivado, tan solo el 5% se tranforma en la bebida, por el contrario, el 95% son los residuos como las aguas residuales, que se generan a partir del procesamiento del café, al mismo tiempo la pulpa se genera durante la etapa del despulpado durante el procesado húmedo, el mucilago representa alrededor del 43,58% del peso del fruto.

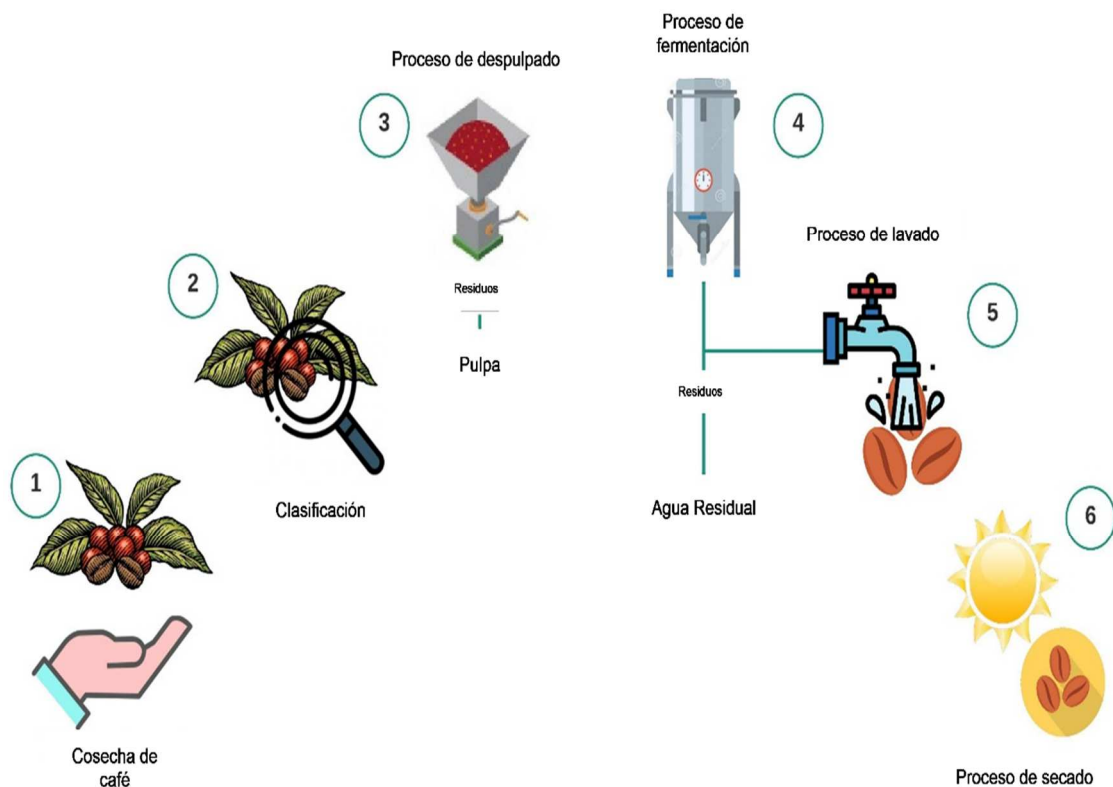


Figura 3. Etapas del proceso de cosecha de café. Fuente: adaptado de Hernández et al. (2021)

Durante el procesamiento del café de forma húmeda, genera mucilago que, contamina fuentes de agua si es manejado de forma incorrecta, genera malos olores, reproducción de vectores como moscas u otras plagas. Durante los años, estos impactos negativos han conseguido normas que regulen la disposición adecuada de los subproductos del procesamiento, con esto contribuir con la reducción de los impactos negativos en el ambiente; el mucílago este compuesto por 11,8% aproximadamente del fruto fresco (Fernández et al 2020).

**Procesamiento del café.** Durante el procesado del café, se fija como objetivo quitarle la cascara (despulpado) a los frutos frescos que han sido clasificados previamente, la gran mayoría son frutos maduros con un coloración roja o amarilla muy intensa dependiendo de la especie de café, los métodos para la separación de las capas de la fruta fresca de café se pueden clasificar de acuerdo al tipo de beneficio al que se someten. Para procesar 1 tonelada de café

en grano, se necesitan alrededor de 15m<sup>3</sup> de agua y la mayor parte de esta se es vertida en los ríos o fuentes de agua que están más próximos sin haber pasado por ningún tipo de tratamiento previo para estas aguas residuales (Hargreaves et al, 2018).

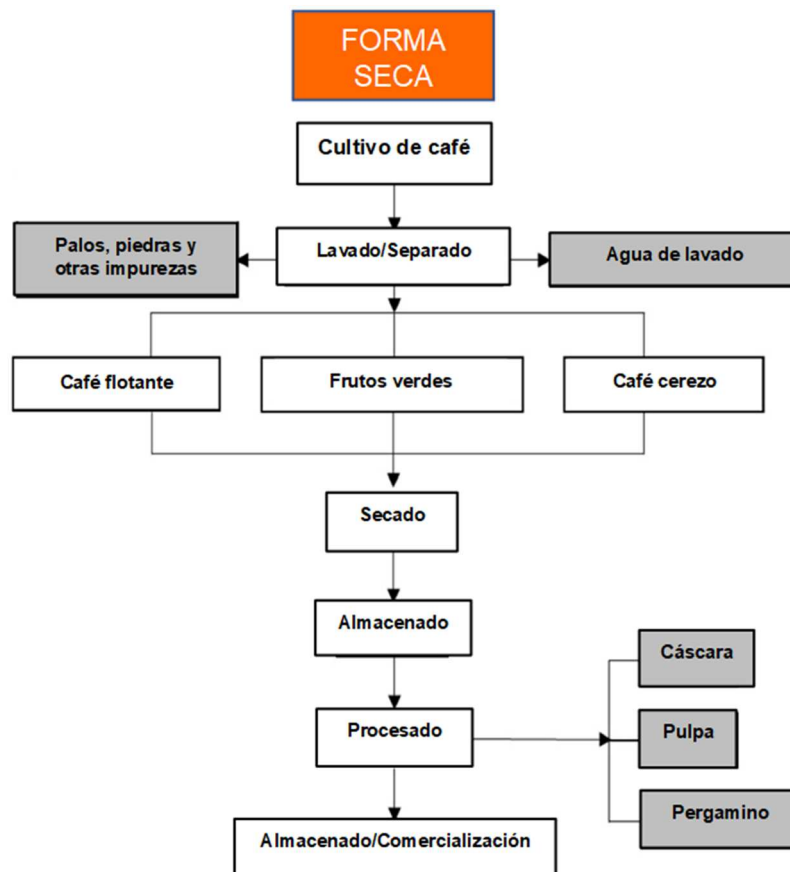


Figura 4. Procesamiento seco del café. Fuente: Campos et al. (2021)

**procesamiento seco**, esto ocurre cuando la cosecha de café se somete a lavado para separar el café flotante, los frutos verdes, el café cerezo y eliminar las impurezas como palos, piedras, hojas, entre otras, cabe mencionar que se generan aguas de lavado que no representan riesgo de contaminantes; habiendo dejado secar estos frutos se procede a almacenar hasta que se procesan generando cascara, pulpa y pergamino de café, finalmente se procede a secar el producto para luego almacenarlo hasta su comercialización (Campos et al. 2021). Durante el proceso seco solo se utiliza agua para limpiar el café

cosechado, mas no para el despulpado, por ende, no se generan aguas mieles que desencadenarían contaminantes de mayor preocupación.

**Procesamiento semihúmedo y húmedo.** Esta forma de beneficio es la que se emplea con mayor frecuencia en países centroamericanos, obteniendo cafés pelados, despulpados, que se presentan durante la fermentación del café (Louzada et al, 2020). El método húmedo en comparación con el método seco consume una gran cantidad de agua y, a su vez, genera un efluente muy rico en muchos compuestos orgánicos (Sengupta et al, 2020). Durante el beneficio húmedo en el procesamiento café cosechado, se utiliza agua para transportar los frutos despulpados, de manera eficiente, en esta etapa se identifican dos cuerpos de agua residual, resultantes del despulpado y lavado, los cuales son usados durante la clasificación, el despulpado y lavado, posteriormente estas mismas aguas terminan formando las aguas mieles, que generando contaminantes con características particulares; Las ARCs que se originan en el despulpado adoptan tonos marrones y oscuros debido a los residuos de pulpa que contienen gran cantidad de pigmentos naturales (Fernández et al, 2020).

**Características de las aguas residuales,** de acuerdo al autor estudiado surgen diferentes características para las aguas residuales de café, los cuales se obtuvieron desde datos de los parámetros medidos para cada muestra de agua residual, como el potencial de hidrogeno (pH) y como este llevaba relación muy cercana con los resultados de otros estudios; según Ibarra et al (2018) indican que la demanda química de oxígeno es de 3528 mg/L, debido a que las muestras de ARC, provenientes de la industria del café, son del efluente sin tratamiento en un periodo de tiempo de 12 horas a partir de su generación lo que indica que es necesario aplicar técnicas de tratamiento químico, a fin de evitar impactos negativos en el ambiente. Las características físicas son determinadas por el color, el total de solidos disueltos (TSD), total de solidos suspendidos (TSS), conductividad eléctrica (CE), entre otras; así también las características químicas son determinadas por los parámetros: demanda biológica de oxígeno (DBO5), oxígeno disuelto (OD), Carbono orgánico total (COT), Demanda química de oxígeno (DQO), entre otros (Ferreira et al, 2021)

**Valorización de las ARC.** Para el desarrollo de esta sección, se consultaron diferentes artículos que coinciden en la búsqueda de maneras óptimas de valorizar a las aguas residuales, generadas en la industria de procesamiento del café. El tratamiento y aplicación de ARC como fuente rica en nutrientes, para las plantas es uno de los enfoques de gestión de residuos que se utilizan actualmente (Alemayehu et al, 2021). por tanto, el agua contenida en el mucilago varía entre 85% y 90%, a su vez el mucilago contiene buenas cantidades de polisacáridos con valores 0.95% de proteínas y 0.45% de ceniza, donde se tiene presencia de Calcio, Potasio, Fósforo y Magnesio; durante el procesado del café, el agua utilizada, termina convirtiéndose en residual que también se denomina como agua miel de café (Fernández et al, 2020). La fertirrigación se convierte en una opción muy buena para ARC, gracias al caudal y el contenido de sus nutrientes pero por su pH ácido, se tiene que mezclar con sustancias alcalinas como cal ( $\text{CaCO}_3$ ) para conseguir una solución neutral, al mismo tiempo, la orina humana almacenada, es objeto de estudio debido a su alcalinidad, que siendo disuelta con ARC, resultarían beneficiosos en la neutralización de los componentes ácidos de estas aguas, al mismo tiempo se reducen los costos por la aplicación de otras técnicas (Alemayehu et al, 2021).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} X_{ij} + \varepsilon$$

Figura 5. Ecuación modelo de recuperación de cafeína. Fuente: Torres et al. (2020)

De dónde: Y es recuperación de cafeína.

$\beta_0$ ,  $\beta_i$ ,  $\beta_{ii}$  y  $\beta_{ij}$ : coeficientes de regresión del modelo.

K: número de factores estudiados;  $\varepsilon$ : error.  $X_i$ ,  $X_i^2$  y  $X_{ij}$ : términos lineales

Torres et al (2020), en su investigación analizaron a los solventes supramoleculares (SUPRAS) que se componían de ácido decanoico que a su vez facilita la extracción de bioactivos que son abundantes y que están presentes en las ARC, estos a su vez, son producto del ensamblaje automático y se producen de forma espontánea; el estudio pudo demostrar que se puede recuperar cafeína con eficiencia de 54 a 65 mg por litro desde el ARC, mediante la extracción controlada; ensayos con de SUPRAS obtuvieron capacidad eficiente de hasta 53% ABTS + (compuesto químico que permite observar la reacciones con determinadas enzimas), con estabilidad por 2 meses aproximadamente, a 4 y 24 °C, para preservar los bioactivos. Concluyeron con que la utilización de solventes supramoleculares para la captación de bioactivos en ARC, contribuyen con el agua y mejoran su calidad, reducen sus compuestos nocivos y DBO; de esta forma demostraron que este proceso contribuye con la depuración de ARC antes de ser vertidas.

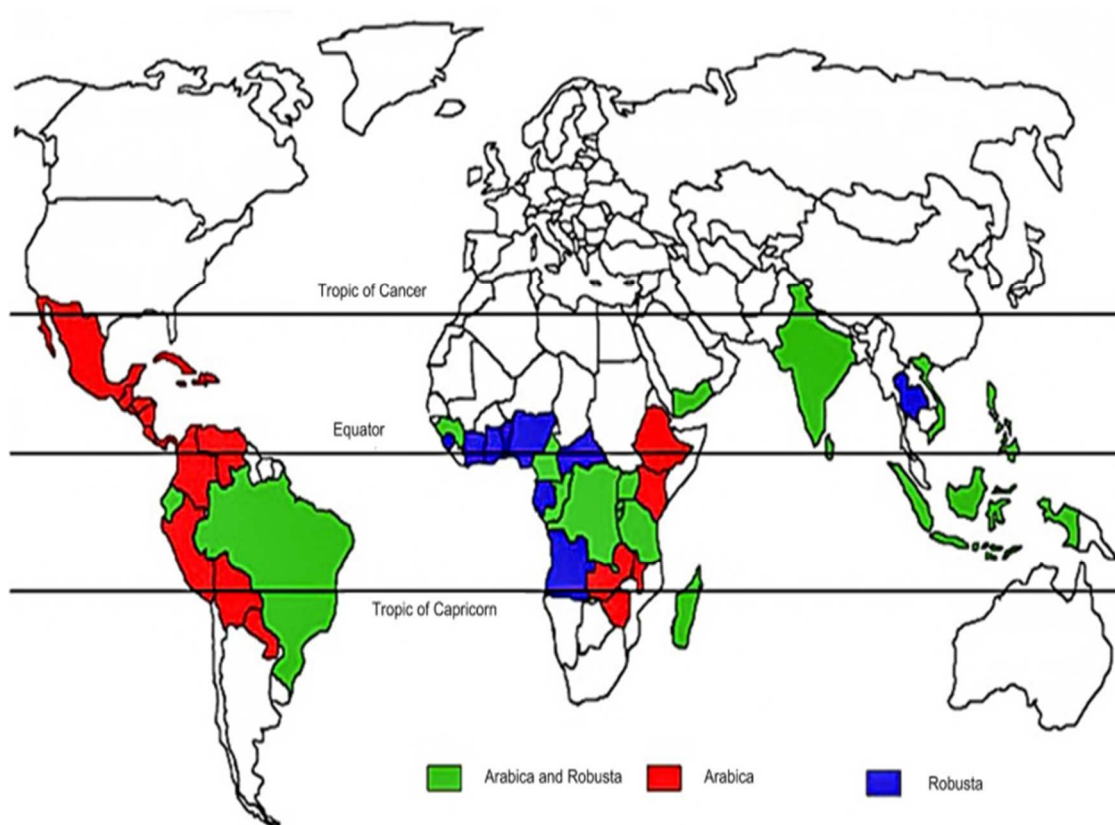


Figura 6. Países productores de café. Fuente: Franca et al. (2019)

**Tratamientos de agua residual de café.** Las revisiones de artículos, teorías, trabajos realizados publicados en revistas científicas, fueron las bases teóricas que apoyaron el desarrollo y comprensión de este capítulo durante la investigación, identificando las técnicas de tratamiento más eficientes para las ARC, de acuerdo con cada autor, es así que a continuación se detallan los conceptos que refuerzan el tema investigado.

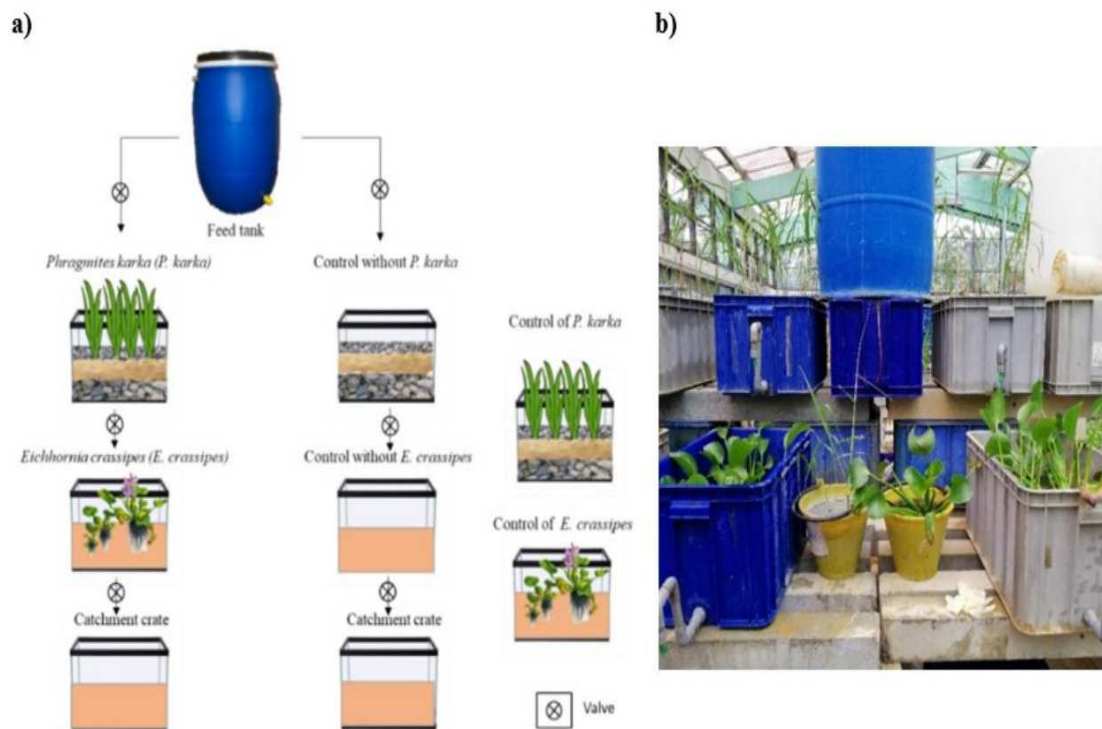


Figura 7. sistema continuo de humedales construidos en dos etapas. Fuente: Mohd et al. (2020).

De Mohd et al (2020), estudiaron la fitorremediación de dos sistemas húmedos en etapas, utilizando dos plantas tropicales (*Phragmites karka* y *Eichhornia crassipes*) para depurar los contaminantes. El agua residual tenía un valor de pH de 4.4, color de 1730 ADMI (métodos estándar americanos 2120 E), sólidos suspendidos totales de 399.3 mg/L, y con valores de DQO de 13000 mg/L y DBO 1720 mg/L; los autores administraron continuamente con aguas residuales a un caudal de 4,1 L/día para conservar el tiempo de retención hidráulica durante 3 días para *Phragmites karka* y en 4 días para *Eichhornia crassipes*. Se concluyó

que el sistema de dos etapas, tuvo eficiencia para eliminar el 94% de sólidos en suspensión, 79% de color y 95% de DQO. Así mismo sugiere que la fitotecnología tiene gran potencial como tecnología para el tratamiento de ARC.

Ibarra et al (2018), evaluó el proceso Fenton y en el tratamiento de las ARC, para determinar los valores de los parámetros más eficientes de operación, para disminuir lo mejor posible de la DQO y el color. Consiguieron valores máximos de 80.5% y 85.3%, para cada uno. Los autores concluyen que se pudo lograr mayor reducción de DQO con valores de 80.5% a un pH de 3.73, con Fe concentrado a 500 mg/L y que la aplicación del proceso Fenton constituye una buena alternativa a ser considerada para su aplicación en ARC como un modelo de tratamiento.

Botello et al. (2018), evaluaron el efecto de introducir la cantidad de 18,2 g de tasa de carga orgánica (OLR) sobre el rendimiento y la composición microbiana de un sistema UASB en dos etapas para tratar aguas residuales del procesamiento del café. examinó la composición microbiana mediante secuenciación de próxima generación y qPCR del lodo anaeróbico del primer reactor (R1) operado a OLR alto y bajo. Se logró estabilidad con una eficiencia en la eliminación de DQO del 88.4% y compuestos fenólicos al 73%, concluyeron que el tratamiento en sistema de dos reactores UASB fue efectivo para el tratamiento de las ARCs, a elevadas tasas de carga orgánica (OLR), las cuales maximizaron la operación del reactor, mediante la recirculación de efluentes.

De Guardia et al (2021) analizaron un modelo de regresión múltiple para determinar la producción de biogás, los valores de amortiguamiento y metano en un reactor de flujo ascendente (UASB) que trata ARC; para ello seleccionaron cinco variables de ingreso (pH, alcalinidad, concentración de AGV de salida y eliminación de DQO total y soluble) para determinar la metanización. Se evaluaron estadísticas, el modelo muestra que los índices de amortiguación son influenciados por 3 variable (concentración de ácidos grasos volátiles (AGV), eliminación de DQO soluble y alcalinidad); por el contrario, el potencial de hidrógeno, la concentración de ácidos grasos volátiles y la remoción total de DQO fueron las variables independientes para generar biogás y metano,



concluyen demostrando que los modelos basados en estadística, fácilmente se considerarían instrumentos de funcionalidad y estabilidad de un sistema UASB.

De Ijanu et al (2019) Analizó los métodos actuales de tratamiento para las aguas residuales del café, enfocados en presentar las tecnologías más apropiadas y recientes teniendo en cuenta todos los criterios de importancia (eficiencia, disponibilidad, asequibilidad, respeto por el medioambiente). Para las características efectivas de los cafés. La revisión analiza algunos de los enfoques actuales de carácter biológico y físico-químicos, utilizados en la correcta gestión de ARC, sus ventajas y desventajas, incluidos los altos costos, los procesos complejos y el bajo rendimiento. El autor sugiere la técnica de intercambio iónico como una mejor alternativa en función de su capacidad para actuar como intercambiador y absorbente de iones.

Dadi et al (2018), evaluaron los impactos que se producen a causa del proceso húmedo, en plantas procesadoras de café sobre la calidad del agua corriente abajo, en Etiopía. Recolectaron muestras de ARC de 11 ríos y arroyos, durante las horas del procesamiento, posteriormente midieron parámetros de calidad del agua para el agua vertida y el río, los valores de Ph ácido coincidieron en todas las muestras producidas de los vertimientos. El contenido orgánico en todos los casos varió, aun así, fue considerablemente alto, de 7200 mg/L y 871 mg/L para DQO y DBO<sub>5</sub>, respectivamente. El contenido orgánico con niveles altos, agotó el oxígeno hasta 250 mg/L. los autores concluyeron que las aguas residuales liberadas por las industrias de procesamiento húmedo de café no están de acuerdo con las pautas de la EPA de EE. UU, ya que implican concentraciones superiores a las recomendadas de la mayoría de los parámetros fisicoquímicos medidos. Por lo tanto, el potencial contaminante es bastante alto por parte de las fábricas hacia las fuentes de agua en ubicaciones por debajo del punto de descarga, es necesario encontrar una tecnología eficiente y ecológica para el tratamiento del procesado del café y así lograr la restauración ambiental.

Torres et al (2019), caracterizaron de forma física, química y microbiológica, dos muestras de agua (M1, M2) y determinar eficiencia en la eliminación de contaminantes, midieron parámetros como N, OD, conductividad eléctrica, NH<sub>4</sub>, Cr, DQO, acidez volátil, P, sólidos totales, pH, color, sin relevancia entre

muestras por la diferencia de 0.05 entre ambas y, también calcularon mesófilos, coliformes totales y estafilococos. La M2 concentraba mayor OD, conductividad eléctrica y variación del color respecto al control, en tanto la primera muestra a los restantes; no detectaron cromo ni amonio, por el contrario, la DQO fue superior, el análisis microbiológico, mostró presencia de mesófilos para ambas muestras, y la segunda presentó coliformes y también estafilococos. Concluyeron que las ARC tienen una composición química variable, por ello se tiene que implementar técnicas de tratamiento que se adapten a las características intrínsecas de las ARC. Los autores sugieren revisar otras opciones de valorización de las ARC, como la extracción líquida-líquido que consigue hacer pretratamiento y al mismo tiempo valoriza las mismas.

De Sujatha et al (2020), investigaron el potencial del proceso de **oxidación fotocatalítica** heterogénea para reducir la carga contaminante en las ARC. Para determinar la efectividad de los parámetros operativos como el pH, la dosis de catalizador, la intensidad de la irradiación de luz ultravioleta y la adición de oxidante sobre la DQO, el cual se redujo en 67% y eliminaron el color en 70%, a una dosis de catalizador de 500 mg/L, un pH de 4 con dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), usando cuatro lámparas ultravioleta-C (UV-C.) de 16 W cada una. Al incorporar (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) como oxidante, mejoró la eficiencia de eliminación a 84% y 75% para DQO y color, respectivamente. Por último, se compararon los resultados óptimos conseguidos por la degradación fotocatalítica al usar luz ultravioleta contra el uso de luz solar. Concluyeron que la remoción de contaminantes también era alta bajo la luz solar. Los autores sugieren que los resultados pueden ser aplicados en países donde se produce café con métodos tradicionales y, donde la radiación solar suele ser fuerte puesto que tienen mayor importancia, de esta manera se puede disminuir sosteniblemente el contenido de contaminantes de estas aguas residuales.

Gardiman et al (2022), estudiaron las condiciones operativas más óptimas con TRH aproximados de 43.57m, en un reactor electrolítico de 1000 cm<sup>3</sup>, con corriente 64A/m<sup>2</sup> y separación entre platos de 20.66 mm, para optimizar la remoción de la turbiedad, los sólidos totales y la DQO. El modelo calculó la turbidez en 31% y los sólidos totales en 3%, no obtuvieron cambios significativos

para DQO; Debido a las condiciones operativas usadas, lograron generar remoción del 95,85% para turbidez, sólidos totales 24,34% y demanda química de oxígeno en 9,71%. Los autores evidenciaron remoción de los sólidos totales en 90.71 m/L por minuto, la turbidez en 55.11 NTU por minuto, la demanda química de oxígeno en 41.98 mg/L por minuto. Se generó consumo eléctrico de 11,16 kWh/m<sup>3</sup> y un costo por el tratamiento de US\$ 0,79 por cada m<sup>3</sup>, se concluyó que el tratamiento electrolítico puede ser efectivo, no obstante, el TRH elevado convierte al tratamiento en poco sostenible debido a que genera deterioro en los electrodos y más consumo eléctrico.



Figura 8: Aspecto del efluente tratado de agua residual de café (ARC) con recirculación. Fuente: Gardiman et al (2022).

De Alemayehu et al (2021), investigaron el efecto de la aplicación de ARC, como alternativa de valorización del mismo, en las propiedades del suelo para contrastarlo con agua de lluvia y fertilizantes sintéticos de forma aleatoria, emplearon el análisis de varianza (ANOVA); identificaron al carbono orgánico del suelo (carbono orgánico del suelo), el fósforo asimilable luego de la producción en una relación de 1:2 de ARC observaron variación de  $F=24.01$ ,  $p=0.001$  antes de la producción;  $F=49.03$ ,  $p=0.001$  con fertilizante sintético; los micronutrientes, capacidad de intercambio catiónico sin diferencia significativa, de estos:  $Na^+$  ( $F=15.27$ ,  $p=0.001$ ) y  $Mg^{2+}$  ( $F=12.99$ ,  $p=0.001$ ) de aplicación en proporción 1:2. Concluyeron que, la conductividad eléctrica, el sodio intercambiable (ESP), los valores de pH para un solo ciclo del cultivo no presentaron efectos de alcalinidad; Recomiendan que, a pesar de las aplicaciones en los mismos cultivos y la mejora de los nutrientes del suelo, se tienen que estudiar con mayor profundidad para una posible y futura aplicación a gran escala .

De Sengupta et al (2020), investigaron los métodos más eficientes de tratar las ARC, puesto que contienen niveles de DQO y DBO muy altos con potencial muy alto para desencadenar contaminación ambiental, desde la revisión de literatura identificaron varios métodos para lograr reducción de contaminantes de mayor cantidad que terminan en el ambiente sin ningún tipo de tratamiento previo, al mismo tiempo buscaron la mejor vía para valorizar las ARCs, concluyeron que se tiene que encontrar la forma más eficiente de generar productos con estas aguas residuales, así como la generación de energía que es un potencial objetivo debido al contexto de las energías no renovables y su posible sustitución. Recomendaron que, debe analizarse con mayor profundidad las posibilidades de reutilización de las ARCs, de igual forma su sostenibilidad y viabilidad económica para su implementación en países en vía de desarrollo.

Shanmugam et al (2021), analizaron el tratamiento de ARC dentro un biorreactor de 1L y utilizando la técnica de optimización autodirigida lograron eliminar la presencia de cafeína. Así consiguieron una máxima degradación de 16,73mg/L cada hora, a 210 rpm, 1,16 vvm y 0,383 g/L de biomasa inicial; para predecir la tasa de degradación de la cafeína produjeron un modelo de regresión con la transferencia y el coeficiente de la masa del oxígeno (CMO); las condiciones óptimas de concentración inicial de biomasa y (CMO) son 0.23 g/L y 64.26 h<sup>-1</sup> para cada uno. Durante los experimentos consiguieron una tasa de degradación máxima de 16.9 mg/L.h, similar a la predicción de 15,2 mg/L.h; concluyeron que debido a sus componentes tóxicos, las ARCs representan una amenaza de consideración que podría acabar con el equilibrio del ambiente, al mismo tiempo los autores indican que las ARCs al contener cafeína, dificultan su tratamiento a pesar de los métodos conocidos, aun así la investigación demostró que la incorporación de pseudomonas SP, mejoró la eficiencia en la degradación de cafeína. Recomiendan que se tiene que desarrollar metodologías de tratamiento adecuadas con menor costo y de mayor alcance.

Gomes de Barros et al (2020), investigaron los métodos para eliminar compuestos orgánicos recalcitrantes en las ARCs, para reducir su toxicidad, con el fin de facilitar la recirculación al digestor anaerobio; consideraron 3 técnicas de tratamiento, oxidación de Fenton, Coagulación/floculación (C/F), y la

combinación de los anteriores; el proceso Fenton fue aplicado a las mejores condiciones de operación con pH inicial = 5.0; T = 55 °C, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 9000 mg/L y [Fe<sup>3+</sup>] = 1800 mg/L, se aumentó la biodegradabilidad, la relación de DBO<sub>5</sub>:DQO, se elevó de 0.18 a 0.225 luego del tratamiento, también lograron reducir materia orgánica como el carbono orgánico total en 51,3%, la DQO en 55,7% y la DBO<sub>5</sub> 39,7%; concluyeron con que, se obtiene mejores resultados en condiciones operativas como el pH a 10-11 y [Fe<sup>3+</sup>] = 250 mg/L, las mismas que redujeron la toxicidad y elevaron la biodegradabilidad de 0.34 a 0.47, esto permitió remover COT de 76,2%, DQO = 76,5 y DBO<sub>5</sub> = 66,3% en la combinación de los procesos.

Ferreira et al (2021), Analizaron las mejores etapas para seleccionar un grupo microbiano, los mismos que prevalecían al disminuir los contaminantes del agua residual con distintas características. Este grupo estuvo compuesto por bacterias como *Corynebacterium flavescens*, *Serratia marcescens* y *Acetobacter indonesiensis*, como un experimento fenotípico a base de inóculo que mostro actividad elevada con 11.18 log UFC m/L, disminuyendo en 85%, 60% y 80% en DBO, DQO, fósforo y nitrógeno respectivamente; lograron subir el pH de 6 a 7.5, así mismo los investigadores lograron disminuir en 59% el efecto tóxico de *Daphnia similis*; concluyeron con que las bacterias inoculadas, fueron eficientes para tratar las ARC de forma biológica, con esto demuestran que las cepas fueron eficientes al margen de las características del ARC; los autores recomiendan tratar los efluentes, antes de ser desechadas debido a que la microbiota presente en las ARC es muy diversa y al mismo tiempo podría servir para como inóculo en plantas de tratamiento de otros residuos.

Can et al (2019), investigaron la eficiencia en el tratamiento con ánodos de diamante dopado con boro (BDD), Ti recubierto de platino, con algunos óxidos metálicos mixtos (MMO) para aplicar coagulación química, con el fin de eliminar carbono orgánico total (TOC) y DQO; inicialmente se investigó a los coagulantes, AlCl<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, FeCl<sub>3</sub> y FeSO<sub>4</sub>, luego se calcularon el consumo energía y eficiencia del ánodo para la electrooxidación, el efecto del caudal, la corriente eléctrica para determinar la coagulación del pretratamiento para carbono orgánico total y remoción de DQO de las ARC; los autores concluyen con los siguientes resultados; el electrodo BDD fue más eficiente respecto a los

electrodos de Pt y MMO debido a que, durante la electrooxidación, el electrodo BDD obtuvo mejor resultado de depuración con 95 % de TOC y del 97 % de DQO, luego de 6 horas, a diferencia de los electrodos de Pt y MMO que solo lograron remover del 25 al 50 % de DQO y del 13 al 22 % de TOC, al mismo tiempo la investigación demostró que el coagulante  $AlCl_3$  fue eficiente y removió el 55% de DQO y 29% de TOC.

### III. METODOLOGÍA

Antes de diseñar y considerar la mejor técnica de tratamiento que se pueden aplicar a estas ARC, inicialmente se tiene que definir su comportamiento, así como su composición puesto que existen características y factores que influyen en su comportamiento, como ejemplo de esto tenemos a la variedad del café, tipo de procesamiento, condiciones forestales. Con base en ello, en este trabajo analizo artículos de carácter científico, publicados en diversas revistas y que consideraron la caracterización microbiológica y fisicoquímica en aguas residuales que tenían por origen la industria del café, con diferentes parámetros y unidades para de esta forma obtener las mejores tecnologías de tratamientos.

#### 3.1 Tipo y diseño de investigación

Ampliar el conocimiento de la investigación mediante la comprensión de los elementos cruciales en las circunstancias, de los fenómenos o relaciones establecidas por entidades (CONCYTEC, 2018).

La investigación cualitativa basada en una interpretación analítica tiene por objeto entender a los organismos con sus comportamientos, fundamentalmente a humanos y sus organizaciones, así mismo busca definir lo analizado de forma activa (Hernández et al, 2014).

**El tipo de investigación** es de enfoque cualitativo, debido a que recopila datos y los analiza, a partir de artículos científicos basados en métodos de investigación cualitativos publicados desde 2018, según Hernández et al (2014), debido al hecho de ser “sistemática” sugiere que se tiene que realizar investigación de carácter científico para evitar dejar en la casualidad los acontecimientos.

Es así que la investigación cualitativa es de tipo no experimental con diseño transeccional y descriptiva al mismo tiempo.

La investigación cualitativa estudia de forma holística a la realidad y trata de analizarla, sin necesidad de formular (luego comparar) hipótesis, objetivos

controlables, rigurosamente para todas las variables o seleccionar aleatoriamente a los participantes (Mira JJ et al, 2004).

**El diseño de la investigación** es considerado cualitativo, al mismo tiempo narrativo de tópicos, debido a que los resultados son descritos y analizados a partir de problemas específicos que generan preguntas, según Villasís et al (2020), reunir resultados publicados con estudios en seres humanos, define a la revisión sistemática como investigaciones secundarias.

Se han efectuado la búsqueda de artículos relacionados con categorías como características del agua residual, condiciones operativas, técnicas de tratamiento. Estas han sido revisadas en artículos de impacto, de revistas indizadas, relacionadas al tratamiento de las ARC.



### 3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

Tabla 1. Matriz: tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria del café. Revisión sistemática.

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Unidad de análisis
Analizar las características que tiene el agua residual provenientes de la industria del café.	¿Cuáles son las características de las aguas residuales provenientes de la industria del café?	CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS	Materia orgánica	Navitha et al, 2018
			Cafeína	Shanmugam et al, 2021
			DQO	Ibarra et al, 2018
			pH	Gardiman et al, 2022
			Turbidez	Samuel Z.A; 2021
			DBO5	Dadi et al, 2018.
			Taninos, Sólidos suspendidos totales	Córdoba et al, 2019
			Oxígeno disuelto	Hernández et al, 2021
Describir los tipos de valorizaciones de aguas residuales provenientes de la industria del café.	¿Qué tipos de valorización se desarrollan para aguas residuales provenientes de la industria del café?	VALORIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.	Biocombustibles	Fernández et al, 2020
			Fertirriego	Alemayehu et al, 2021
			Generación de energía	Sengupta et al, 2020

Analizar las técnicas de tratamiento del agua residual provenientes de la industria del café.	¿Cuáles son las técnicas de tratamiento para las aguas residuales provenientes de la industria del café?	TÉCNICAS DE TRATAMIENTO	Proceso Fenton	Gomes de Barros et al, 2020
			Fitorremediación	Mohd et al, 2020
			Oxidación fotocatalítica	Sujatha et al (2020)
			Digestión anaerobia UASB (Reactor Anaeróbico Flujo Ascendente)	Morales et al, 2018
			Floculación y coagulación	Hargreaves et al, 2018
			Proceso oxidativo avanzado.	Alemayehu et al, 2019

Fuente: elaboración propia.

### **3.3 Escenario de estudio**

Para esta investigación y su posterior desarrollo, se optó por la revisión sistemática, debido a ello, no se cuentan con escenario, ni elementos físicos definidos, puesto que consistió en la revisión y análisis de artículos científicos, con una antigüedad no menor de 5 años, indizados en revistas que pertenecen a bases de datos como Scopus, Scielo, Web of Sciences, Sciece, entre otras referidas a los tratamientos para las ARC producidas en los diferentes procesos de la industria.

### **3.4 Participantes**

El presente estudio fue realizado por el autor en coordinación activa con la asesora, apoyándose en los artículos de revistas de alto impacto, libros en sus diferentes formatos, que la universidad permite y pone a disposición para la recopilación de la información y datos, según Hernández et al (2014), el investigador también es un participante.

### **3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Tener muchas fuentes al momento de realizar la recolección de datos de carácter cualitativo es conveniente (Hernández et al, 2014).

Para este estudio se realizó búsquedas y se analizó documentos como artículos, libros electrónicos en diferentes revistas indexadas en bases de datos, como ScienceDirect, Scopus, Scielo, Ebsco y otros externos como Google académico, con información que se planteó en las categorías y que se desarrollaron y sintetizaron en las subcategorías.

### **3.6 Procedimientos**

Durante el desarrollo de esta investigación se procedió a dividir en tres partes a la misma, por los objetivos que se plantearon; al mismo tiempo, la investigación se direcciono hacia la revisión de la información encontrada de forma sistemática y organizada para un mejor desarrollo.

Durante la recopilación de la información se encontraron diversos artículos, de los cuales se revisaron 52, estos se fueron filtrando y depurando de acuerdo a la información requerida.

Tabla 2. Estrategia de búsqueda.

<b>BASE DE DATOS</b>	<b>PALABRAS CLAVES</b>	<b>AÑO</b>	<b>AUTOR</b>	<b>IDIOMA</b>
CONCYTEC	Investigación.	2018	concytec, 2018	Español
SciELO	Characteristics, residual water, coffee.	2019	Torres et al, 2019	Español
SciELO	Research, analysis.	2020	Villasís et al, 2020	Inglés
	Metodología de la investigación.	2014	Hernández et al, 2014	Español
SciELO	Scientific rigor, approach, qualitative, research.	2021	Arribas et al, 2021	Español
ScienceDirect	Qualitative research.	2004	Mira JJ et al, 2004	Español
ICO	coffee, species, variety, botany.	2022	ICO, 2022	Inglés
MDPI	Hydraulic retention time.	2020	Cruz et al, 2020	Inglés
SciELO	Fenton process.	2018	Ibarra et al, 2018	Español
SciELO	Oxidation, process.	2018	Cordoba et al, 2018	Español
Scopus	Treatment, waste water, coffee.	2020	korekar et al, 2020	Inglés
Springer	Coffee, residual water.	2019	Ijanu et al, 2019	Inglés
Ebsco	Treatment, coffee.	2018	Navitha et al, 2018	Inglés
ScienceDirect	Treatment, residual water.	2022	Alemayehu, et al 2022	Inglés
Dialnet	Recovery, residual water, coffee.	2020	Acarley et al, 2020	Español
ScienceDirect	Waste water, coffee.	2018	Dadi et al, 2018	Inglés

ScienceDirect	Biological treatment, residual water, coffee.	2018	Botello et al, 2018	Inglés
ScienceDirect	Valorization, wastewater, coffee.	2018	Janissen et al, 2018	Inglés
Scopus	Treatment, wastewater, coffee.	2020	Sujatha et al, 2020	Inglés
Scopus	Wastewater, coffee, treatment.	2018	Gurudev et al, 2018	Inglés
Scopus	Treatment, wastewater.	2020	Hailemaríam et al, 2020	Inglés
Scopus	Waste water, coffee.	2020	Alemayehu et al, 2020	Inglés
SciELO	Coffee, wastewater, treatment.	2022	López et al, 2022	Español
Scopus	Wastewater, coffee, treatment.	2021	Samuel Z.A; 2021	Inglés
ScienceDirect	Coffee, residual water.	2021	Ancy et al, 2021	Inglés
SciELO	Residual water, impact, coffee.	2020	Fernández et al, 2020	Español
ScienceDirect	Properties, coffee, effluent.	2020	De Melo et al, 2020	Inglés
ScienceDirect	Process, wet, coffee.	2021	Campos et al, 2021	Inglés
Dialnet	Treatment, coffee, wastewater.	2018	Morales et al, 2018	Español
ScienceDirect	Treatment, phytoremediation, waste water, coffee.	2020	Mohd et al, 2020	Inglés
Springer	Valorisation, coffee, wastewater.	2020	Sengupta et al, 2020	Inglés
Springer	Treatment, coffee, wastewater.	2018	Hargreaves et al, 2018	Inglés
ScienceDirect	Wet process, coffee, treatment.	2020	Louzada et al, 2020	Inglés
ScienceDirect	Valorization, management, wastewater, coffee.	2021	Alemayehu et al, 2021	Inglés

Scopus	Caffeine, treatment, coffee, wastewater.	2021	Shanmugam et al, 2021	Inglés
Scopus	Wastewater, coffee, treatment.	2020	Gomes de Barros et al, 2020	Inglés
USDA	Coffee.	2019	USDA, 2019	Inglés
MIDAGRI	café, producción.	2018	,IDAGRI, 2018	Español
ScienceDirect	Biological treatment, waste water, coffee.	2021	Ferreira et al, 2021	Inglés
Scopus	Valorisation, wastewater, coffee.	2020	torres et al, 2020	Inglés
ScienceDirect	Treatment, coffee, wastewater.	2019	Can et al, 2019	Inglés
ScienceDirect	Information, analysis, method.	2020	Fenwick et al, 2020	Inglés
Scopus	Industrial coffee effluents, Phytoremediation.	2021	Said et al, 2021	Inglés
ScienceDirect	Adsorption, residues.	2019	Cherdchoo et al, 2019	Inglés
ScienceDirect	Valorization, anaerobic digestion, wastewater.	2021	Park et al, 2021	Inglés
Springer	Production, coffee, impact.	2019	Pham et al, 2019	Inglés
ScienceDirect	Coffee wastewater, Phytoremediation, treatment.	2021	Mohd et al, 2021	Inglés
Library of Science	coffee wet wastewater.	2021	Guardia et al, 2021	Inglés
ScienceDirect	Coffee processing, Biodegradable, renewable.	2019	Franca et al, 2019	Inglés
ScienceDirect	Green chemistry, water, pH	2018	Schweitzer et al, 2018	Inglés
MINAM	Estándares de Calidad Ambiental, Agua.	2008	Minam, 2008	Español
Scopus	COD reduction, process wastewater.	2019	Haaz et al, 2019	Inglés
Springer	Coffee wastewater, recovery.	2018	Wisniewski et al, 2018	Inglés

ScienceDirect	Coffee processing wastewater, Bioenergy recovery.	2019	Chen et al, 2019	Inglés
---------------	---	------	------------------	--------

Fuente: elaboración propia.

### 3.7 Rigor científico

El carácter metodológico y múltiple, que caracteriza al enfoque cualitativo, no implica que haya relación entre los métodos de investigación más simples, principalmente porque varios métodos unen técnicas particulares que al mismo tiempo garantizan el rigor científico (Arribas et al, 2021). Los artículos que fueron utilizados durante el desarrollo de esta revisión sistemática, tuvieron bases provenientes de revistas indexadas, mismas que ofrecen el sustento apropiado con carácter científico. En la tabla 3 se analizaron datos que detallan los cuartiles de las revistas, la base de datos donde están indexadas, el título de la publicación, respetando el nombre en el idioma original y por último los autores.

Tabla 3. Clasificación de cuartiles.

N°	BASE DE DATOS	REVISTA	TÍTULO	AUTOR	CUARTIL
1	CONCYTEC	Reglamento Renacyt	Reglamento de calificación, clasificación y registro de los investigadores del sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación tecnológica	Concytec, 2018	-
2	SciELO	Revista Ion	Caracterización físicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café	Torres et al, 2019	-

3	SciELO	Revista Alergia México	Systematic review and meta-analysis as support tools for clinical practice and research	Villasís et al, 2020	<b>Q4</b>
4	SciELO	EDUMECENTRO	La comunicación científica en investigaciones que asumen el enfoque cualitativo: una mirada valorativa	Arribas et al, 2021	-
5	-	Libro	metologia de la investigación 6ta edición.	Hernández et al, 2014	-
6	ScienceDirect	Atención Primaria	La investigación cualitativa: una alternativa también válida	Mira JJ et al, 2004	<b>Q3</b>
7	ICO	International Coffee Organization	botanical aspects	ICO, 2022	-
8	MDPI	Sustainability	Evaluation of Hydraulic Retention Time on Treatment of Coffee Processing Wastewater (CPWW) in EGSB Bioreactor	Cruz et al, 2020	<b>Q2</b>
9	SciELO	Información Tecnológica	Optimización Multiobjetivo del Proceso Fenton en el Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de la Producción de Café Soluble	Ibarra et al, 2018	<b>Q1</b>



<b>10</b>	SciELO	Revista Centro Azucar	Influencia de los procesos oxidativos avanzados en la digestión anaerobia de aguas residuales de la industria del café	Cordoba et al, 2018	<b>Q3</b>
<b>11</b>	Scopus	Environmental Science and Pollution Research	Occurrence, fate, persistence and remediation of caffeine: a review	korekar et al, 2020	<b>Q2</b>
<b>12</b>	Springer	Applied Water Science	Coffee processing wastewater treatment: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative	Ijanu et al, 2019	<b>Q1</b>
<b>13</b>	Ebsco	International Journal of Ecology and Environmental Sciences	A comparative study on the potential of aspergillus niger and aspergillus flavus for the treatment of coffee processing effluent	Navitha et al, 2018	<b>Q4</b>
<b>14</b>	ScienceDirect	Journal of Environmental Management	Hydrolyzed urine for enhanced valorization and toxicant degradation of wet coffee processing wastes: Implications for soil contamination and health risk reductions	Alemayehu, et al 2022	<b>Q1</b>
<b>15</b>	Dialnet	Agroindustrial Science	Producción de metano mediante digestión anaerobia de aguamiel, subproducto	Acarley et al, 2020	-

			del beneficio húmedo del café		
16	ScienceDirect	Ecohydrology and Hydrobiology	Assessment of the effluent quality of wet coffee processing wastewater and its influence on downstream water quality	Dadi et al, 2018	Q2
17	ScienceDirect	Bioresource Technology	Predominance of syntrophic bacteria, Methanosaeta and Methanoculleus in a two-stage up-flow anaerobic sludge blanket reactor treating coffee processing wastewater at high organic loading rate	Botello et al, 2018	Q1
18	ScienceDirect	Resources, Conservation and Recycling	Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review	Janissen et al, 2018	Q1
19	Scopus	Environments - MDPI	UV light-irradiated photocatalytic degradation of coffee processing wastewater using tio2 as a catalyst	Sujatha et al, 2020	Q2
20	Scopus	Indian Journal of Environmental Protection	Removal of organic pollutants from coffee wastewater: A mini-review	Gurudev et al, 2018	Q4
21	Scopus	Advances in Colloid and Interface Science	Reverse osmosis membrane fabrication and modification	Hailemaríam et al, 2020	Q1

			technologies and future trends: A review		
<b>22</b>	Scopus	Journal of Material Cycles and Waste Management	Management options for coffee processing wastewater. A review	Alemayehu et al, 2020	<b>Q2</b>
<b>23</b>	SciELO	Enfoque UTE	Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revisión	López et al, 2022	<b>Q4</b>
<b>24</b>	Scopus	Global Nest Journal	Treatment of combined coffee processing wastewater using constructed wetland/Cyperus-ustulatus and Typhalatifolia plants process	samuel Z.A; 2021	<b>Q3</b>
<b>25</b>	ScienceDirect	Journal of Water Process Engineering	Treatment of coffee cherry pulping wastewater by using lectin protein isolated from Ricinus communis L. seed	Ancy et al, 2021	<b>Q2</b>
<b>26</b>	SciELO	Producción + Limpia	Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados	Fernández et al, 2020	<b>Q4</b>
<b>27</b>	ScienceDirect	Advances in Food and Nutrition Research	Chapter Three - Chemical composition and health properties of coffee and coffee by-products	De Melo et al, 2020	<b>Q2</b>

28	ScienceDirect	Elsevier	New sustainable perspectives for “Coffee Wastewater” and other by-products: A critical review	Campos et al, 2021	Q4
29	Dialnet	Espamciencia	Digestión anaerobia de las aguas residuales de la industria del café instantáneo	Morales et al,2018	-
30	ScienceDirect	Environmental Technology & Innovation	Phytoremediation of real coffee industry effluent through a continuous two-stage constructed wetland system	Mohd et al, 2020	Q1
31	Springer	Clean Technologies and Environmental Policy	Toward sustainable and eco-friendly production of coffee: abatement of wastewater and evaluation of its potential valorization	Sengupta et al, 2020	Q3
32	Springer	Clean Technologies and Environmental Policy	Coagulation–flocculation process with metal salts, synthetic polymers and biopolymers for the removal of trace metals (Cu, Pb, Ni, Zn) from municipal wastewater	Hargreaves et al, 2018	Q3
33	ScienceDirect	Food Chemistry	New propositions about coffee wet processing: Chemical and sensory perspectives	Louzada et al, 2020	Q1

34	ScienceDirect	Environmental Technology & Innovation	Reusing urine and coffee processing wastewater as a nutrient source: Effect on soil characteristics at optimum cabbage yield	Alemayehu et al, 2021	Q1
35	Scopus	Journal of Water Process Engineering	Self-directing optimization for enhanced caffeine degradation in synthetic coffee wastewater using induced cells of Pseudomonas sp.: Bioreactor studies	Shanmugam et al, 2021	Q2
36	Scopus	Environmental Pollution	Treatment of biodigested coffee processing wastewater using Fenton's oxidation and coagulation/flocculation	Gomes de Barros et al, 2020	Q1
37	USDA	Foreign Agricultural Service	Coffee: World Markets and Trade	USDA, 2019	-
38	MIDAGRI	Sector Agrario	Cafes especiales en el Perú	MIDAGRI. 2018	-
39	ScienceDirect	Journal of Environmental Management	Protocol to select efficient microorganisms to treat coffee wastewater	Ferreira et al, 2021	Q1
40	Scopus	Environmental Science: Water Research and Technology	Supramolecular solvents for the valorization of coffee wastewater	torres et al, 2020	Q1

41	ScienceDirect	Journal of Water Process Engineering	TOC and COD removal from instant coffee and coffee products production wastewater by chemical coagulation assisted electrooxidation	Can et al, 2019	Q2
42	ScienceDirect	Value in Health	Value of Information Analysis for Research Decisions—An Introduction: Report 1 of the ISPOR Value of Information Analysis Emerging Good Practices Task Force	Fenwick et al, 2020	Q1
43	Scopus	Journal of Water Process Engineering	Endurance of Phragmites karka in removing colour and suspended solids from industrial coffee processing effluents in a continuous reed bed system	Said et al, 2021	Q2
44	ScienceDirect	Chemosphere	Removal of Cr(VI) from synthetic wastewater by adsorption onto coffee ground and mixed waste tea	Cherdchoo et al, 2019	Q1
45	ScienceDirect	Chemosphere	Optimization and comparison of methane production and residual characteristics in mesophilic anaerobic digestion of sewage sludge by hydrothermal treatment	Park et al, 2021	Q1

46	Springer	Climate change	The impact of climate change and variability on coffee production: a systematic review	Pham et al, 2019	Q1
47	ScienceDirect	Science of The Total Environment	Competence of <i>Lepironia articulata</i> in eradicating chemical oxygen demand and ammoniacal nitrogen in coffee processing mill effluent and its potential as green straw	Mohd et al, 2021	Q1
48	Library of Science	Journal of Water and Land Development	Dynamic modelling of an anaerobic reactor treating coffee wet wastewater via multiple regression model	Guardia et al, 2021	Q2
49	ScienceDirect	Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products	Chapter 17 - Coffee	Franca et al, 2019	-
50	ScienceDirect	Green Chemistry	Chapter 3.6 - Water Contamination and Pollution	Schweitzer et al, 2018	-
51	MINAM	El Peruano	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua	Minam, 2008	-
52	Scopus	Clean Technologies and Environmental Policy	Vacuum evaporation and reverse osmosis treatment of process wastewaters containing surfactant material: COD reduction and water reuse	Haaz et al, 2019	Q2

53	Springer	Clean Technologies and Environmental Policy	Dynamic vibratory membrane processing for use in water recovery from soluble coffee product manufacturing wastewater	Wisniewski et al, 2018	Q3
54	ScienceDirect	Bioresource Technology	Energy recovery potential of thermophilic high-solids co-digestion of coffee processing wastewater and waste activated sludge by anaerobic membrane bioreactor	Chen et al, 2019	Q1

Fuente: elaboración propia.

### 3.8 Método de análisis de información

Puesto a desconocer una única forma de analizar lo correcto, no se termina de conocer la verdad de la incertidumbre, en la metodología y sus diferencias; Identificar y analizar el valor de la información, garantiza la investigación de manera formal, cuando esta es basada en la contribución de beneficios previstos que reducen la incertidumbre y amplían la información (Fenwick et al, 2020). De acuerdo con las categoría y subcategorías, para el correcto desarrollo de esta investigación, los datos fueron identificados a partir de artículos relacionados con aguas residuales, café, procesos de beneficio del café, valorización de ARC, condiciones operativas, características de las aguas residuales y para su búsqueda se utilizaron palabras clave en el idioma inglés, no obstante algunos resultados fueron obtenidos en español, de esta manera se logró mejorar la comprensión de la información para su posterior implementación en el desarrollo de la investigación.



### **3.9 Aspectos éticos**

Durante la realización de este trabajo, se ha logrado cumplir con el rigor científico y los derechos de autores, sin desmerecer a ninguno en el proceso, el presente, cuenta con originalidad, por parte del autor, se citó apropiadamente y de forma oportuna en las diferentes secciones de la tesis, mencionando a cada autor con su correspondiente año, se utilizó el manual ISO 690, que brinda las bases para realizar correctamente la bibliografía, para evitar incurrir en faltas y sobre todo mejorar la calidad de la publicación. Los autores citados fueron referencias para la revisión sistemática.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se lograron obtener resultados de acuerdo al análisis de la información revisada en los artículos, fue comparada y ordenada de acuerdo a los objetivos, donde se sintetizó la información de los resultados de muestras de agua residual tomados del efluente en distintos lugares y sin tratamiento previo, es importante resaltar que independientemente del autor y el año, se tienen resultados con valores similares, lo que indica que el ARC que proviene de la agroindustria representa un problema en cuanto a contaminación de ecosistemas naturales y debe de ser tratado de acuerdo a sus características para evitar generar impactos negativos en el futuro.

Alrededor del mundo diariamente se consumen miles de millones de tazas de café, esto hace que para su elaboración se tengan que liberar residuos considerables, sin embargo, algunos de estos residuos se pueden reciclar, para darles un nuevo valor agregado, transformarlos en cosméticos, este proceso puede asumirse como una alternativa (Cherdchoo et al, 2019). De acuerdo a Pham et al (2019) existen alrededor de 25 millones de agricultores que cultivan café en el mundo, sobrepasando los de 60 países, por lo que existe una fuerte preocupación por los residuos que se generan en su elaboración y que amenazan al equilibrio de los ecosistemas donde se generan.

Esta investigación logró identificar al procesamiento húmedo del café como el mayor productor de ARC, puesto que, se determinó que para producir 1 kg de café seco se disponen de 40 a 60 litros de agua, lo que genera impactos negativos en el recurso hídrico, el uso de estas aguas generan residuos líquidos en las etapas del despulpado, traslado, lavado de los granos, fermentación, lo que conlleva al incremento de la DBO, la cantidad de sólidos, mismos que elevan la temperatura que tienen los cuerpos de agua, posteriormente producen olores fétidos por la descomposición de las aguas residuales (Fernández et al, 2020).

**Resultados del objetivo 1;** se muestran en la siguiente tabla 4; donde se describen las características para cada parámetro de las ARC, donde detallan a 10 autores que estudiaron específicamente las características, a continuación, se muestran los resultados.

Tabla 4. Características de las ARC de acuerdo a diferentes autores.

parámetro	unidades	Referencias									
		Ibarra et al, 2018	Alemayehu et al, 2020	Acarley et al, 2020	Cruz et al, 2020	Mohd et al, 2020	Campos et al, 2021	Hernández et al, 2021	Ferreira et al, 2021	Samuel Z.A; 2021	Gardiman et al, 2022
pH	-	4.7	3.57-4.21	3.5 - 3.4	3.95	4.4	4.9	3.8-4	4.2	3.5±4	0.2-4.43
DQO	mg/L	3528	8480-45955	4090-6720	45955	13000	1520	13500-16300	13323	7612±43	9228-47420
DBO5	mg/L	1267	3700-5861	-	37944	171.5	411	-	6500	4322±110	-
COT	mg/L	1314	11400	810	11400	-	-	-	-	-	-
TSS	mg/L	21	2390-2820	3110-5160	-	399.3	3290	5260-14750	7077	2907±68	8270-21998
TSD	mg/L	-	1002-3933	-	-	-	6309.5	9400-190	5173	1940±69	-
CF	mg/L	-	45-278	-	-	-	-	-	-	-	58-542
OD	mg/L	-	2-2.6	-	-	-	-	1.25	-	1.66±0.16	0.4-1.4
DBO:DQO	mg/L		0.56-0.59	-	0.82	0.013	-	-	-	0.57±0.01	-
Turbidez	NTU	12	1481.7	-	1481.7	-	-	-	464	729±21	360-2369
K	mg/L	-	20.4-45.8	-	-	-	41	-	-	-	105-1354
CE	μS/cm	465	960-1200	170-200	-	-	259	-	1050	735±50	760-2840
Na	mg/L	-	7.8-13.8	-	-	-	26	-	-	-	-
Mg	mg/L	-	42.5-62.1	-	-	-	-	-	-	-	-
Nt	mg/L	-	125.8-700	280	700	137	77	162-213	130	-	1.2-40.1
Ca	mg/L	-	67.8-92.0	-	-	-	-	-	-	-	-
Color	Pt-Co	3046	17966.7	-	17966.7	1730	-	-	567	602±43	146-6670
Pt	mg/L	-	-	4.76	36.43	12.2	-	-	1.97	-	2-20.1

Fuente: elaboración propia.

De la tabla 4 se tiene: (ph) potencial de hidrógeno, , (DBO5) demanda biológica de oxígeno, (TSS) total de sólidos suspendidos, (TSD) total de sólidos disueltos, (DQO) demanda química de oxígeno (CF) compuestos fenólicos, (COT) carbono orgánico total, (OD) oxígeno disuelto, (DBO:DQO) relación entre DBO y DQO, (K) potasio, (CE) conductividad eléctrica, (Na) sodio, (Mg) magnesio, (Nt) nitrógeno total, (Ca) calcio, (Pt) fosforo total.

Según la investigación de Torres et al (2019), en la que caracterizaron de forma física, química, muestras de ARC para determinar eficiencia en la eliminación de contaminantes y midieron parámetros como amonio, Cr, CE, DQO, N, acidez volátil, P, OD, cloruros, sólidos, color, pH, los investigadores lograron identificar que la mayoría de compuestos que se citan en la tabla 4, tienen características similares con lo descrito por otros autores, lo que demuestra que las ARCs, provenientes de la industria y fuentes de procesado a menor escala, guardan relación en cuanto a sus características nocivas, del mismo modo los resultados demostraron que las ARC tienen una composición química variable, por ello, esta investigación analiza las técnicas de tratamiento que se pueden aplicar en lugares con contaminación por ARC, estos tratamientos son variables y tienen que adaptarse a las características intrínsecas de las ARC.

Seguidamente, los resultados promedio de los parámetros evaluados para determinar las características de las aguas residuales se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados promedio de los parámetros medidos, basados en las referencias de la tabla 4.

1	<b>pH</b>	-	4.43
2	<b>DQO</b>	mg/L	15465.2
3	<b>DBO5</b>	mg/L	9258.7
4	<b>COT</b>	mg/L	6231
5	<b>TSS</b>	mg/L	2696.825
6	<b>TSD</b>	mg/L	5741.25
7	<b>CF</b>	mg/L	230.75
8	<b>OD</b>	mg/L	1.25
9	<b>DBO:DQO</b>	mg/L	0.4165
10	<b>Turbidez</b>	NTU	859.85
11	<b>K</b>	mg/L	41
12	<b>CE</b>	μS/cm	591.3333333
13	<b>Na</b>	mg/L	26
14	<b>Mg</b>	mg/L	42.5-62.1
15	<b>Nt</b>	mg/L	264.8
16	<b>Ca</b>	mg/L	67.8-92.0
17	<b>Color</b>	Pt-Co	8255.28
18	<b>Pt</b>	mg/L	13.84

Fuente: elaboración propia.

A partir de los resultados promediados desde las referencias de la tabla 5, se pudo definir que el pH de 4.43, es bajo con respecto a niveles adecuados para sostener vida, es por esta razón que Schweitzer et al (2018), determinó que un cuerpo de agua se considera contaminada cuando existen factores químicos, físicos o biológicos, externos que deterioran las características naturales de un cuerpo de agua determinado, se producen alteraciones del ciclo natural de especies de fauna y flora acuáticas, cuando los niveles de pH son superiores a los normales, estas alteraciones del pH terminan con la alteración del medio, causando deterioro del ecosistema y posibles desastres ecológicos.

En el Perú, de acuerdo al MINAM (2008), agua que es destinada para la producción de agua potable, tiene que cumplir con estar dentro de los valores de

5.5 – 9, sin embargo si se quisiera utilizar estas ARC, con fines de potabilización, tiene que cumplir con un pH de 6.5-8.5, aun así son varios factores los que determinan la utilización de estas ARC, siendo no aptas para su potabilización debido a otros compuestos químicos presentes, fuera del pH; mientras que aguas destinadas a recreación tienen que permanecer dentro un pH de 6-9.

**Resultados del objetivo 2;** durante la búsqueda de alternativas o posibles mecanismos de valorización de las ARC se investigó a Franca et al (2019), quien propone alternativas para valorizar los residuos del procesamiento de café, menciona que los productos alimenticios son posibles, como la elaboración de bebidas con contenido de cafeína y polifenoles, aunque es claro y señala que no se han estudiado todavía la aceptación de los consumidores; en la búsqueda de información.

Tabla 6. Propuestas para la valorización de las aguas residuales.

<b>PROPUESTA</b>	<b>PRODUCTO</b>	<b>APLICACIÓN</b>
Productos alimenticios	Bebidas	Energizantes con carbohidratos
Farmacéutica	Cremas	Bloqueadores solares
Polímeros y materiales	Fibras de celulosa, lignina	Bolsas biodegradables
Adsorbentes	Carbón activado.	Eliminación de contaminantes químicos, adsorción de colorantes
Catalizadores	Electrocatalizadores, electrodo de carbón.	Reacción de reducción de oxígeno
Energía y biocombustibles	Biocarbón	Combustión en hornos de panadería
Recuperación y producción	Ácidos clorogénicos	Metaboliza glucosa.

Fuente: Elaborado a partir de Valorización de ARC, Franca et al. (2019).

Con fines de recuperar el ARC Wisniewski et al (2018), evaluaron capacidad de la nanofiltración vibratoria dinámica para ARC, debido a que es un método óptimo para recuperar aguas residuales y así convertirla en agua para mantenimiento; el potencial que tienen estas aguas en la generación de servicios públicos en **torres de refrigeración** pero determinaron que la reutilización del ARC como agua de enfriamiento, no es viable debido a que no cumple con los requerimiento que se tienen para las aguas de ingreso a las torres de enfriamiento porque, la membrana NF que utilizaron para eliminar la DQO y la turbidez, fue realmente eficiente, lo que causaría incrustaciones en la torre de enfriamiento, sin embargo la recuperación de estas ARC pueden destinarse a diferentes operaciones de mantenimiento, como la **limpieza o el enjuague**, si se consigue depurar estos solidos de las membranas, se podría considerar su uso como agua de alimentación para la torre de enfriamiento

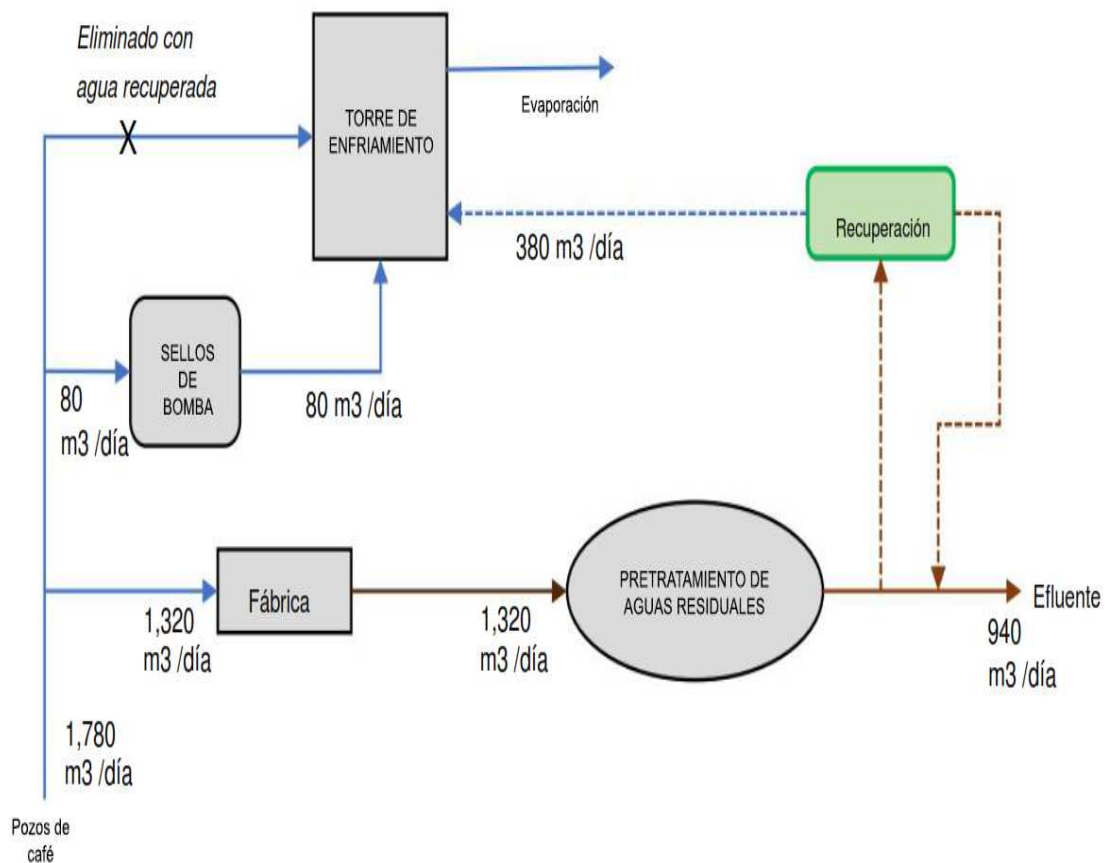


Figura 9. Proceso de fabricación de café con potencial de valorización del agua.

Fuente: adaptado de Wisniewski et al (2018)

En la investigación de Alemayehu et al (2021), determinaron el efecto de la aplicación de ARC con orina humana, como alternativa de valorización del mismo, como **fuentes de nutrientes**, emplearon el análisis de varianza (ANOVA); identificaron al carbono orgánico del suelo, el fósforo asimilable luego de la producción en una relación de 1:2 de ARC observaron variación de  $F=24.01$ ,  $p=0.001$  antes de la producción;  $F=49.03$ ,  $p=0.001$  con fertilizante sintético; los micronutrientes, capacidad de intercambio catiónico sin diferencia significativa, de estos:  $\text{Na}^+$  ( $F=15.27$ ,  $p=0.001$ ) y  $\text{Mg}^{2+}$  ( $F=12.99$ ,  $p=0.001$ ) de aplicación en proporción 1:2. Por esta razón los resultados demostraron que no se tiene efectos en la alcalinidad y puede ser efectivo para neutralizar el pH de los suelos y se puede considerar su aplicación a gran escala en agroindustrias; por otra parte los resultados de Chen et al (2019), determinaron que se puede generar valor a las ARC con la implementación de un biorreactor de membrana anaeróbica (AnMBR), dentro del reactor se pueden procesar ARC juntamente con lodos activados, para **producir Metano** ( $\text{CH}_4$ ), a partir de DQO en un tiempo de retención hidráulica de 10 días, este proceso de digestión brindó una eficiencia de 82.4%, con lo cual se pudo determinar que el potencial de energía que se podía ofrecer era en promedio de 2.12-2.82 kJ por gramo de DQO, los investigadores demostraron que a partir de la ARC, con un TRH de 15 días, lograban conseguir el mejor rendimiento de este reactor, es por ello que se pueden obtener **energía** y esta a su vez, puede servir para las propias industrias productoras de café, así como cualquier sector que requiera esta opción ecológica de producción de energía.

Cabe resaltar que Sengupta et al (2020), demostraron que los métodos más eficientes para tratar las ARC, a partir de la revisión de literatura para lograr reducción de contaminantes de mayor cantidad y al mismo tiempo buscar la mejor vía para valorizar las ARCs, debe considerar que, cualquier tratamiento que emplee una técnica solo puede ser viable si genera un costo-beneficio de fabricación en forma energética o cualquier producto con valor agregado, los autores también tuvieron el resultado de generar energía, el mismo que es un potencial objetivo debido al contexto de las energías no renovables y su posible sustitución.



A continuación, se detalla el proceso de obtención de energía desde la digestión de las ARC, combinadas con lodos activados que pueden ser también de origen residual.

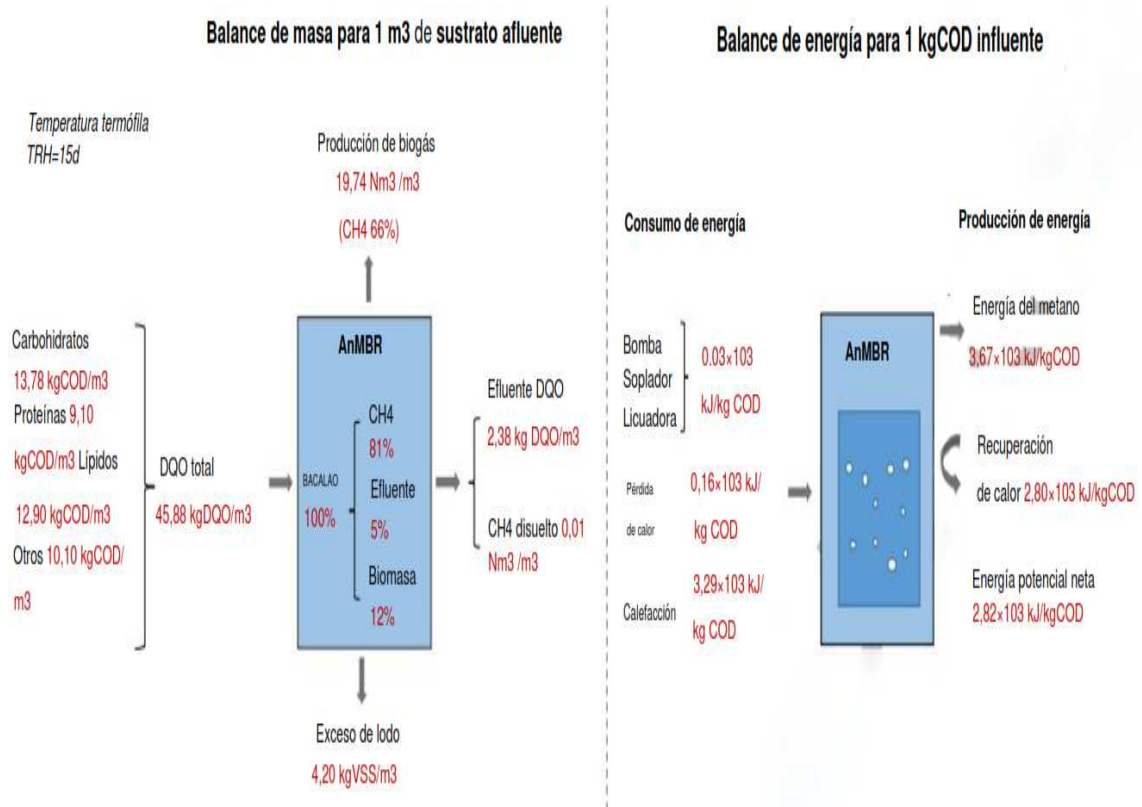


Figura: 10 Balance de masa y energía de los sustratos ARC y lodos activados.

Fuente: adaptado de Chen et al (2019).

**Resultados para el objetivo específico 3;** en la investigación que hicieron Gardiman et al (2022), estudiaron las condiciones operativas más óptimas con TRH para conseguir remoción de turbiedad, los sólidos totales y la DQO, los autores lograron resultados de reducción en los sólidos totales en 3%, sin embargo, no obtuvieron buenos resultados para DQO; debido a las condiciones operativas usadas, lograron generar remoción del 95,85% para turbidez, sólidos totales 24,34% y demanda química de oxígeno en 9,71%. Por otra parte, Haaz et al (2019) determinaron que se puede reducir DQO con alrededor de 91% y con rendimiento de 0.875, producto de la aplicación de la **osmosis inversa**, al mismo tiempo sugieren la técnica de tratamiento de osmosis inversa, cabe

mencionar que los costos fueron reducidos comparados con otros tratamientos por lo que sugieren aplicar esta técnica en un contexto de economía circular.

Ijanu et al (2019) Analizó los métodos actuales de tratamiento para las ARC con el objetivo exclusivo de presentar las tecnologías más apropiadas y recientes teniendo en cuenta todos los criterios de importancia (eficiencia, disponibilidad, asequibilidad, respeto por el medioambiente). Para las características efectivas de los cafés, la revisión analiza algunos de los enfoques actuales como los biológicos, físicos y químicos, utilizados en la gestión de ARC, sus ventajas y desventajas, incluidos los altos costos, los procesos complejos y el bajo rendimiento, es así que los autores determinaron que la técnica de **intercambio iónico** es la más eficiente y representa una mejor alternativa en función de su capacidad para actuar como intercambiador y absorbente de iones.

La **digestión anaerobia** es considerada un método eficiente en cuanto a los tratamientos de las ARC; es por esto que, según Park et al (2021), conocer la temperatura de 68°C con un tiempo de reacción de 5h; demostró que las condiciones operativas óptimas para el tratamiento de efluentes con eliminación del 89% de DQO, 78% de TOC, DBO5 en 81%, son importantes, debido a que establecen las condiciones en la que se pueden conseguir mejores resultados, sin embargo la determinación del mismo implica análisis, experimentos y pruebas que corroboren la verdad de los hechos. Mientras que Campos et al (2021), en su revisión determinaron que los efluentes generados en el procesamiento del café representan riesgos debido a que pueden causar impacto ambiental en el caso de ser liberado sin algún tipo de tratamiento, los autores también determinaron que las ARC tienen compuestos que pueden ser considerados nutritivos si se procesan de forma adecuada, lo que permite su utilización y reaprovechamiento, estos procesos pueden ser la coagulación – floculación, la aplicación de procesos oxidativos avanzados, adsorción, entre otras, de esta forma los autores pudieron identificar a la fertirrigación como una alternativa a la reutilización de las ARC.

Según lo demuestra la literatura analizada de los diferentes autores, durante el procesamiento del café se utilizan métodos de acuerdo a las condiciones de producción, puesto que esto determina la capacidad de producción, una industria

puede procesar el café de manera eficiente con métodos secos, disminuyendo la cantidad de agua que se utiliza durante el beneficio, mientras que caficultores de pequeñas parcelas, tienen métodos de procesado precarios como el húmedo, el cual involucra cantidades excesivas de agua, debido a la necesidad de hacer un despulpado más rápido y con menor desgaste físico, estas aguas desencadenan los mayores problemas de contaminación por la formación de aguas mieles, las cuales se vierten sin tratamiento previo hacia los cuerpos ambientales; esto conlleva a la aplicación de los tratamientos estudiados de acuerdo a las capacidades de cada sector, puede ser que una industria con su gran poder adquisitivo implemente las tecnologías más modernas, para disminuir su impacto ambiental negativo, por el contrario implementar con tecnologías nuevas a los agricultores puede ser una tarea que se desarrollará a largo plazo, es por esto que surge la necesidad de estudiar aún más los tratamientos aplicables a las realidades.

Como resultado del **tratamiento biológico** podemos determinar que las técnicas de tratamiento estudiadas en favor de contribuir con su aplicación y que los resultados son semejantes entre Mohd et al, (2020), Mohd et al (2021), Los autores determinaron que la **fitorremediación**, con especies como, Eichhornia crassipes y Lepironia articulata dieron resultados a concentraciones del 75% de ARC y elevaron el nivel de pH, en promedio de 4.4 a 6.8 , lo que demuestra que esta técnica de tratamiento biológico es importante para eliminar DQO y la acidez de las aguas residuales provenientes del café y sus diferentes formas de producción.

De igual forma Said et al (2021), aplico la **fitorremediación** con plantas de Phragmites karka. Dentro de un cañaveral, con un THR de 3 días, con 34 días con el fin de conocer la eficiencia del tratamiento y su potencial de eliminación de los TSS, de esta manera los resultados demostraron reducción en la concentración de TSS en 95% y color en 76%.

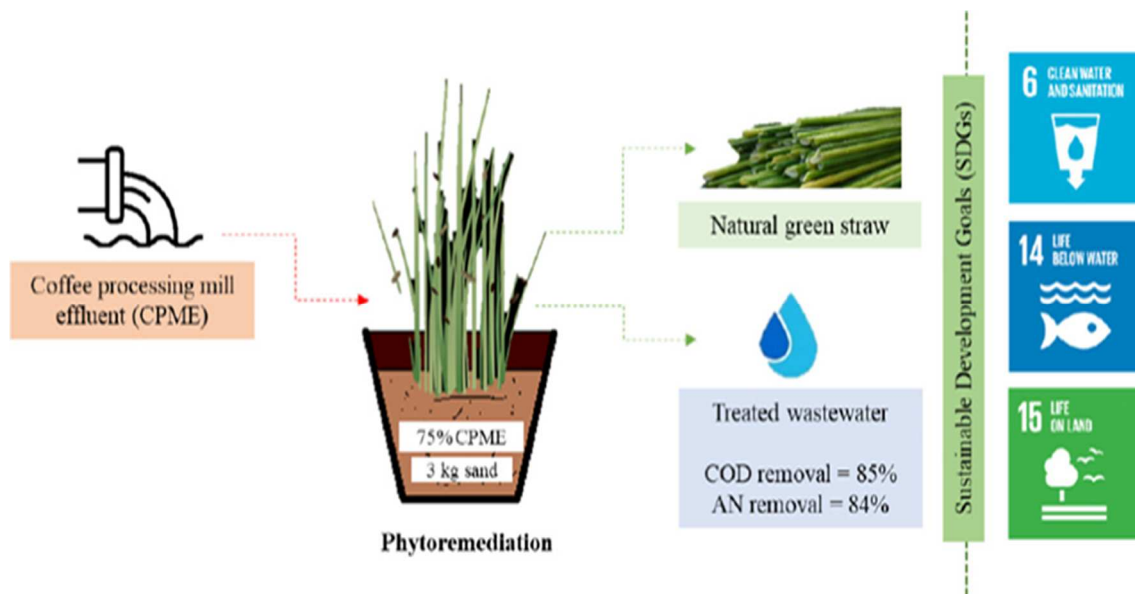


Figura 11. Proceso de fitorremediación. Fuente: Mohd et al (2021).

Mientras que, en la aplicación de tratamientos biológicos a las aguas residuales con la selección de etapas para grupos bacterianos, Ferreira et al (2021), obtuvieron resultados al analizar **ensayos basados en inóculos**, que a su vez eran efectivos al reducir DBO, DQO, P, Nt. Este grupo estuvo compuesto por bacterias seleccionadas previamente, como un experimento fenotípico, que mostro ser eficiente con 11.18 log UFC m/L, disminuyendo en 85%, 60% y 80% en DBO, DQO, fósforo y nitrógeno respectivamente; lograron subir el pH d 6 a 7.5, asi mismo los investigadores lograron disminuir en 59% el efecto toxico de *Daphnia similis*; resultó que los microorganismos fueron eficientes para tratar las ARC de forma biológica, con esto demuestran que el tratamiento es eficiente pero que implica mayor tiempo en mostrar los resultados.

De acuerdo con el estudio de Ibarra et al (2018), la aplicación del proceso Fenton para tratar las ARC y disminuir lo mejor posible de la DQO, logró demostrar la eficiencia del proceso puesto que se logró mayor reducción de la DQO con valores de 80.5% a un pH de 3.73, con Fe concentrado a 500 mg/L, de igual forma en la investigación de Botello et al. (2018), demostraron eficiencia al tratar las ARC con **digestión anaerobia** con la utilización de un reactor UASB, en dos etapas consiguieron eliminar DQO con 88.4%, también compuestos fenólicos al 73%, esta técnica de tratamiento de los efluentes de la industria cafetera, fue efectivo, pero se tuvo consideraciones como elevar las tasas de carga orgánica

(OLR), las cuales permiten una mayor efectividad dentro del reactor. Por otra parte una investigación de; Guardia et al, 2021 que utiliza también reactores UASB para tratar los efluentes con 5 variables (pH, alcalinidad, concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) de salida y eliminación de DQO), el modelo que propusieron resultó estar influenciado por tres variables (concentración de AGV, eliminación de DQO soluble y alcalinidad), teniendo al pH, la alcalinidad, la concentración de AGV y la eliminación de DQO, dentro del reactor se logró producir biogás y metano.

El resultado de De Sujatha et al (2020), con la aplicación de la oxidación foto catalítica con parámetros operativos como el pH, la dosis de catalizador, la intensidad de la irradiación de luz ultravioleta y la adición de oxidante sobre la Demanda química de oxígeno, produjeron resultados para su reducción, el cual se redujo en 67% también pudieron eliminar el color en 70%, a una dosis de catalizador de 500 mg/L, un pH de 4 con dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), usando cuatro lámparas ultravioleta-C (UV-C.) de 16 W cada una, es así que en busca de resultados considerablemente mejores, los investigadores incorporaron (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) como oxidante, esto mejoró la eficiencia de eliminación a 84% y 75% para DQO y color, los investigadores demostraron de esta manera que la remoción de contaminantes era favorable al aplicar **oxidación foto catalítica**, estos resultados pueden ser aplicados en países donde se produce café con métodos tradicionales como el Perú, también se tiene que considerar la radiación solar fuerte en el lugar de aplicación, debido a que tienen mejores resultados, de esta manera se puede disminuir sosteniblemente el contenido de contaminantes de estos efluentes de la industria del café.

En la investigación de Shanmugam et al (2021), analizaron el tratamiento de ARC dentro un biorreactor de 1L y utilizando la técnica de **optimización autodirigida** lograron eliminar la presencia de cafeína. Así consiguieron una máxima degradación de 16,73mg/L cada hora, a 210 rpm, 1,16 vvm y 0,383 g/L de biomasa inicial; las condiciones óptimas de concentración inicial de biomasa y (CMO) son 0.23 g/L y 64.26 h<sup>-1</sup> para cada uno, durante los experimentos consiguieron una tasa de degradación máxima de 16.9 mg/L.h, sus resultados demuestran que debido a sus componentes tóxicos, las ARCs representan una

amenaza de consideración que podría acabar con el equilibrio del ambiente, al mismo tiempo los autores indican que las ARC's al contener cafeína, dificultan su tratamiento a pesar de los métodos conocidos, aun así la investigación demostró que la incorporación de pseudomonas SP, mejoró la eficiencia en la degradación de cafeína, sin embargo sugieren investigar otras alternativas, debido a que no obtuvieron resultados significativos para su investigación.

La investigación de Gomes de Barros et al (2020), determinó los métodos para eliminar compuestos orgánicos recalcitrantes en las ARC's, con la recirculación al digester anaerobio; consideraron 3 técnicas de tratamiento, **oxidación de Fenton, Coagulación/floculación (C/F)**, y la combinación de los anteriores; el proceso Fenton fue aplicado a las mejores condiciones de operación con pH inicial = 5.0; T = 55 °C, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 9000 mg/L y [Fe<sup>3+</sup>] = 1800 mg/L, se aumentó la biodegradabilidad, la relación de DBO<sub>5</sub>:DQO, se elevó de 0.18 a 0.225 luego del tratamiento, también lograron reducir materia orgánica como el carbono orgánico total en 51,3%, la DQO en 55,7% y la DBO<sub>5</sub> 39,7%; sus resultados nos permiten analizar mejor las condiciones operativas como el pH a 10-11 y [Fe<sup>3+</sup>] = 250 mg/L, las mismas que en el estudio redujeron la toxicidad y elevaron la biodegradabilidad de 0.34 a 0.47, esto permitió remover COT de 76,2%, DQO = 76,5 y DBO<sub>5</sub> = 66,3%, la utilización de estas técnicas de tratamiento están sujetas a modificaciones y selección de acuerdo a la naturaleza propia de la producción del café y la generación de aguas residuales; al respecto y para maximizar el tiempo de remoción de contaminantes presentes en las ARC's, Can et al (2019), investigaron la eficiencia en el tratamiento con ánodos de diamante dopado con boro (BDD), Ti recubierto de platino, con algunos óxidos metálicos mixtos (MMO) para aplicar la técnica de tratamiento de **coagulación química**, con el fin de eliminar carbono orgánico total (TOC) y DQO; esta investigación demostró que; el electrodo BDD fue más eficiente respecto a los electrodos de Pt y MMO debido a que, durante la electrooxidación, el electrodo BDD obtuvo mejor resultado de depuración con 95 % de TOC y del 97 % de DQO, luego de 6 horas, a diferencia de los electrodos de Pt y MMO que solo lograron remover del 25 al 50 % de DQO y del 13 al 22 % de TOC, al mismo tiempo la investigación demostró que el coagulante AlCl<sub>3</sub> fue eficiente y removió el 55% de DQO y 29% de TOC; de esta manera se reduce el tiempo en el que el ARC demora en ser

tratado, la aplicación de este **tratamiento químico** conlleva costos demasiado elevados, por ende no es favorable su aplicación en parcelas de cultivo de café, sin embargo en la industria del café existen empresas que sí podrían costear los gastos en favor de la eliminación de los compuestos contaminantes.

## V. CONCLUSIONES

**OG:** Existen muchas técnicas de tratamiento para los efluentes de la industria del café, con esta investigación se pudo lograr la identificación de los mejores tratamientos, al mismo tiempo se puede determinar que la mejor eficiencia en el tratamiento de las ARC, se consigue a través de la digestión anaerobia, a pesar de los costos que este proceso pueda generar, en un contexto de energía circular, estos costos podrían ser retribuidos con la reutilización de la energía producida por los reactores.

**OG:** El tratamiento de las ARC, es un tema con poca relevancia en nuestro país pero que abre la posibilidad de realizar estudios de las técnicas a diversas escalas y que podrían empezar en pequeñas parcelas, debido a la necesidad de frenar la contaminación del ambiente.

**OE1:** Se estudiaron autores que analizaron las características que tienen los efluentes que proviene de la industria del café, con la necesidad de conocer la realidad, de donde se pudo determinar que el pH es bajo con promedio 4.43, en su mayoría, las ARC contribuyen al incremento de la DQO y DBO, puesto que, en promedio de acuerdo a la investigación, contienen 15465.2 mg/L, 9258.7 mg/L respectivamente.

**OE2:** Se describieron los tipos de valorizaciones que se pueden implementar para las ARC, como la generación de biogás, que a su vez genera energía, la extracción, fertirrigación, reutilización con adición de orina humada.

**OE3:** Se analizaron las técnicas de tratamiento que se pueden aplicar a las ARC, con tratamientos biológicos y físico-químicos, con el fin de brindar de mayores técnicas, de esta forma tenemos algunas que se estudiaron como los procesos oxidativos avanzados, proceso fenton, coagulación, floculación, electro floculación, oxidación fotocatalítica, fitorremediación, digestión anaerobia.



## **VI. RECOMENDACIONES**

**OG:** Se recomienda ampliar las investigaciones sobre las técnicas de tratamiento para los efluentes provenientes de la industria del café, debido a que en la actualidad el café, esto representa menor importancia para el sector agroindustrial.

**OG:** Realizar investigaciones a pequeña escala con la realidad del Perú, a fin de conocer las condiciones de las aguas residuales, debido que existen caficultores que procesan el café con métodos húmedos que son potencialmente más tóxicos para el ambiente, para que reconozcan las ventajas de incorporar algunas prácticas conocidas de desarrollo sostenible, a través de procesos ecológicos de beneficio de café.

**OE1:** Analizar las características específicas de que tiene el agua residual de forma que se puedan aplicar tratamiento de acuerdo a las condiciones del lugar.

**OE2:** Se recomienda que, de acuerdo a las necesidades de valorización del agua residual, se prevea formas ecológicas de reaprovechamiento y reutilización de las aguas residuales, al mismo tiempo se tenga en cuenta las características para conseguir subproductos de calidad.

**OE3:** Se recomiendan ampliar la investigación para contribuir con los conocimientos para los tratamientos de las ARC, a fin de desarrollar mejores técnicas que se encuentren acorde a la realidad de la agroindustria del café.

## REFERENCIAS:

1. ACARLEY, Fuilen; QUIPUZCO, Lawrence. 2020. *Producción de metano mediante digestión anaerobia de aguamiel, subproducto del beneficio húmedo del café*. [en línea] Agroindustrial Science, ISSN-e 2226-2989, Vol. 10, N°. 1 (enero - abril), págs. 7-16. Fecha de consulta [27 de marzo del 2022] <http://dx.doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.01.01>. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8085632>.
2. Alemayehu, Yitayal Addis; Asfaw, Seyoum Leta; Terfie, Tadesse Alemu. 2021. *Reusing urine and coffee processing wastewater as a nutrient source: Effect on soil characteristics at optimum cabbage yield*, [en línea] Environmental Technology & Innovation, Volume 23, 101571, ISSN 2352-1864, fecha de consulta [09 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101571>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352186421002194>
3. ALEMAYEHU, Yitayal Addisa; ASFAW, Seyoum Leta; TIRFIE, Tadesse Alemub. 2020. *Management Options for Coffee Processing Wastewater. A Review*. [en línea] Journal of Material Cycles and Waste Management 22 (2): 454-469. Fecha de consulta [30 de marzo del 2022] <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00953-y>. disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85076599521&origin=reflist&sort=plf-f&src=s&st1=10.3390%2fenvironments7060047&sid=bb3b3b55de2e745438a24d20b0bd8d02&sot=b&sdt=b&sl=32&s=DOI%2810.3390%2fenviro nments7060047%29>.
4. ALEMAYEHU-YITAYAL, Addis; LETA-ASFAW, Seyoum; ALEMU-TERFIE, Tadesse. 2022. *Hydrolyzed urine for enhanced valorization and toxicant degradation of wet coffee processing wastes: Implications for soil contamination and health risk reductions*, [en línea]. Journal of Environmental Management, Volume 307, 114536, ISSN 0301-4797, fecha de consulta [ 26 de marzo del 2022]. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114536>. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722001098?via%3Dihub>

5. ANCY, Jenifer A; VASANTHY M; THAMARAI selvi C; RAVINDRAN, B; CHUNG, Woo Jin; CHANG, SOON Woong. 2021. *Treatment of coffee cherry pulping wastewater by using lectin protein isolated from Ricinus communis L. seed*, [en línea] Journal of Water Process Engineering, Volume 39, 101742, ISSN 2214-7144, fecha de consulta [02 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101742>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221471442030619X>.
6. ARRIBAS LLÓPIS, Pavel Ernesto; GÓMEZ MORALES, Yakelín; GUILLEN ESTÉVEZ, Anselmo Leónides; RAMÍREZ MESA, Celidanay. 2021. *La comunicación científica en investigaciones que asumen el enfoque cualitativo: una mirada valorativa*. [en línea] EDUMECENTRO, 13(2), 172-191. Epub 30 de junio de 2021. ISSN 2077-2874. Fecha de consulta [23 de marzo del 2022] disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-28742021000200172](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-28742021000200172).
7. BOTELLO SUÁREZ, Wilmar Alirio; DA SILVA VANTINI, Juliana; DUDA, Rose Maria; GIACHETTO, Poliana Fernanda; CARRIJO CINTRA, Leandro; TIRABOSCHI FERRO, Maria Inês; ALVES DE OLIVEIRA, Roberto. 2018. *Predominance of syntrophic bacteria, Methanosaeta and Methanoculleus in a two-stage up-flow anaerobic sludge blanket reactor treating coffee processing wastewater at high organic loading rate*, [en línea] Bioresource Technology, Volume 268, Pages 158-168, ISSN 0960-8524, fecha de consulta [29 de marzo del 2022] <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.091>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852418308708>.
8. CAMPOS, Renata Cássia; ARRUDA PINTO, Vinícius Rodrigues; Fernandes Melo, Laura; SILVA SOARES DA ROCHA, Samuel José; COIMBRA, Jane Sélia. 2021. *New sustainable perspectives for “Coffee Wastewater” and other by-products: A critical review*, [en línea] Future Foods, Volume 4, 100058, ISSN 2666-8335, fecha de consulta [04 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100058>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666833521000484>.

9. CAN, Orhan Taner; GENGEÇ, Erhan; KOBAYASHI, Mehmet. 2019. *TOC and COD removal from instant coffee and coffee products production wastewater by chemical coagulation assisted electrooxidation*, [en línea] Journal of Water Process Engineering, Volume 28, Pages 28-35, ISSN 2214-7144, fecha de consulta [15 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.01.002>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714418306330?via%3Dihub>.
10. Chen, Rong; Wen, Wen; Jiang, Hongyu; Lei, Zhen; Li, Mingzhe; Li, Yu-You. 2019. *Energy recovery potential of thermophilic high-solids co-digestion of coffee processing wastewater and waste activated sludge by anaerobic membrane bioreactor*, [en línea] Bioresource Technology, Volume 274, Pages 127-133, ISSN 0960-8524, fecha de consulta [23 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.080>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852418316146>.
11. CHERDCHOO, Wachiraphorn; NITHETTHAM, Srisuda; CHAROENPANICH, Jittima. 2019. *Removal of Cr(VI) from synthetic wastewater by adsorption onto coffee ground and mixed waste tea*, [en línea] Chemosphere, Volume 221, Pages 758-767, ISSN 0045-6535, fecha de consulta [16 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.100>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653519301109>.
12. CONCYTEC. 2018. *Reglamento de calificación, clasificación y registro de los investigadores del sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación tecnológica - reglamento renacyt*. [en línea]. Fecha de consulta [20 de marzo del 2022] disponible en: [https://portal.concytec.gob.pe/images/renacyt/reglamento\\_renacyt\\_version\\_final.pdf](https://portal.concytec.gob.pe/images/renacyt/reglamento_renacyt_version_final.pdf)
13. CÓRDOVA-Mosquera, Alexandra, GÓMEZ-SALCEDO, Yunet; RIERA, María Antonieta, RODRÍGUEZ-DÍAZ Joan Manuel. 2019. *Influence of advanced oxidative processes in anaerobic digestion of wastewater in*

- coffee industry*. Centro Azúcar, vol. 46, no 2, p. 89-100, ISSN 2223-4861. Fecha de consulta [23 de marzo 2022] disponible en [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612019000200089&lang=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612019000200089&lang=es)
14. CRUZ-SALOMÓN, Abumalé; RÍOS-VALDOVINOS, Edna; POLA-ALBORES, Francisco; LAGUNAS-RIVERA, Selene; CRUZ-RODRÍGUEZ, Rosa I; CRUZ-SALOMÓN, Kelly d.C; Hernández-Méndez, Jesús M.E; DOMÍNGUEZ-ESPINOSA, María E. 2020. *Treatment of Cheese Whey Wastewater Using an Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) Bioreactor with Biomethane Production*. [en línea] volumen 8, no. 8: 931. Fecha de consulta [23 de marzo del 2022]. <https://doi.org/10.3390/pr8080931>. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2227-9717/8/8/931>.
  15. DADI, Dessalegn; MENGISTIE, Embialle; TEREFE, Gudina; GETAHUN, Tadesse; HADDIS, Alemayehu; BIRKE, Wondwossen; BEYENE, Abebe; LUIS, Patricia; VAN DER BRUGGEN, Bart. 2018. *Assessment of the effluent quality of wet coffee processing wastewater and its influence on downstream water quality*, [en línea] *Ecohydrology & Hydrobiology*, Volume 18, Issue 2, Pages 201-211, ISSN 1642-3593, fecha de consulta [28 de marzo del 2022] <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2017.10.007>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1642359317300848>.
  16. DE MELO PEREIRA, Gilberto V; DE CARVALHO NETO, Dão Pedro; MAGALHÃES JÚNIOR, Antonio I; DO PRADO, Fernanda Guilherme; PAGNONCELLI, Maria Giovana B; KARP, Susan Grace; SOCCOL, Carlos Ricardo. 2020. *Chapter Three - Chemical composition and health properties of coffee and coffee by-products*. [en línea] Editor(s): Fidel Toldrá, *Advances in Food and Nutrition Research*, Academic Press, Volume 91, Pages 65-96, ISSN 1043-4526, ISBN 9780128204702, fecha de consulta [04 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.10.002>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1043452619300774>.
  17. FENWICK, Elisabeth; STEUTEN, Lotte; KNIES, Saskia; GHABRI, Salah; BASU, Anirban; MURRAY, James F; KOFFIJBERG, Hendrik (Erik);

- STRONG, Mark; SANDERS SCHMIDLER, Gillian D; ROTHERY, Claire. 2020. *Value of Information Analysis for Research Decisions—An Introduction: Report 1 of the ISPOR Value of Information Analysis Emerging Good Practices Task Force*, [en línea] *Value in Health*, Volume 23, Issue 2, Pages 139-150, ISSN 1098-3015, fecha de consulta [16 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1016/j.jval.2020.01.001>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1098301520300279>.
18. FERNÁNDEZ-CORTÉS, Yessica; SOTTO-RODRÍGUEZ, Karla Daniela; VARGAS-MARÍN, Luis Alberto. 2020. *Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados*. *Producción + Limpia*, [en línea] 15(1), 93-110. Epub November 20, fecha de consulta [03 de abril del 2022]. <https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a7> Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552020000100093](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552020000100093).
19. FERREIRA PIRES, Josiane; CAMPOS VIANA, Dimitri; ALVES BRAGA JR, Roberto; FREITAS SCHWAN, Rosane; FERREIRA SILVA, Cristina. 2021. *Protocol to select efficient microorganisms to treat coffee wastewater*, [en línea] *Journal of Environmental Management*, Volume 278, Part 2, 111541, ISSN 0301-4797, fecha de consulta [12 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111541>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720314663>.
20. FRANCA, Adriana S; OLIVEIRA, Leandro S. 2019. *Chapter 17 - Coffee*, Editor(s): Zhongli Pan, Ruihong Zhang, Steven Zicari, [en línea] *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products*, Academic Press, Pages 413-438, ISBN 9780128141380, fecha de consulta [20 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814138-0.00017-4>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128141380000174>.
21. GOMES DE BARROS, Valciney; RODRIGUES, Carmen; BOTELLO-SUÁREZ, Wilmar Alirio; DUDA, Rose maría; ALVES DE OLIVEIRA, Roberto; DA SILVA, Eliana; FARIA, Joaquim; BOAVENTURA, Rui; MADEIRA, Luis. 2020. *Treatment of Biodigested Coffee Processing*

- Wastewater using Fenton's Oxidation and coagulation/flocculation*. [en línea] Environmental Pollution 259. Fecha de consulta [10 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113796>. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85076831545&origin=reflist&sort=plf-f&src=s&st1=Supramolecular+solvents+for+the+valorization+of+coffee+wastewater&sid=1facd524fed7a46db1eeaec6f8f9c800&sot=b&sdt=b&sl=99&s=TITLE-ABS-KEY%28Supramolecular+solvents+for+the+valorization+of+coffee+wastewater%29+AND+PUBYEAR+%3e+2017>.
22. GUARDIA-PUEBLA, Yans; LLANES-CEDEÑO, Edilberto; DOMÍNGUEZ-LEÓN, Ana Velia; ARIAS-CEDEÑO, Quirino; SÁNCHEZ-GIRÓN, Victor; MORSCHECK, Gert; EICHLER-LÖBERMANN, Bettina. 2021. *Dynamic modelling of an anaerobic reactor treating coffee wet wastewater via multiple regression model*. [en línea] Journal of Water and Land Development. 50, s. 229–239. Fecha de consulta [20 de abril del 2022] <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.138178>. Disponible en: <https://bibliotekanauki.pl/articles/1841946>.
23. Gurudev, S; Shanthakumar, Subramaniamand. 2018. *Removal of Organic Pollutants from Coffee Wastewater: A Mini-Review*. [en línea] Indian Journal of Environmental Protection 38 (3): 213-220. Fecha de consulta [27 de marzo del 2022]. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=recordpage&zone=relatedDocuments&eid=2-s2.0-85047843945&citeCnt=10&noHighlight=false&sort=plf-f&src=s&st1=10.3390%2fenvironments7060047&sid=bb3b3b55de2e745438a24d20b0bd8d02&sot=b&sdt=b&sl=32&s=DOI%2810.3390%2fenvironments7060047%29&relpos=0>.
24. HAAZ Eniko; FOZER Daniela; NAGY Tibora; VALENTINYI Nora; ANDRE Anita; MATYASI Judit; BALLA Jozseft; MIZSEY Petera; TOTTH ANDRAS Jozsefa. 2019. *Vacuum evaporation and reverse osmosis treatment of process wastewaters containing surfactant material: COD reduction and water reuse*. [en línea] Clean Technol Environ Policy. Fecha de consulta [21 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01673-5>.

Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85064165894&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=COD+reduction+of+process+wastewater+with+vacuum+evaporation&sid=709d0cdf09abe4ecb1142bab60c2b95c&sot=b&sdt=b&sl=93&s=TITLE-ABS-KEY%28COD+reduction+of+process+wastewater+with+vacuum+evaporation%29+AND+PUBYEAR+%3e+2017&relpos=0&citeCnt=12&searchTerm=>.

25. HAILEMARIAM, Ruth Habte; WOO, Yun Chul; DAMTIE, Mekdimu Mezemir; KIM, Bong Chul; PARK, Kwang-Duck; CHOI, June-Seok. 2020. *Reverse Osmosis Membrane Fabrication and Modification Technologies and Future Trends: A Review*. [en línea] *Advances in Colloid and Interface Science* 276. Fecha de consulta [30 de marzo] <https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.102100>. disponible en

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85077648073&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Hailemariam&nlo=&nlr=&nls=&sid=3c7ed067f43486471ffd07acb1e8fe7f&sot=b&sdt=cl&cluster=scopubyr%2c%222020%22%2ct&sl=43&s=AUTHOR-NAME%28Hailemariam%29+AND+PUBYEAR+%3e+2017&relpos=44&citeCnt=54&searchTerm=>.

26. HARGREAVES, Andrew.J; VALE, Peter; WHELAN, Jonathan; ALIBARDI; Luca; CONSTANTINO, Carlos; DOTRO, Gabriela; CARTMELL, Elise; CAMPO, Pablo. 2018. *Coagulation–flocculation process with metal salts, synthetic polymers and biopolymers for the removal of trace metals (Cu, Pb, Ni, Zn) from municipal wastewater*. [en línea] *Clean Techn Environ Policy* 20, 393–402. Fecha de consulta [07 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1481-3>. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-017-1481-3>.

27. HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto., FERNÁNDEZ CALLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, María del Pilar. 2014. *Metodología de la investigación*, [en línea], (6ª ed.). México D. F.: McGraw Hill. 0. Fecha de consulta [22 de marzo del 2022] Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-co>



28. IBARRA-TAQUEZ, Harold N.; DOBROSZ-GOMEZ, Izabela; GOMEZ, Miguel-Ángel. 2018. *Optimización Multiobjetivo del Proceso Fenton en el Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de la Producción de Café Soluble*. Inf. tecnol. [en línea], vol.29, n.5. pp.111-122. ISSN 0718-0764. fecha de consulta [23 de marzo del 2022] <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000500111>., Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642018000500111&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642018000500111&lng=es&nrm=iso).
29. ICO. 2022. *Aspectos botánicos*. [en línea] About coffee [fecha de consulta 23 de marzo 2022] disponible en: [https://www.ico.org/es/botanical\\_c.asp](https://www.ico.org/es/botanical_c.asp)
30. IJANU, E.M; KAMARUDDIN, M.A; NORASHIDDIN, F.A. 2020. *Coffee processing wastewater treatment: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative*. Appl Water Sci 10, 11. Fecha de consulta [24 de marzo de 2022], <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1091-9>. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-019-1091-9>.
31. JANISSEN, Brendan; HUYNH, Tien. 2018. *Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review*, [en línea] Resources, Conservation and Recycling, Volume 128, Pages 110-117, ISSN 0921-3449, fecha de consulta [26 de marzo del 2022] <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.001>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917303154>.
32. KOREKAR, G; KUMAR, A; UGALE, C. 2020. *Occurrence, Fate, Persistence and Remediation of Caffeine: A Review*. [en línea] Environmental Science and Pollution Research 27 (28): 34715-34733. Fecha de consulta [24 de marzo del 2022] <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06998-8>. Disponible en: [https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85076803051&origin=AuthorNamesList&txGid=320a2d70c10169b210897f00830d6847&featureToggles=FEATURE\\_NEW\\_DOC\\_DETAILS\\_EXPORT:1](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85076803051&origin=AuthorNamesList&txGid=320a2d70c10169b210897f00830d6847&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1)
33. LÓPEZ RAMÍREZ, Miguel Ángel; CASTELLANOS ONORIO, Olaya Pirene; LANGO REYNOSO, Fabiola; CASTAÑEDA CHÁVEZ, María del Refugio; MONTOYA MENDOZA, Jesús; SOSA VILLALOBOS, Cinthya

- Alejandra; ORTIZ MUÑIZ, Benigno. 2021. *Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revisión*. [en línea] Enfoque UTE, 12(4), 76-87. Fecha de consulta [31 de marzo del 2022]. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.769>. Disponible en: [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1390-65422021000400076](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422021000400076).
34. LOUZADA PEREIRA, Lucas; CARVALHO GUARÇONI, Rogério; FONTES PINHEIRO, Patrícia; MOREIRA OSÓRIO, Vanessa; ALEXANDRE PINHEIRO, Carlos; RIZZO MOREIRA, Tais; SCHWENGBERTEN CATEN, Carla. 2020. *New propositions about coffee wet processing: Chemical and sensory perspectives*, [en línea] Food Chemistry, Volume 310, 125943, ISSN 0308-8146, fecha de consulta [08 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125943>. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814619320825?via%3DIhub>.
35. MIDAGRI. 2018. *Cafes especiales en el Perú* [en línea] fecha de consulta [25 de marzo del 2022] Disponible en: <https://www.midagri.gob.pe/portal/datero/24-sector-agrario/cafe>.
36. MINAM. 2008. *Estandares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua* [en línea]. Disponible en: [https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/ds\\_002\\_2008\\_eca\\_agua.pdf](https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/ds_002_2008_eca_agua.pdf).
37. MIRA, J.J; PÉREZ-JOVER, V; LORENZO, S; ARANAZ, J; VITALLER, J. 2004. *La investigación cualitativa: una alternativa también válida*, [en línea] Atención Primaria. Volume 34, Issue 4, Pages 161-166, ISSN 0212-6567, ISBN: 978-1-4562-2396-0. Fecha de consulta [22 de marzo del 2022]. [https://doi.org/10.1016/S0212-6567\(04\)78902-7](https://doi.org/10.1016/S0212-6567(04)78902-7) Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0212656704789027ntent/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>.
38. MOHD SAID, Nor Sakinah; KURNIAWAN, Setyo Budi; SHEIKH ABDULLAH, Siti Rozaimah; HASAN, Hassimi Abu; OTHMAN, Ahmad Razi; ISMAIL, Nur 'Izzati. 2021. *Competence of Lepironia articulata in eradicating chemical oxygen demand and ammoniacal nitrogen in coffee*

- processing mill effluent and its potential as green straw*, [en línea] Science of The Total Environment, Volume 799, 149315, ISSN 0048-9697, fecha de consulta [19 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149315>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721043886>.
39. MOHD SAID, Nor Sakinah; SITI ROZAIMAH, Sheikh Abdullah; NUR 'IZZATI, Ismail; HASSIMI, Abu Hasan; AHMAD, Razi Othman. 2020. *Phytoremediation of real coffee industry effluent through a continuous two-stage constructed wetland system*, [en línea] Environmental Technology & Innovation, Volume 17, 100502, ISSN 2352-1864, fecha de consulta [06 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100502>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186419304420>.
40. MORALES PAREDES, Carlos; RIVADENEIRA MENDOZA, Bryan; GARCÍA MOREIRA, Sergio. 2018. *Digestión Anaerobia De Las Aguas Residuales De La Industria Del Café Instantáneo*. [en línea] Revista ESPAMCIENCIA ISSN 1390-8103 9 (1), 23-31. Fecha de consulta [05 de abril del 2022] disponible en: [http://190.15.136.171/index.php/Revista\\_ESPAMCIENCIA/article/view/152](http://190.15.136.171/index.php/Revista_ESPAMCIENCIA/article/view/152).
41. NAVITHA KR; KOUSAR, Hina; TJPRC. 2018. *A Comparative Study on the Potential of Aspergillus Niger and Aspergillus Flavus for the Treatment of Coffee Processing Effluent*. [en línea] International Journal of Environment, Ecology, Family and Urban Studies 8. Fecha de consulta [25 de marzo del 2022] <https://doi.org/10.24247/ijeefusaug20182>. Disponible en: <https://eds.p.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=3&sid=0c3b3695-47d2-4b09-834b-ae1e28848e48%40redis&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=edsair.doi.....b019ae3d550ed5c844ca6a666092b318&db=edsair>
42. PARK, Munsik; KIM, Namgyu; JUNG, Seunghwan; JEONG, Tae-Young; PARK, Donghee. 2021. *Optimization and comparison of methane production and residual characteristics in mesophilic anaerobic digestion of sewage sludge by hydrothermal treatment*, [en línea] Chemosphere,

- Volume 264, Part 2, 128516, ISSN 0045-6535, fecha de consulta [17 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128516>.  
 Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653520327119>.
43. Pham, Yen; Reardon-Smith, Kathryn; Mushtaq, Sshahbaz; Cockfield Geoff. 2019. *The impact of climate change and variability on coffee production: a systematic review*. [en línea] *Climatic Change* 156, 609–630. Fecha de consulta [18 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02538-y>.  
 disponible en:  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-019-02538-y>.
44. Said, Nor Shakinah; Abdullah, Siti Rozaimah; Hasan, Hassimi Abu; Othman, Ahmad Razi; Ismail, Nur 'Izzati. 2021. *Endurance of Phragmites Karka in Removing Colour and Suspended Solids from Industrial Coffee Processing Effluents in a Continuous Reed Bed System*. [en línea] *Journal of Water Process Engineering* 40. Fecha de consulta [25 de abril del 2022] 10.1016/j.jwpe.2020.101832. Disponible en:  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85126115450&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=wetlands+for+coffee+wastewater+treatment&sid=093bc8905ab2e251c73db012915e4c70&sot=b&sdt=b&sl=74&s=TITLE-ABS-KEY%28wetlands+for+coffee+wastewater+treatment%29+AND+PUBYEAR+%3e+2017&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=>.
45. SAMUEL, Z. A. 2021. *Treatment of Combined Coffee Processing Wastewater using Constructed wetland/Cyperus-Ustulatus and Typha-Latifolia Plants Process*. [en línea] *Global Nest Journal* 23 (3): 429-433. Fecha de consulta [02 de abril del 2022] <https://doi.org/10.30955/gnj.003688>. Disponible en:  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85126115450&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=wetlands+for+coffee+wastewater+treatment&sid=093bc8905ab2e251c73db012915e4c70&sot=b&sdt=b&sl=74&s=TITLE-ABS-KEY%28wetlands+for+coffee+wastewater+treatment%29+AND+PUBYEAR+%3e+2017&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=>.

46. SCHWEITZER, Linda; NOBLET, James. 2018 *Chapter 3.6 - Water Contamination and Pollution*, Editor(s): Béla Török, Timothy Dransfield, [en línea] Green Chemistry, Elsevier, Pages 261-290, ISBN 9780128092705, fecha de consulta [21 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00011-X>. disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012809270500011X>.
47. SENGUPTA, Bratin; PRIYADARSHINEE, Rashmi; ROY, Abhishek; BANERJEE, Avishek; MALAVIYA, Alok; SINGHA, Subhajit; MANDAL, Tamal; KUMAR, Anuj. 2020. *Toward sustainable and eco-friendly production of coffee: abatement of wastewater and evaluation of its potential valorization*. [en línea] Clean Techn Environ Policy 22, 995–1014. Fecha de consulta [06 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01841-y>. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-020-01841-y>.
48. SHANMUGAM, Manoj Kumar; RATHINAVELU, Sasikaladevi; GUMMADI, Sathyanarayana N. 2021. *Self-Directing Optimization for Enhanced Caffeine Degradation in Synthetic Coffee Wastewater using Induced Cells of Pseudomonas Sp.: Bioreactor Studies*. [en línea] Journal of Water Process Engineering 44. Fecha de consulta [10 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102341>. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=citedby&eid=2-s2.0-85116678390&citeCnt=8&noHighlight=false&sort=plf-f&src=s&st1=Supramolecular+solvents+for+the+valorization+of+coffee+wastewater&sid=1facd524fed7a46db1eeaec6f8f9c800&sot=b&sdt=b&sl=99&s=TITLE-ABS-KEY%28Supramolecular+solvents+for+the+valorization+of+coffee+wastewater%29+AND+PUBYEAR+%3e+2017&relpos=2>
49. SUJATHA, Gurudev; SHANTHAKUMAR, Subramaniamand; CHIAMPO, Fulvia. 2020. *UV light-irradiated Photocatalytic Degradation of Coffee Processing Wastewater using tio2 as a Catalyst*. [en línea] Environments - MDPI 7 (6): 1-13. Fecha de consulta [26 de marzo del 2022] doi:10.3390/environments7060047. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0->

- [85090744069&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=10.3390%2fenvironments7060047&sid=bb3b3b55de2e745438a24d20b0bd8d02&sot=b&sdt=b&sl=32&s=DOI%2810.3390%2fenviro nments7060047%29&relpos=0&citeCnt=10&searchTerm=.](https://doi.org/10.1039/c9ew01095e)
50. TORRES-VALENZUELA, Laura Sofia; BALLESTEROS-GOMEZ, Ana; SERNA, Johana; ARANGO, Andrea; RUBIO, Soledad. 2020. *Supramolecular Solvents for the Valorization of Coffee Wastewater*. [en línea] *Environmental Science: Water Research and Technology* 6 (3): 757-766. Fecha de consulta [14 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1039/c9ew01095e>. disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85081121285&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Supramolecular+solvents+for+the+valorization+of+coffee+wastewater&sid=1facd524fed7a46db1eeaec6f8f9c800&sot=b&sdt=b&sl=99&s=TITLE-ABS-KEY%28Supramolecular+solvents+for+the+valorization+of+coffee+wastewater%29+AND+PUBYEAR+%3E+2017&relpos=0&citeCnt=8&searchTerm=&retries=1>
51. TORRES-VALENZUELA, Laura Sofia; SANIN-VILLARREA, Alejandra; ARANGO-RAMIREZ, Andrea and SERNA-JIMENEZ, Johanna Andrea. 2019. *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café*. *Rev. ion* [en línea], vol.32, n.2. pp.59-66. Epub Dec 19, 2019. ISSN 0120-100X. fecha de consulta [20 de marzo del 2022]. <https://doi.org/10.18273/revion.v32n2-2019006> Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-100X2019000200059&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2019000200059&lng=en&nrm=iso).
52. USDA. 2019. *Coffee: World Markets and Trade* [en línea] Fecha de consulta [11 de abril el 2022] Disponible en: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/coffee.pdf>.
53. VILLASIS-KEEVER, Miguel Ángel, RENDÓN-MACÍAS Mario Enrique, GARCÍA, Heladia, MIRANDA-NOVALES María Guadalupe, ESCAMILLA-NÚÑEZ Alberto. 2020. *La revisión sistemática y el metaanálisis como herramientas de apoyo para la clínica y la investigación*. *Rev. alerg. Méx.* [en línea]. vol.67, n.1, pp.62-72. Epub 16-Sep-2020. ISSN 2448-

9190. Fecha de consulta [21 de marzo del 2022]  
<https://doi.org/10.29262/ram.v67i1.733>. Disponible en:  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2448-91902020000100062&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-91902020000100062&lng=es&nrm=iso).

54. WISNIEWSKI, Christian.M; SLATER, Stewart; SAVELSKI, Mariano. 2018. *Dynamic vibratory membrane processing for use in water recovery from soluble coffee product manufacturing wastewater*. [en línea] Clean Techn Environ Policy 20, 1791–1803 (2018). Fecha de consulta [22 de abril del 2022] <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1569-4>. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-018-1569-4>.

## ANEXOS

### MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN

#### ANEXO 1. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA DEL CAFÉ. REVISIÓN SISTEMÁTICA 2022.

CATEGORÍA DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	SUBCATEGORÍAS	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
AGUAS RESIDUALES DE CAFÉ.	Efluente sin tratamiento cargado con contaminantes, lo que indica que es necesario aplicar técnicas de tratamiento (Ibarra et al, 2018)	Las aguas residuales provenientes de la industria del café, contienen compuestos que alteran las características normales del agua y suelo (Ijanu et al, 2019)	Características de las aguas residuales provenientes de la industria del café.	pH Cafeína Oxígeno disuelto Calcio Nitrógeno total Conductividad eléctrica. Dbo5 Dqo Turbidez	mg/L Ordinal
VALORIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES	Aplicar procesos de transformación para las aguas residuales de café	Generación de bebidas con cafeína, riego con aplicación de nutrientes,	Fertiirrigación Biocombustibles Bebidas	Carbono orgánico pH Cafeína Azucares	Ordinal



	genera valor, lo que dispone su re-utilización y reaprovechamiento. (Franca et al, 2019)	alimentación de torres de enfriamiento, generación de biocombustibles.			
TÉCNICAS DE TRATAMIENTO.	Procesos que se utilizan en las aguas residuales que han sido alteradas Gardiman et al (2022)	Su aplicación eleva los niveles de pH, disminuyen Dbo5, Dqo, filtra, precipita contaminantes sólidos, reduce color y genera biocombustibles.	Tratamientos: Físico-químicos biológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Osmosis inversa</li> <li>Intercambio iónico</li> <li>Digestión anaerobia</li> <li>Fitorremediación</li> <li>Ensayos basados en inóculos</li> <li>Oxidación foto catalítica</li> <li>Oxidación de fenton</li> <li>Coagulación/floculación</li> </ul>	Ordinal