

**UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA
SELVA CENTRAL JUAN SANTOS ATAHUALPA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DESPULPADO Y
LAVADO DE CAFÉ (*Coffea*) MEDIANTE CELDAS DE COMBUSTIBLE
MICROBIANA PARA ANEXO CERRO EL PICAFLOR 2024”**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

AUTOR

Isaac Anthony, CHURAMPI ROZALES

ASESOR

Mg. Franco, AGUILAR ROJAS

Chanchamayo, Perú

2025

AGRADECIMIENTO

Se agradece, en primer término, a Dios y a la familia por el apoyo moral brindado, el cual fue fundamental para mantener la motivación y culminar de manera satisfactoria los estudios. Asimismo, se desea expresar un reconocimiento especial al asesor de tesis, Mg. Franco Aguilar Rojas, por su invaluable orientación durante el desarrollo del trabajo. Se extiende el agradecimiento a los docentes que, con generosa disposición, dedicaron tiempo y aportaron observaciones clave para mejorar y sustentar la investigación. En particular, se destaca la contribución de una docente quien brindó asesoría oportuna durante todo el proceso. Finalmente, se agradece a la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por brindar el marco institucional para esta formación. A todos ellos, se les expresa profunda gratitud por haber hecho posible demostrar que, con voluntad y perseverancia, se pueden alcanzar las metas propuestas.

DEDICATORIA

Esta investigación se dedica, en primer lugar, a mis padres y hermanos, quienes, ante toda circunstancia, han ofrecido un apoyo incondicional para el logro de mis metas. Se dedica también a los docentes que, con sus conocimientos y correcciones, impulsaron mi formación como investigador y persona, siendo fundamentales en la toma de decisiones clave durante este trabajo. Por último, y de manera muy especial, se dedica a la memoria de mi padre, David Enrique Churampi Capcha, a quien se recuerda como una persona excepcional, siempre dispuesta a tender la mano a quien más lo necesitaba. A pesar de las adversidades de su niñez, supo entregar lo mejor de sí a sus hijos y a todos los que lo rodeaban. Su ejemplo permanece como un

RESUMEN

El efluente residual generado durante el procesamiento del café (*Coffea arabica spp*) representa un desafío medioambiental vigente que aqueja a al anexo Cerro el Picaflor, constituyendo una fuente contaminante de importancia para el CC.PP Kivinaki. En consecuencia, la presente investigación tiene como objetivo determinar la eficacia del tratamiento de las aguas residuales provenientes del procesamiento del café mediante la aplicación de la técnica de Celdas de Combustible Microbiana (CCM) en el Anexo Cerro el Picaflor 2024, ubicado en el distrito de Perené, situado en la selva central del Perú. Para ello, se llevaron a cabo ensayos a escala de laboratorio empleando las CCM con diferentes cantidades de electrodos (6, 11 y 17 electrodos de 9 cm² de área superficial) y diversos diámetros de la Membrana de Intercambio de Protones (MIP) (26.7, 33.4 y 48.3 mm). La evaluación se realizó durante 72 horas con el objetivo de determinar la reducción de los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Solidos Suspendidos Totales (SST). Como resultado del proyecto logramos observar una clara mejor remoción de contaminantes en el tratamiento T6 debido a una adecuada configuración en su sistema con una remoción de DBO de 82.4% y de SST de 81.41% y a este le sigue el tratamiento T5 y T3. En conclusión, en el desarrollo del tratamiento se logró obtener resultados favorables con un diámetro MIP de 33.4 y con 17 electrodos en su configuración.

Palabras Clave: Membrana de Intercambio Protónico, Pre tratamiento, Despulpado y Lavado de Café, Electrodos de Carbón

ABSTRACT

The wastewater generated during coffee (*Coffea arabica spp*) processing poses an ongoing environmental challenge that affects the community of anexo Cerro el Picaflor, representing a significant source of pollution for the rural settlement of Kivinaki. Consequently, this research aims to evaluate the effectiveness of treating coffee processing wastewater through the application of the Microbial Fuel Cell (MFC) technique in anexo Cerro el Picaflor, 2024, located in the district of Perené, in the central jungle of Peru. Laboratory-scale experiments were conducted using MFCs with varying numbers of electrodes (6, 11, and 17 electrodes with a surface area of 9 cm² each) and different diameters of Proton Exchange Membranes (PEM) (26.7, 33.4, and 48.3 mm). The evaluation was carried out over a 72-hour period to determine the reduction in Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Total Suspended Solids (TSS). The results revealed a notably higher contaminant removal efficiency in treatment T6, attributed to its optimal system configuration, achieving a BOD reduction of 82.4% and a TSS reduction of 81.41%, followed by treatments T5 and T3. In conclusion, the treatment demonstrated favorable results when using a PEM diameter of 33.4 mm combined with 17 electrodes in its configuration.

Keywords: Proton Exchange Membrane, Pretreatment, Coffee Pulping and Washing, Carbon Electrodes

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE GRAFICOS	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Fundamentación del problema	3
1.2. Formulación del problema	4
1.2.1. Problema general.....	4
1.2.2. Problemas específicos	4
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Definición y operacionalización de variables	5
1.5. Hipótesis.....	6
1.5.1. Hipótesis general.....	6
1.5.2. Hipótesis específicas	6
1.6. Justificación.....	6
1.6.1. Social.....	6
1.6.2. Económico.....	7
1.6.3. Ambiental.....	7
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes	8
2.1.1. Internacionales	8
2.1.2. Nacionales	10
2.2. Bases teóricas	12
2.2.1. Situación mundial de las aguas residuales	12
2.2.2. Situación en el Perú de aguas residuales	15
2.2.3. Afectación de la exportación de café peruano al PBI	18
2.2.4. Aguas residuales del procesamiento del café.....	20

2.2.5. Celdas de combustible microbiana (CCM)	22
CAPÍTULO III METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	28
3.1. Ámbito de estudio	28
3.2. Nivel, tipo y diseño de investigación	29
3.2.1. Nivel de investigación.....	29
3.2.2. Tipo de investigación	29
3.2.3. Diseño de investigación	29
3.3. Población y muestra	30
3.3.1. Población.....	30
3.3.2. Muestra.....	31
3.4. Procedimientos, técnicas y muestreo.....	31
3.4.1. Diseño, materiales y elaboración de las CCM	34
3.4.2. Obtención de muestra para adaptación del biofilm	44
3.4.3. Optimización del pH del agua residual para desarrollo del biofilm.....	44
3.4.4. Adaptación al ambiente de las biopelículas	45
3.4.5. Obtención de muestra para el tratamiento.....	47
3.4.6. Procedimiento de pre tratamiento antes del ingreso al diseño de CCM.....	48
3.4.7. Optimización del pH del agua residual	50
3.4.8. Optimización de electrolitos en cátodo	52
3.4.9. Etapa de funcionamiento de las CCM.....	53
3.4.10. Análisis de los tratamientos	54
3.5. Análisis de datos.....	57
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES	58
4.1. Presentación de resultados y discusiones	58
4.1.1. Parámetros físico-químicos antes del ingreso al sistema de las aguas residuales del desulpado y lavado de café provenientes del Anexo Cerro el Picaflor.	58
4.1.2. Efecto de la cantidad de electrodos y diámetro de membran de intercambio de protones en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno en el tratamiento de aguas residuales del desulpado y lavado de café con celdas de combustible microbiana.....	67
4.1.3. Efecto de la cantidad de electrodos y diámetro de membran de intercambio de protones en la reducción de los sólidos suspendidos totales en el tratamiento de aguas residuales del desulpado y lavado de café con celdas de combustible microbiana.	72
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
ANEXOS.....	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Producción de aguas residuales y la capacidad de tratamiento de cada región del Perú.	16
Figura 2 Actividades antropogénicas de cuencas aledañas a la provincia de Chanchamayo.....	17
Figura 3 Celdas de combustible microbiana (CCM).....	23
Figura 4 Ubicación del anexo Cerro el Picaflor.....	28
Figura 5 Flujograma de desarrollo metodológico.....	33
Figura 6 Membran de intercambio de protones los diámetros aplicados.....	35
Figura 7 Cantidad de Electrodos Aplicable a los Tratamientos.....	36
Figura 8 Desarrollo de la elaboración física del prototipo de Celdas de Combustible microbiana.....	37
Figura 9 Desarrollo de prueba de transferencia de líquidos de ánodo a cátodo.....	38
Figura 10 Proceso de esterilización de los electrodos.....	40
Figura 11 Proceso de desarrollo de la membrana de intercambio protónico.....	42
Figura 12 Diseño de Celdas de Combustible Microbiana (CCM).....	43
Figura 13 Medición de pH para su optimización y desarrollo óptimo del sistema.....	45
Figura 14 Desarrollo de 15 días de adaptación de los electrodos al medio microbiano.....	46
Figura 15 Desarrollo de las celdas de combustible microbiana para los 7 días de adaptación.....	47
Figura 16 Toma de muestra del agua residual para los tratamientos.....	48
Figura 17 Proceso de oxidación de agua residual para reducción de carga orgánica.....	50
Figura 18 Agua residual del despulpado y lavado de café pre tratada con NaOH.....	51
Figura 19 Inicio de la etapa de tratamiento.....	54
Figura 20 Toma de muestra del residual del lavado y despulpado de café.....	106
Figura 21 Análisis toma de muestra SST de muestras iniciales.....	107
Figura 22 Proceso de formación de MIP para los tratamientos.....	107
Figura 23 Formación del electrodo de carbón y unión al cable de cobre.....	108
Figura 24 Término del diseño de las CCM para el proceso de tratamiento.....	108
Figura 25 Etapa preliminar antes del inicio del tratamiento.....	109
Figura 26 Desarrollo de los tratamientos luego de las 72 horas.....	109
Figura 27 Toma de muestra de los tratamientos.....	110
Figura 21 Análisis de laboratorio particular Grupo Jhac.....	110
Figura 29 Análisis de laboratorio Experimento.....	113
Figura 30 Análisis de laboratorio Experimento.....	114
Figura 31 Análisis de laboratorio Experimento.....	115
Figura 32 Análisis de laboratorio Experimento.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	5
Tabla 2 Aguas residuales provenientes de los países más contaminados en representación a su fuente contaminante y caracterización de parámetros fisicoquímicos de aguas residuales a nivel mundial....	13
Tabla 3 Continentes con mayor área de cultivo orgánico en el 2021 y su potencial crecimiento.....	18
Tabla 4 Áreas de producción orgánica de café por regiones en el Perú en el 2021.	19
Tabla 5 Exportación de Café Orgánico y Aportación Económica de los Años 2012 al 2021.....	20
Tabla 6 Tabla comparativa de tipos de celdas de combustible microbiana	24
Tabla 7 Tipos de diseño de las CCM usadas en escala de laboratorio.	25
Tabla 8 Variables Independientes y Dependientes de Investigación.	30
Tabla 9 Material y Herramientas para la elaboración de Celdas de Combustible Microbiana.	34
Tabla 10 Cálculo de concentración de hidróxido de sodio para esterilización de electrodos	39
Tabla 11 Cálculo de concentración de ácido clorhídrico para esterilización de electrodos	39
Tabla 12 Cálculo de Concentración de Hidróxido de Sodio para pH optimo.	51
Tabla 13 Cálculo de concentración de electrolitos en la cámara catódica de NaCl.	52
Tabla 14 Cálculo de concentración de electrolitos en la cámara catódica de NaHCO ₃	53
Tabla 15 Parámetros fisicoquímicos iniciales del agua residual sin pre tratamiento.	59
Tabla 16 Parámetros físico-químicos en la etapa de oxidación.	60
Tabla 17 Parámetros físico-químicos en la etapa de pre tratamiento.	62
Tabla 18 Remoción promedio del parámetro demanda bioquímica de oxígeno en el agua residual. ...	68
Tabla 19 Análisis de varianza en la demanda bioquímica de oxígeno.....	70
Tabla 20 Remoción promedio del parámetro solidos suspendidos totales en el agua residual.	73
Tabla 21 Análisis de varianza en los sólidos suspendidos totales.....	75
Tabla 22 Resultados del parámetro DBO en el agua residual para los 9 tratamientos.....	111
Tabla 23 Resultados del parámetro SST en el agua residual para los 9 tratamientos.	112

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1 Parámetros iniciales de demanda bioquímica de oxígeno comparativa con los límites máximos permisibles del IFC para procesamiento de bebidas y alimentos.	63
Gráfico 2 Parámetro demanda bioquímica de oxígeno luego del proceso de oxidación comparativa con los límites máximos permisibles del IFC para procesamiento de bebidas y alimentos.	64
Gráfico 3 Parámetro demanda bioquímica de oxígeno luego del proceso de adición de NaOH con los límites máximos permisibles del IFC para procesamiento de bebidas y alimentos.	65
Gráfico 4 Parámetro solidos suspendidos totales iniciales con los límites máximos permisibles del IFC para procesamiento de bebidas y alimentos.	65
Gráfico 5 Parámetro solidos suspendidos totales luego del proceso de oxidación con los límites máximos permisibles del IFC para procesamiento de bebidas y alimentos.	66
Gráfico 6 Parámetro solidos suspendidos totales luego del proceso de adición de NaOH con los límites máximos permisibles del IFC para procesamiento de bebidas y alimentos.	67
Gráfico 7 Normal P-Plot. Para determinación de parámetros de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del efluente.	69
Gráfico 8 ANOVA de dos factores para la determinación del efecto de las variables en la demanda bioquímica de oxígeno	72
Gráfico 9 Normal P-Plot. Para determinación de parámetros de solidos suspendidos totales del efluente después del tratamiento.	74
Gráfico 10 ANOVA de dos factores determinación del efecto de las variables en los sólidos suspendidos totales.	77

INTRODUCCIÓN

A nivel nacional se observó un crecimiento exponencial en la producción de café, registrándose para el año 2021 un incremento de 140 mil hectáreas cultivadas. Este avance permitió que el Perú se ubicara entre los diez principales países productores de café a nivel mundial, siendo la región Junín la segunda con mayor superficie cultivada (Hijar, 2022). A partir de esta información, se confirmó que en la región Junín existía una considerable presencia de contaminantes orgánicos provenientes de aguas residuales domésticas y agropecuarias, las cuales eran vertidas en las cuencas de los ríos Perené, Chanchamayo, Ene, Mazamari, entre otros. Este panorama constituyó un punto de partida para la toma de decisiones orientadas a brindar soluciones en el tratamiento de las aguas residuales generadas durante el lavado y despulpado del café (Málaga, 2023).

La investigación buscó brindar una solución efectiva al tratamiento de las aguas residuales generadas durante el procesamiento del café en el anexo Cerro el Picaflor, debido a que la provincia de Chanchamayo se caracterizaba por la producción de café de alta calidad, considerado uno de los productos más representativos a nivel nacional. Este reconocimiento otorgó una importante oportunidad económica a nivel provincial, impulsando la exportación de dicho producto al extranjero (Correo Noticias, 2023). Sin embargo, este desarrollo también promovió una producción masiva acompañada de una inadecuada gestión de los residuos derivados del procesamiento, principalmente de las aguas residuales, las cuales eran dispuestas de manera incorrecta y sin ningún tipo de tratamiento (Correo Noticias, 2023).

La tecnología empleada para el tratamiento de aguas residuales provenientes del procesamiento del café son las Celdas de Combustible Microbiana (CCM), esta tecnología es muy utilizada principalmente para la generación de bioenergía, pero a su vez es utilizado para el tratamiento de aguas residuales que son muy efectivas para la remoción de materia orgánica (Mahurede et al., 2023). Su actividad depende mucho del metabolismo microbiano y la aplicación de los microbios para un tratamiento eficaz (Sorgato et al, 2023).

El sustrato utilizado en el tratamiento de aguas residuales provenía del procesamiento del café están compuestos por pulpa y mucílago, elementos caracterizados por un pH ácido, una elevada concentración de materia orgánica y sólidos disueltos, los cuales, durante su descomposición, generaban olores desagradables debido a la oxidación de la materia orgánica (Mahurede et al, 2023) . Los valores obtenidos en su caracterización resultaron superiores a los establecidos por los Límites Máximos Permisibles (LMP) (Montero, 2022).

La investigación se enfocó en el tratamiento de aguas residuales generadas durante el procesamiento del café mediante la aplicación de CCM en el anexo Cerro el Picaflor. Esta

tecnología, considerada emergente en el campo del tratamiento de aguas residuales, demostró eficiencia en la remoción de contaminantes y permitió cumplir con los estándares establecidos, presentando además una alta viabilidad económica al requerir menores costos en comparación con sistemas convencionales (Mamani, 2020).

De este modo, la investigación demostró que existían métodos de tratamiento sostenibles capaces de brindar soluciones viables en el anexo Cerro el Picaflor, constituyendo un enfoque esencial para el desarrollo de la provincia de Chanchamayo y, a la vez, un punto de partida para la búsqueda de técnicas sostenibles orientadas a la agricultura. Para ello, se llevaron a cabo experimentos a nivel de laboratorio con CCM, mediante los cuales se realizó una comparación con los LMP establecidos por la normativa del procesamiento de alimentos y bebidas del International Finance Corporation (IFC), a fin de contrastar los valores iniciales de la investigación con los resultados finales obtenidos en los nueve tratamientos. Dichos tratamientos variaron en el número de electrodos y en el diámetro de la Membrana de Intercambio de Protones (MIP). Los parámetros evaluados fueron los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

El objetivo principal de la investigación evaluó la efectividad del tratamiento de las aguas residuales de café (*Coffea arabica spp*) mediante el uso de CCM en el anexo Cerro el Picaflor en el año 2024. Para ello, se determinaron inicialmente los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales provenientes del anexo y, posteriormente, se evaluó el efecto de la cantidad de electrodos en la reducción de dichos parámetros, así como la influencia de la variabilidad del diámetro de la MIP en la eficiencia del tratamiento.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Fundamentación del problema

Las aguas residuales generadas durante el proceso de despulpado y lavado del café constituyen una de las principales fuentes de contaminación en las zonas productoras. En este proceso, la pulpa y el mucílago son los residuos perjudiciales por la liberación de compuestos tóxicos y ácidos, los cuales contaminan aproximadamente 20, 000 L de agua por cada tonelada de café procesada. Estas aguas suelen ser vertidas de manera directa a ríos y quebradas, ocasionando un desequilibrio y graves impactos biológicos en ecosistemas acuáticos (Ruiz-Nájera et al., 2021).

Desde el punto de vista fisicoquímico y microbiológico, estas aguas presentan un pH ácido (≈ 3.8), valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO) por encima de los LMP y una alta concentración de sólidos disueltos y materia orgánica. Estos factores favorecen el crecimiento de biomasa y la disminución del oxígeno disuelto, lo que afecta la supervivencia de la fauna acuática. Asimismo, generan olores ofensivos y presentan efectos fitotóxicos y citotóxicos que inhiben la germinación de cultivos (Torres-Valenzuela et al., 2019). A nivel microbiológico, se han identificado microorganismos mesofílicos anaerobios y aerobios incluyendo estafilococos y coliformes, lo que representa un riesgo sanitario adicional. Cabe señalar que, aunque existen estándares internacionales como los del IFC para efluentes de la industria alimentaria, en el caso de los residuos del café en el Perú aún no se cuenta con una regulación específica (Montero, 2022).

En el contexto nacional, el Perú es el segundo país con mayor superficie cultivada de café a nivel mundial, representando el 22.69 % del total de hectáreas. Las regiones de Junín y Cajamarca son las principales productoras, con extensiones de 67 895,52 ha y 64 224,57 ha, respectivamente (Hijar, 2022). Sin embargo, la contaminación agrícola y pecuaria no ha sido atendida con prioridad, y cuencas como las de los ríos Perené, Paucartambo, Chanchamayo, Tulumayo y Ene presentan graves problemas de calidad de agua debido a descargas domésticas y agrícolas (Málaga, 2023). En el anexo Cerro el Picaflor, distrito de Perené, se estima que 40 productores de café vierten directamente sus aguas residuales a cuerpos de agua cercanos, lo que ha generado una marcada disminución del oxígeno disuelto y la proliferación de microorganismos, afectando la flora y fauna local.

Frente a esta problemática, resulta imprescindible explorar alternativas sostenibles para el tratamiento de estas aguas residuales. Entre las tecnologías

emergentes destacan las CCM, un sistema bioelectroquímico que combina la remoción de contaminantes con la generación de energía eléctrica. Este sistema funciona gracias a la acción de bacterias que oxidan la materia orgánica, liberando electrones que son transferidos al ánodo y posteriormente al cátodo a través de un circuito externo, con la mediación de una MIP (Biswas & Chakraborty, 2023).

Las CCM han sido aplicadas con éxito en países como China, México y Colombia, mostrando resultados eficaces en el tratamiento de distintos efluentes industriales y municipales (Santillan & Alvarez, 2018). Sin embargo, en países en desarrollo, como el Perú, aún es necesario profundizar en estudios experimentales que validen su eficiencia y adapten su diseño a contextos locales (Sorgato et al., 2023).

En este marco, la presente investigación propone evaluar la aplicación de las CCM en el tratamiento de aguas residuales del despulpado y lavado de café en el anexo Cerro el Picaflor, considerando como variables de diseño el número de electrodos y el diámetro de la MIP. El objetivo es determinar la configuración más eficiente para la remoción de SST y DBO, contribuyendo a la generación de alternativas tecnológicas sostenibles para el sector cafetalero peruano (Kumar & Jujjavarapu, 2023).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la efectividad del tratamiento de las aguas residuales del despulpado y lavado de café (*Coffea arabica spp*) con CCM para el anexo Cerro el Picaflor 2024?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos iniciales de las aguas residuales del despulpado y lavado de café provenientes del anexo Cerro el Picaflor?
- ¿Cuál es el efecto de la cantidad de electrodos y diámetro de MIP en la reducción del DBO en el tratamiento de aguas residuales del despulpado y lavado de café con CCM?
- ¿Cuál es el efecto de la cantidad de electrodos y diámetro de MIP en la reducción del SST en el tratamiento de aguas residuales del despulpado y lavado de café con CCM?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la efectividad del tratamiento de las aguas residuales del despulpado y lavado de café (*Coffea arabica spp*) con CCM en el anexo Cerro el Picaflor 2024.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros fisicoquímicos iniciales de las aguas residuales del despulpado y lavado de café provenientes del anexo Cerro el Picaflor.
- Determinar el efecto del número de electrodos y diámetro de MIP en la reducción del DBO en el tratamiento de aguas residuales del despulpado y lavado de café con CCM.
- Determinar el efecto del número de electrodos y diámetro de MIP en la reducción del SST en el tratamiento de aguas residuales del despulpado y lavado de café con CCM.

1.4. Definición y operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Independiente:	En la CCM, el cátodo participa en la reacción con el oxígeno ambiental, actuando como aceptor de electrones gracias a su alto potencial de oxidación. Para su selección se consideran criterios como disponibilidad, bajo costo, sostenibilidad y la no generación de subproductos contaminantes, dado que el resultado final de la reacción es agua (Mamani Zevallos, 2020). MIP: Permite exclusivamente el paso de protones desde la cámara anódica hacia la catódica, lo que facilita la reacción del oxígeno molecular con los electrones transferidos desde el ánodo, formando agua y cerrando el ciclo del sistema (Do et al., 2018).	<p>VI1. Cantidad de electrodos en las cámaras de las celdas de combustible microbiana (CCM).</p> <p>VI2. Diámetro de la Membrana de Intercambio de Protones</p>	<p>Nº de electrodos</p> <p>Diámetro del membra de intercambio de protones</p>	<p>Unidad</p> <p>mm</p>
Dependiente: Reducción de parámetros físicos y químicos de las aguas residuales de café	Un objetivo central en el tratamiento de aguas residuales de café es reducir los parámetros que reflejan la calidad del agua y su nivel de contaminación. Los parámetros físicos incluyen características	Parámetros físicos y químicos	<p>solidos en suspensión totales (SST) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO)</p>	<p>mg/L y mg/L</p>

como color y temperatura; los químicos abarcan pH, conductividad, DQO, DBO y oxígeno disuelto; mientras que los biológicos consideran la presencia de organismos como los nitritos. Su disminución, mediante procesos físicos, químicos o biológicos, mejora la calidad del agua y previene impactos negativos en el ambiente y en la salud humana (Torres Valenzuela et al., 2019).

1.5. Hipótesis

1.5.1. *Hipótesis general*

La efectividad del tratamiento T6 de las aguas residuales de café permiten la mejora de los parámetros de SST y DBO porque no superan los LMP del procesamiento de alimentos y bebidas del IFC.

1.5.2. *Hipótesis específicas*

- Los parámetros fisicoquímicos iniciales de las aguas residuales de café (*Coffea arabica spp*) analizados superan los LMP del procesamiento de alimentos y bebidas del IFC en los parámetros de SST y DBO por lo que requieren un tratamiento con CCM.
- Existe efecto de la cantidad de electrodos y diámetro de MIP en la reducción del DBO en el tratamiento de aguas residuales del despulpado y lavado de café con CCM.
- Existe efecto de la cantidad de electrodos y diámetro de MIP en la reducción del SST en el tratamiento de aguas residuales del despulpado y lavado de café con CCM.

1.6. Justificación

1.6.1. *Social*

A nivel social, el agua y la conservación de los suelos representan recursos fundamentales. En el anexo Cerro el Picaflor, provincia de Chanchamayo, estos recursos son esenciales porque constituyen la base de la producción agrícola de los pobladores.

Por ello, resulta prioritario preservar su calidad y evitar la contaminación generada por el procesamiento del café.

En este contexto, la presente investigación propone una alternativa de solución aplicable a los productores del anexo Cerro el Picaflor, quienes realizan el proceso desde la cosecha. La implementación del sistema contribuirá al tratamiento adecuado de las aguas residuales del café, lo que permitirá mejorar la calidad de vida de la población mediante prácticas sostenibles en su actividad productiva.

1.6.2. Económico

A nivel económico, es importante destacar la necesidad de reducir los gastos monetarios en el desarrollo de la investigación. En este proyecto, los costos son relativamente bajos, ya que los materiales empleados no representan un gasto significativo (Mamani, 2020). La propuesta se caracteriza por su bajo costo gracias al uso de insumos de fácil acceso, como baldes de polietileno para las cámaras anódica y catódica, tubos de PVC para la membrana de intercambio de protones, esponjas de grafeno como electrodos (ánodos y cátodos) y resistores de energía como colectores de corriente.

Asimismo, se realizaron experimentos a nivel de laboratorio considerando 9 tratamientos, en los cuales se evaluaron dos variables independientes: el número de electrodos y el diámetro de la MIP, con el fin de determinar su efecto en la eficiencia del sistema.

1.6.3. Ambiental

En el enfoque ambiental, la presente investigación plantea una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de café, contribuyendo a la reducción del impacto generado por los productores del anexo Cerro el Picaflor, quienes dependen de este producto como recurso económico. La propuesta consiste en un sistema que no solo asegura un manejo más seguro de estas aguas residuales, sino que también mejora la calidad de vida de quienes lo implementen, al ofrecer beneficios adicionales como la producción de bioenergía (Mahurede et al., 2023).

Asimismo, la investigación resalta la importancia de establecer un tratamiento sostenible, en el que las aguas residuales de café puedan convertirse en un recurso útil, mitigando así los problemas ambientales que surgen cuando estas son vertidas sin control al medio. En este sentido, es fundamental promover un manejo adecuado de los tratamientos para prevenir daños ambientales a largo plazo, especialmente en los suelos destinados a cultivos (Zevallos, 2020).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Mkilima et al. (2024), en Tanzania, realizaron el estudio titulado “*Carwash wastewater treatment through the synergistic efficiency of microbial fuel cells and metal-organic frameworks with graphene oxide integration*”, en el cual se evaluó la integración de las CCM con Estructuras Metal-Orgánicas Frameworks (MOF) mejoradas con óxido de grafeno, con un enfoque específico en el tratamiento de efluentes provenientes del lavado de vehículos. La investigación consideró tres componentes: (i) el desempeño de las CCM de manera aislada, (ii) la evaluación de estructuras metálicas en el cátodo con carga orgánica en el ánodo y (iii) el enfoque combinado de ambos componentes. Los resultados iniciales mostraron una densidad de potencia de 0.095 mW y una densidad de corriente de 2.8 mA/m² durante las primeras 2 horas; posteriormente, a las 18 horas, se alcanzaron valores máximos de 46.2 mA/m² y 21.62 mW/m². Finalmente, tras 48 horas de operación, los valores se estabilizaron en 17.4 mA/m² y 11.28 mW/m². En particular, el tratamiento combinado superó a los tratamientos individuales, especialmente en la remoción de metales pesados como zinc, níquel y cadmio, alcanzando tasas de eliminación entre 92.6% y 96.5%. Asimismo, este tratamiento logró una eliminación del 99.2 % de la DBO, así como una remoción del 100 % de la turbidez y de los SST. En comparación, las CCM operadas de forma individual alcanzaron una eliminación del 75.1 % de DBO y del 79.2 % de SST. En conclusión, el estudio demostró que el tratamiento combinado de CCM con estructuras metal-orgánicas presenta un alto potencial para el tratamiento de aguas residuales, al permitir la remoción eficiente de diversos contaminantes orgánicos e inorgánicos.

Tanaka et al. (2024), en Japón, desarrollaron el estudio titulado “*Anode biomass rather than soluble organic matter is fuel for electricity production in microbial fuel cell at longer hydraulic retention time*”, en el cual se propuso un método novedoso para el cálculo independiente de la eliminación de la materia orgánica y la generación de electricidad en una CCM. Dicho método empleó la concentración de materia orgánica como única variable de entrada, lo que facilitó la predicción de la generación de electricidad con una eficiencia coulombica variable. El sistema experimental presentó un diseño tubular con un núcleo de aire, rodeado por un cátodo a base de carbono y una membrana de tejido de grafito, además de ánodos conformados por escobillas de carbón.

Los resultados obtenidos evidenciaron una reducción de la DQO de 180 a 50 mg/L y de la DBO de 84 a 15 mg/L en un tiempo aproximado de 35 horas. El valor final de DBO cumplió con los estándares japoneses de vertimiento de aguas residuales. Finalmente, se concluyó que la reducción de la distancia entre electrodos y el incremento del área superficial específica son factores clave para mejorar el desempeño y la eficiencia operativa de las CCM.

Eslami et al. (2024), en Irán, desarrollaron el estudio titulado “*Nano-pumice derived from pumice mine waste as a low-cost electrode catalyst for microbial fuel cell treating edible vegetable oil refinery wastewater for bioenergy generation and reuse*”, cuyo objetivo fue el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria de refinación de aceites vegetales mediante una CCM, utilizando nanopómez derivada de residuos de minas de pómez como catalizador del electrodo anódico. Para ello, se evaluaron dos tratamientos: la CCM-1, considerada como tratamiento testigo sin modificación del electrodo, y la CCM-2, en la cual se aplicó el catalizador de nanopómez al electrodo anódico. Los resultados mostraron que la CCM-1 alcanzó una remoción del 75.3 % de SST y del 67 % de Sólidos Disueltos Totales (SDT); mientras que la CCM-2 presentó una mayor eficiencia, con una remoción del 81 % de SST y del 73 % de SDT. El estudio evidenció que el desempeño de la CCM-2 fue superior al del tratamiento testigo, atribuible al incremento significativo del área superficial del electrodo anódico. En conclusión, las CCM modificadas con nanopómez presentan un desempeño óptimo para el tratamiento de aguas residuales, constituyéndose en una alternativa eficiente y de bajo costo para la remoción de contaminantes y la generación de bioenergía.

Debajyoti et al. (2023) , en la India, desarrollaron el estudio titulado “*Bioelectricity production and bioremediation from sugarcane industry wastewater using microbial fuel cells with activated carbon cathodes*”, en el cual evaluaron la eficiencia del carbón activado derivado de biomasa y de hilos de escobilla de carbón como materiales catódicos en CCM. La caracterización del material catódico mediante análisis Brunauer Emmett Teller (BET) evidenció un área superficial específica de 230.131 m²/g, lo que favoreció la reducción de oxígeno en el sistema. Para el desarrollo experimental se emplearon aguas residuales provenientes de una planta procesadora de azúcar, evaluándose simultáneamente la producción de bioelectricidad y la remoción de contaminantes a lo largo de múltiples ciclos operativos. El rendimiento del sistema se mantuvo estable, lo cual fue atribuido a la ausencia de grupos funcionales de ácido carboxílico en la superficie del cátodo y al adecuado desarrollo de la biopelícula

bacteriana en el ánodo. Los resultados mostraron un voltaje de circuito abierto de 870 ± 20 mV, una densidad de potencia de 563 ± 30 mW/m² y una densidad de corriente de 0.79 mA/m². Asimismo, la carga contaminante inicial del agua residual, con una DQO de 1201 ± 60 mg/L, se redujo significativamente, alcanzándose una eficiencia promedio de remoción del 81 % utilizando hilos de escobilla de carbón y del 86 % cuando se empleó carbón activado como material catódico, particularmente en la remoción del parámetro DBO. Finalmente, el análisis FTIR de los cátodos reveló la presencia de heteroátomos en la matriz de carbono, lo que contribuyó a una mayor estabilidad química de la superficie del electrodo y a un mejor desempeño electroquímico del sistema.

2.1.2. Nacionales

Huamán, (2023), en Tingo María, desarrolló el estudio titulado “*Generación de energía eléctrica a partir de aguas residuales de la industria de cacao mediante celdas de combustible microbianas*”, en el cual se demostró la viabilidad de la generación de energía eléctrica y la remoción de parámetros químicos a partir de aguas residuales del procesamiento de cacao. Para ello, se empleó agua residual proveniente del lavado de cacao de la Cooperativa Agroindustrial Alto Huallaga, caracterizada por presentar un contenido moderado de materia orgánica y un pH ácido. Las muestras fueron analizadas y evaluadas mediante diseños experimentales a nivel de laboratorio, utilizando botellas de polietileno de 2.5 L, tubos de PVC, papel filtro, agar y electrodos de cobre y zinc. Los ensayos se realizaron bajo tiempos de retención hidráulica de 72, 48 y 24 horas, correspondientes a los tratamientos T1, T2 y T3, respectivamente. Los resultados evidenciaron un desempeño favorable del sistema, destacándose el tratamiento T1 con una remoción de la DBO del 83.46 % y la mayor eficiencia energética, alcanzando un voltaje de 1248 mV. En comparación, el tratamiento T2 registró un voltaje de 765 mV, mientras que el tratamiento T3 alcanzó 440 mV. En conclusión, el estudio determinó que el tratamiento T1 presentó el mejor desempeño en términos de generación de energía eléctrica y eficiencia en la remoción de materia orgánica.

Montero (2022), en Huancayo, desarrolló el estudio titulado “*Reducción de materia orgánica utilizando una celda de combustible microbiana para el tratamiento de aguas urbanas del distrito de Chupuro*”, en el cual se evaluó la disminución de la materia orgánica en función del tiempo de tratamiento y del pH, mediante el uso de una CCM aplicada al tratamiento de aguas residuales municipales del distrito de Chupuro. El diseño experimental consideró un arreglo factorial con dos factores de control: tiempo de tratamiento y pH. Se evaluaron tres niveles de pH (5, 6 y 7) y tres tiempos de

tratamiento (7, 14 y 21 días). Los resultados evidenciaron que la combinación de pH 6 y un tiempo de tratamiento de 21 días permitió alcanzar la mayor eficiencia en la remoción de materia orgánica, con reducciones del 79.84 % en la DQO y del 81.13 % en la DBO, valores que se encuentran por debajo de los LMP establecidos en el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM. En conclusión, el estudio confirmó que la aplicación de celdas de combustible microbianas en el tratamiento de aguas residuales municipales contribuye significativamente a la reducción de la carga orgánica, evidenciando su potencial como tecnología alternativa para el saneamiento urbano.

Cachay et al., (2022), en Trujillo, desarrollaron el estudio titulado “*Tratamiento de efluentes de una granja porcina mediante bioceldas para la generación de bioelectricidad*”, cuyo objetivo fue evaluar la eficiencia y el desempeño de bioceldas en el tratamiento de aguas residuales y en la generación de bioelectricidad a partir de efluentes provenientes de granjas porcinas. Para ello, se implementaron tres bioceldas de doble cámara, las cuales fueron evaluadas en dos tratamientos durante un periodo de 13 días, bajo monitoreo horario del voltaje generado. En el primer tratamiento se emplearon microorganismos autóctonos presentes en el agua residual, mientras que en el segundo se utilizó estiércol vacuno como fuente de inóculo. Los resultados evidenciaron una baja biodegradabilidad del efluente; sin embargo, se alcanzaron remociones superiores al 80 % para el parámetro de DQO y del 67 % para la DBO. En cuanto a la generación de bioelectricidad, los valores obtenidos fueron inferiores a los reportados en otras investigaciones, registrándose un voltaje promedio de 200 mV y una eficiencia coulombica de 0.15. Finalmente, los autores concluyeron que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos en términos de remoción de DQO y DBO, evidenciando un comportamiento similar de las bioceldas bajo las condiciones evaluadas.

Pacheco & Zamata (2019) , en Lima, desarrollaron el estudio titulado “*Biodegradación de la materia orgánica y producción de bioelectricidad en celdas de combustible microbianas (CCM) a partir del agua residual doméstica – Lima*”, en el cual se evaluó la capacidad de las CCM para la degradación de la materia orgánica y la generación de bioelectricidad a partir de aguas residuales domésticas. El análisis consideró variaciones en el diseño de las celdas, principalmente en el área superficial de los electrodos (73, 112 y 153 cm²) y en la resistencia externa aplicada (50, 100 y 150 Ω). Los resultados evidenciaron que la configuración con un área superficial de electrodo de 153 cm² y una resistencia externa de 100 Ω permitió alcanzar las mayores eficiencias de remoción, logrando una eliminación del 82.6 % de la DBO y del 82.3 %

de la DQO. En conclusión, el tratamiento más eficiente correspondió a la CCM2, debido a su configuración óptima. Asimismo, el estudio confirmó que el incremento del área superficial del electrodo influye de manera significativa en el desempeño del sistema y en la eficiencia del tratamiento de aguas residuales mediante CCM.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Situación mundial de las aguas residuales

El agua representa un recurso natural importante para la supervivencia en la tierra. Su carácter y la calidad juega un papel importante en la determinación de dónde viven los seres humanos, además de su calidad de vida no siempre está disponible, a veces o en raras ocasiones hay una característica única para todos cuando es necesario usar. Por lo tanto, debe ser considerado un recurso con disponibilidad limitada y disponible para su uso (Gutierrez, 2019).

De este modo sabemos que desde siempre se reconoció a las aguas residuales como un producto de las actividades antropogénicas causadas por el hombre siendo utilizadas en para uso doméstico, industrial, agrícola y urbano. Para ello es importante incorporar sistemas de tratamiento de aguas residuales para la eliminación y reducción de contaminantes para poder ser devueltos al ambiente para su uso en distintos ámbitos. Las aguas residuales cobran gran importancia a nivel mundial ya que pertenece a un objetivo del desarrollo sostenible (ODS) 6, que se enfoca en la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y saneamiento para las personas (ONU, 2023).

A pesar de ello, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) señala que más del 80 % de las aguas residuales generadas en distintas partes del mundo son vertidas sin ningún tipo de tratamiento, lo que ocasiona múltiples impactos negativos a nivel ambiental, sanitario y económico. Asimismo, en el contexto actual, se evidencian factores determinantes como el cambio climático, el crecimiento demográfico, la urbanización acelerada y el desarrollo industrial, los cuales incrementan la demanda y la presión sobre los recursos hídricos. En consecuencia, esta situación hace cada vez más urgente la necesidad de aprovechar el potencial de las aguas residuales como una alternativa sostenible para la gestión del recurso hídrico (ONU, 2023).

Frente a esta problemática, la organización de las naciones unidas (ONU) declaró el año 2023 como el año internacional de las aguas residuales, con el objetivo de generar conciencia sobre la importancia de una gestión sostenible, así como de promover mejoras en el tratamiento y la reutilización de este recurso. En este sentido, resulta fundamental impulsar el incremento de inversiones orientadas al desarrollo de proyectos, fortalecer la cooperación en infraestructura y tecnologías para el tratamiento

de aguas residuales, y, de manera complementaria, reforzar la capacidad institucional, la regulación normativa y la participación activa de la sociedad (ONU, 2023).

En la **Tabla 2** se presentan los principales tipos de aguas residuales vertidas por los países con mayores niveles de contaminación, así como la medición de sus parámetros característicos y sus valores promedio.

En la **Tabla 2** se evidencia el rápido crecimiento de la población y el elevado uso del agua a nivel mundial en diversas actividades cotidianas. Este recurso es ampliamente utilizado en múltiples sectores, entre ellos la industria, la agricultura y las actividades domésticas. Como resultado de estas operaciones, se generan aguas residuales con cargas químicas y biológicas que, antes de su disposición final o posible reutilización, requieren un tratamiento adecuado. En este contexto, su gestión se convierte en una necesidad urgente, no solo en cumplimiento de los estándares internacionales, sino también como una medida de protección para las futuras generaciones y la sostenibilidad del recurso hídrico (Gutierrez, 2019).

Asimismo, las características de las distintas aguas residuales generadas a nivel mundial, junto con sus parámetros representativos, ponen en evidencia un problema global de carácter alarmante. En este sentido, se identifican como principales fuentes de contaminación hídrica aquellas provenientes de países con altos niveles de descarga de aguas residuales, tales como Grecia, Malasia, Arabia Saudita, Nigeria, Corea, Brasil e India. Entre las fuentes más relevantes se encuentran las aguas residuales textiles, las generadas por la producción de aceites y palma, las aguas residuales domésticas, municipales y las procedentes de la industria láctea. A partir de esta información, se establecen parámetros base que permiten la caracterización físicoquímica de dichas fuentes, lo cual resulta fundamental para el diseño e implementación de soluciones técnicas orientadas a mitigar los impactos ambientales asociados a este problema.

Tabla 2

Aguas residuales provenientes de los países más contaminados en representación a su fuente contaminante y caracterización de parámetros físicoquímicos de aguas residuales a nivel mundial.

Tipos de aguas residuales	País	Parámetro	Und	Valores de parámetros
		pH	pH	8.8
Aguas residuales textiles	Grecia	DBO ₅	mg/L	180
		DQO	mg/L	605
	Malasia	DBO ₅	mg/L	25000

Tipos de aguas residuales	País	Parámetro	Und	Valores de parámetros
Aguas residuales de la producción de aceite de palma		DQO	mg/L	50,000
		SST	mg/L	18000
		Grasas y aceites	mg/L	4000
		Sólidos Totales	mg/L	40000
		TKN	mg/L	750
Aguas residuales	Arabia Saudi	Mg	mg/L	70
		pH	pH	6.65
		N	mg/L	0.7
		SST	mg/L	1.77
		DQO	mg/L	11.2
Residuos de aguas residuales	Nigeria	Fe	mg/L	6.12
		pH	pH	3.74
		DQO	mg/L	24.6
Aguas residuales Municipales	Corea	pH	pH	7.7
		SS	mg/L	281.9
		DBO ₅	mg/L	205.76
		DQO	mg/L	238.83
Aguas residuales de la industria lechera	Brasil	DQO	mg/L	33.3
		Sólidos Totales	mg/L	0.44
Aguas residuales de la industria lechera	India	pH	pH	7.41
		DBO ₅	mg/L	2250
		DQO	mg/L	10000
		Sólidos Totales	mg/L	2033
		SDT	mg/L	1200
		SST	mg/L	833
		Grasas y aceites	mg/L	1425

Nota. Tomado de Gutierrez (2019). Tabla de resultados de parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales en diversos países del mundo.

No debe olvidarse que los principales objetivos del tratamiento de las aguas residuales son promover la protección del medio ambiente y garantizar la salud pública, mediante la preservación de los cuerpos de agua que suministran recursos hídricos esenciales. En caso de no ser gestionadas adecuadamente, las aguas residuales pueden

generar contaminación ambiental y social, así como la aparición de malos olores y problemas estéticos que afectan la calidad de vida de la población (Gutierrez, 2019).

2.2.2. Situación en el Perú de aguas residuales

Se explica que, en América Latina, la población se concentra en su mayoría en las ciudades grandes (casi el 80%), y una gran proporción de ellos vive cerca de fuentes de contaminación, donde los suministros de agua son limitados. Esta es una de las regiones con mayor biología diversa y contiene un tercio del agua del mundo; la contaminación del agua tiene un impacto ecológico negativo, ya que el 70% de las aguas residuales no son tratadas, lo que dificulta el cierre del ciclo del agua (Gutierrez, 2019).

En la **Figura 1** podemos observar dos enfoques en el tratamiento de aguas residuales la capacidad de tratamiento y el agua residual producida en cada región del Perú.

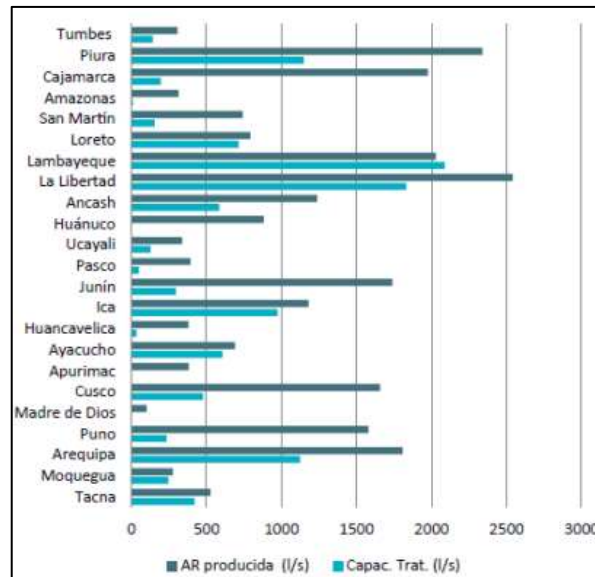
Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en la **Figura 1** se presenta la caracterización de las aguas residuales en el Perú, basada en estudios realizados en el año 2015 por la ANA y el entonces Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), los cuales evaluaron un total de 541 distritos y ciudades, con una población aproximada de 10 000 habitantes distribuidos en diversas regiones del país. En dicho estudio se estimó una producción de aguas residuales per cápita de 162 L/hab·día dentro de la cobertura urbana de cada región, lo que permitió determinar que el Perú genera aproximadamente 42.5 m³/s de aguas residuales provenientes de fuentes domésticas. Asimismo, en la figura mencionada se muestra la relación entre la producción de aguas residuales y la capacidad de tratamiento existente en cada región del país (Yarlequé, 2018).

En 2015, el ANA, por medio de su Programa de Adecuación de Vertimientos y Reúso de Aguas Residuales (PAVER), estimó que aproximadamente 54 m³/s de aguas residuales sin tratar se vertieron en aguas superficiales, irrigando aproximadamente 4000 hectáreas de tierra agrícola regadas consecuentemente con agua (Yarlequé, 2018).

Cabe señalar que la principal fuente de producción de estas aguas residuales son las actividades industriales y aumenta significativamente, y si le sumamos las fuentes mineras, la salud pública está en riesgo. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), esto provoca daños en los ecosistemas, limita el sector agrícola y aumenta el costo del tratamiento del agua para el abastecimiento público (Gutierrez, 2019).

Figura 1

Producción de aguas residuales y la capacidad de tratamiento de cada región del Perú.



Nota. Tomado de Yarlequé (2018). Cantidad de agua residual producida en litros por segundo según cada departamento del Perú durante el desarrollo de un estudio realizado en el año 2018 a nivel nacional.

También vale la pena mencionar que la empresa prestadora de servicios (EPS) de Perú careció de inversión en plantas de tratamiento de agua para reducir la contaminación en 67 ecosistemas multi receptores, poniendo en peligro la salud pública de 12 áreas verdes recreativas y 61 áreas de cultivo que son irrigadas con aguas residuales. Por otro lado, el uso directo de sus fuentes contaminadas o el consumo indirecto de alimentos no procesados, así como el contacto con terrenos agrícolas que son regados con aguas residuales maltratadas, aumentan el riesgo de infecciones parasitarias (Gutierrez, 2019).

Además, como se ha mencionado, las descargas de aguas residuales contaminadas en los cuerpos de agua generan diversas consecuencias ambientales. La presencia de sustancias sólidas y materia orgánica afecta directamente los hábitats de los organismos acuáticos, ya que la descomposición aeróbica de estos compuestos provoca una disminución del oxígeno disuelto. Asimismo, la presencia de sustancias tóxicas puede ocasionar daños adicionales a los ecosistemas acuáticos, los cuales se ven agravados por su acumulación a lo largo de la cadena alimentaria. Por otro lado, cuando estos vertimientos alcanzan lagos u otros cuerpos de agua lénticos, pueden desencadenar procesos de eutrofización, incrementando de manera excesiva la vegetación acuática y afectando negativamente las actividades de pesca y recreación. (Meoño et al., 2015).

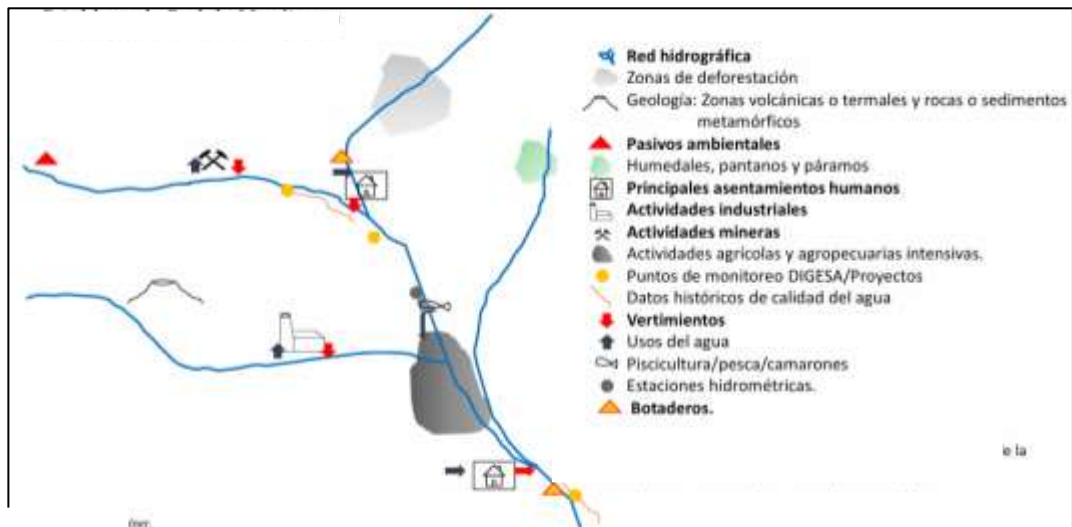
Por otro parte, los desechos sólidos del tratamiento de aguas residuales (arena y lodo) también pueden contaminar el suelo y el agua si no se tratan y eliminan adecuadamente (Meoño et al., 2015).

En la **Figura 2** podemos observar las actividades antropogénicas que se encuentran cerca al río Perené, donde se contempla a través de símbolos aledaños a la línea que representa la cuenca.

Según la **Figura 2** en el año 2023 tenemos en cuenta la presencia los estudios desarrollados por la Autoridad de Local del Agua (ALA) Perené sobre los resultados en base al monitoreo de la calidad del agua superficial e identificación de fuentes contaminantes aledañas a las cuencas del río Perené teniendo en cuenta su red hidrográfica considerando su red principal y sus tributarios considerando las actividades de zonas volcánicas con rocas o sedimentos metamórficos, pasivos ambientales, asentamientos humanos, actividades industriales, actividades mineras, actividades agrícolas y agropecuarias intensivas, zonas de vertimientos y botaderos.

Figura 2

Actividades antropogénicas de cuencas aledañas a la provincia de Chanchamayo.



Nota. Tomado de Chirinos Málaga, (2023). En la imagen presentada se puede observar la distribución de actividades antropogénicas desarrolladas dentro de la cuenca del río Perené donde podemos resaltar un factor importante que son las actividades agropecuarias que son las que se enfocan en el desarrollo de nuestra tesis.

Asimismo, en la **Figura 2** se presentan los resultados del análisis que permitió categorizar los contaminantes presentes en las cuencas aledañas al río Perené, considerando un total de 26 puntos de muestreo representativos dentro del ámbito de la cuenca. La evaluación se realizó a partir del Índice de Calidad del Agua (ICA), el cual clasifica el recurso hídrico en las categorías de excelente, bueno, regular, malo y pésimo.

Tras el análisis de las aguas residuales y de los caudales asociados a la cuenca del río Perené, se concluyó que existe una elevada presencia de materia orgánica tanto en la cuenca principal como en sus subcuencas, siendo la calidad del agua predominantemente categorizada entre regular y mala en la mayoría de los puntos de muestreo evaluados. Esta situación evidencia una afectación significativa de parámetros relacionados, tales como la DBO, la DQO, los SST, entre otros, los cuales se ven incrementados debido a las altas cargas orgánicas presentes en la cuenca.

2.2.3. *Afectación de la exportación de café peruano al PBI*

En la **Tabla 3** podemos encontrar a los continentes con mayor porcentaje de hectáreas de cultivo de café, también nos brinda los % de hectáreas de cultivo de café, hectáreas contempladas en el año 2020 de cultivos de café, hectáreas en aumento de los últimos años y el % de crecimiento.

En la **Tabla 3** se muestra que la caficultura orgánica peruana constituye un importante factor de exportación y desempeña un rol relevante en el desarrollo económico del país. De acuerdo con información del Instituto de Investigación de Agricultura Orgánica (FiBL) y de la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM), a nivel mundial existen actualmente alrededor de 75 millones de hectáreas destinadas a la agricultura orgánica, actividad desarrollada por más de 3.4 millones de productores en 190 países de los cinco continentes. Asimismo, en el año 2022, este sector consolidó un valor de mercado superior a los 120 mil millones de euros, lo que representó un incremento aproximado de 14 mil millones de euros respecto al año anterior (Hijar, 2022).

Tabla 3

Continentes con mayor área de cultivo orgánico en el 2021 y su potencial crecimiento.

Continente	% Hectáreas	Hectáreas 2020	Has sumadas el último año	Crecimiento en un año
Oceanía	47.90 %	35,908,876	35,350	0.10%
Europa	22.80 %	17,098,134	603,222	3.70%
Latinoamérica	13.30 %	9,949,461	1,653,129	19.90%
Asia	8.20 %	6,146,235	432,360	7.60%
Norteamérica	5.00 %	3,744,163	96,539	2.60%
África	2.80 %	2,086,859	148,986	7.70%
Total		74,926,006	2,969,586	

Nota. Tomado de Hijar, (2022).

En la **Tabla 4** se nos menciona las áreas de producción de café orgánico a nivel nacional contemplando la cantidad de operadores, productores, hectáreas de cultivo en transición y orgánicos y, el total.

En la **Tabla 4** se muestra que en el Perú a partir de los años 80 y 90 el café empezó a ser uno de los 5 principales cultivos de exportación lo cual brinda fuentes de trabajo a miles de familias que se dedican a la producción agrícola, por ello dentro del ranking mundial el Perú es considerado el segundo país con mayores hectáreas de terreno con cultivo de café con un 22.69 % representativo al total de hectáreas en otros países (Málaga, 2023). De igual modo consideramos que a nivel nacional las regiones con mayor producción de café son pertenecientes a la región Junín y Cajamarca siendo las regiones con mayores hectáreas de este cultivo (Hijar, 2022).

Tabla 4

Áreas de producción orgánica de café por regiones en el Perú en el 2021.

Región	Operadores	Productores	Hectáreas		Total, Hectáreas
			Transición	Orgánica	
Amazonas	29	7,212	3,505.06	15,897.86	19,402.92
Apurímac	1	425	88.75	812.50	901.25
Ayacucho	3	112	70.00	116.00	186.00
Cajamarca	86	27,749	17,404.58	46,819.99	64,224.57
Cusco	14	3,517	4,493.23	6,946.14	11,439.37
Huánuco	3	489	1,502.99	151.05	1,654.04
Junín	81	15,748	21,896.70	45,998.82	67,895.52
La Libertad	0	0	0.00	0.00	0.00
Lambayeque	5	2,511	1,303.37	4,968.93	6,272.30
Lima	1	113	0.00	521.20	521.20
Pasco	8	654	443.91	2,483.66	2,927.57
Piura	2	2,815	711.26	3,358.98	4,070.24
Puno	2	1,038	522.35	839.80	1,362.15
San Martín	29	6,874	7,488.56	11,315.62	18,804.18
Ucayali	1	23	46.00	54.50	100.50
Total	265	69,280	59,476.76	140,285.05	199,761.81

Nota. Tomado de Castillo Hijar, (2022).

En la **Tabla 5** se nos presenta las exportaciones de café orgánico peruano a nivel internacional donde contempla el año, los kilogramos de exportación y las ganancias obtenidas en dólares americanos.

En la **Tabla 5** describimos, nivel de exportación durante el desarrollo de la investigación se nos mostró una comparativa referente a los años 2012 hasta los años 2021 con el nivel de exportación a los estados unidos de américa contando como factores el kilogramo de exportación y la ganancia obtenida en miles de dólares americanos (US\$).

Tabla 5

Exportación de Café Orgánico y Aportación Económica de los Años 2012 al 2021.

Años	Kilogramo de Exportación	Ganancia en miles de US\$
2012	11,331,857	57,537
2013	11,160,254	46,705
2014	10,452,845	53,705
2015	11,093,765	50,318
2016	10,244,984	43,790
2017	13,374,315	56,569
2018	13,470,805	52,968
2019	21,392,437	87,628
2020	19,445,835	78,356
2021	15,628,121	71,747

Nota. Tomado de Castillo Hajar, (2022). Dólares americanos (US\$)

2.2.4. Aguas residuales del procesamiento del café

Dentro de un contexto industrial el café solo es aprovechado un 5%, ya que representa el fruto fresco principal en la elaboración de las bebidas, el otro 95% es desechado porque representa el residuo, los principales componentes que se pueden encontrar en el procesamiento del café son la pulpa, el mucilago, el cisco, las pasillas, la borra y los tallos de café. Algunos de sus componentes principales como la pulpa de café se generan durante la etapa de despulpado de la fruta el cual representa el 43,58% del peso de la fruta en húmedo, siendo en Colombia una producción de 2,25 toneladas fresca /ha-año (Cortés et al., 2020).

Se tiene que tener en consideración que el cultivo de café se debe realizar en espacios sombríos, realizar las coberturas del suelo con malezas, barreras vivas y buenas prácticas de manejo ecológico en el beneficio para el cultivo de café, mejorando así la

minimización y control de la contaminación por las aguas mieles y la pulpa (INIA, 2015).

Es importante dar a conocer que en el procesado del café generan impactos ambientales negativos (afectando así los suelo, las fuentes hídricas, la biodiversidad y los ecosistemas) realizando cambios negativos en el desarrollo de la sociedad. De este modo se menciona que es importante brindar la conservación y protección a los recursos naturales, ya que a través de ellos los seres vivos satisfacemos nuestras necesidades principales. Desde este punto se toma en cuenta que es importante estudiar a detalle los impactos negativos producidos por el procesamiento del café (Cortés et al., 2020).

- Mucilago de café: Debido a la gran cantidad de azúcar reductor contenido en esta fracción de la fruta y la facilidad de uso microbiano hacen que el mucílago sea industrialmente importante como sustrato en la fermentación para la producción de metabolitos económicamente importantes. El mucílago del fruto del café es rico en sustancias digestibles, de las cuales se puede obtener pectina, y por su gran contenido de azúcares, que se puede utilizar en la producción de miel, alcohol etílico y metano mediante el proceso de fermentación anaeróbica así también se puede producir gas (Castro & Garzón, 2019).

- Fermentación del mucilago de café: La fermentación es un procedimiento aplicado en bioquímica que dura alrededor de 10 a 18 horas, permitiendo que el mucílago del café se pueda disolver en agua después de este tiempo. Debe entenderse que durante este proceso la fermentación se da en el café molido y no en los granos, para que no se degrade la calidad del café y por ende no haya defectos en la bebida, por lo tanto, es importante no fermentar, esto es un proceso importante que requiere más atención para mantener su calidad (Castro & Garzón, 2019).

- Aguas mieles: El limo es un subproducto de las propiedades de humedad del café, posiblemente debido a un manejo inadecuado, generando contaminación del agua, malos olores y criadero de moscas u otras plagas. Sus impactos negativos a lo largo del tiempo han llevado a la legislación que regula el manejo correcto de los subproductos del café en la reducción el impacto ambiental (Torres-Valenzuela et al., 2019).

- Despulpado: Entre la pulpa y la cáscara de los granos del café maduro existe un mucílago que es un líquido gelatinoso con la viscosidad y humedad adecuadas, por lo que bajo la presión de los granos en el molinillo se produce un aflojamiento que ayuda a separar los granos de café de la pulpa sin la utilización del agua (Montoya et al., 2020).

2.2.5. *Celdas de combustible microbiana (CCM)*

En la **Figura 3** podemos analizar el funcionamiento y recomendaciones sobre las CCM.

En la **Figura 3**, las CCM son una nueva tecnología que puede ayudar a resolver los dos problemas más apremiantes de la sociedad moderna: el riesgo energético y disponibilidad del recurso hídrico no contaminado. Una CCM es un dispositivo que manipula microorganismos para transformar la energía química contenida en un sustrato en energía eléctrica, lo que puede suceder cuando se maneja en ciertas condiciones, ciertos microorganismos transfieren electrones debido a su actividad metabólica al electrodo (ánodo) en lugar del electrodo (cátodo) aceptador de electrones (por ejemplo, oxígeno). Este proceso apoya a la descomposición de la materia orgánica como combustible o sustrato y ha sido ampliamente estudiado en CCM de cátodo abiótico con baja generación de energía. La perspectiva de disponibilidad de agua dulce para descarga ambiental aumenta cuando se considera que los CCM recientemente estudiados, además de lo anteriormente mencionado, pueden promover la biorremediación de componentes como xenobióticos o metales pesados, gracias a que los microorganismos pueden tomar electrones del electrodo (cátodo) y recuperar varios compuestos, haciéndolos más amigables con el medio ambiente (Revelo et al., 2013).

Las CCM es diferente a otros métodos de producción de energía porque: su funcionamiento actúa de manera eficiente a temperatura ambiente e incluso temperaturas muy bajas; Producen menos CO² que cualquier otro tipo de tecnología actual que use combustibles fósiles para la generación de energía, por lo que las pequeñas emisiones de este gas no necesitan ser tratadas; No necesitan entrada de energía, siempre que el polo no biológico sea aireación pasiva o biocatodos; En el futuro, se puede usar en lugares remotos, donde se necesita electricidad básica. La capacidad de estos artefactos es enorme, su efectividad se ha demostrado en diferentes trabajos, lo que crea muchas expectativas en la comunidad científica, porque puede producir energía pura. Su biomasa, existen en aguas residuales en el interior e industria. Cuando el material orgánico de las aguas residuales se utiliza como combustible, el tratamiento del agua contaminada se produce al mismo tiempo con la producción de energía. Además, el estudio del biocátodo podría utilizar no solo oxígeno, sino también otros tipos de contaminantes como aceptores de electrones que podrían permitir la eliminación de nutrientes y su biorremediación junto con la generación de energía (Rezaei et al., 2023).

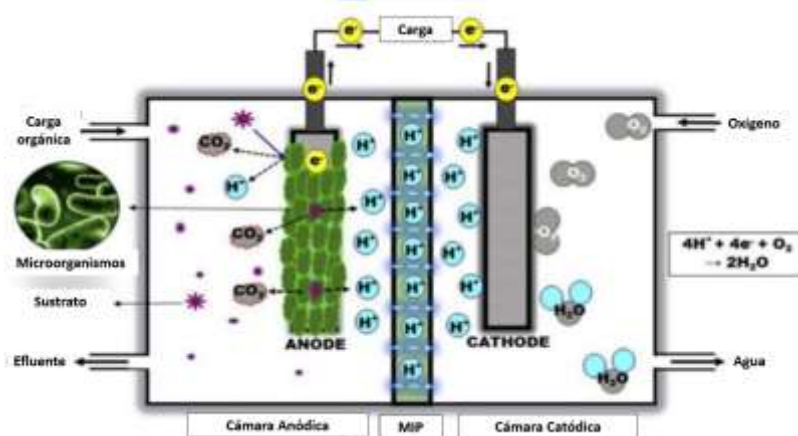
Se han descrito algunas aplicaciones importantes, incluido el robot Eco Bot II, que permite funciones de movimiento, detección, cálculo y comunicación. El

dispositivo tiene un CCM incorporado para lograr un sistema autónomo (biosensor) para la medición de la DBO para tratamiento de las aguas residuales realizado a pequeña escala para eliminar las proteínas y otros productos químicos presentes en el agua. Recientemente, se han investigado aplicaciones potenciales del CCM biocátodo, entre las que se encuentran: biorremediación in situ de U(VI), disminución de Cr(VI), eliminación de cloro de solventes clorados de diversas formas, reducción de percloratos y principalmente en la reducción de nitratos. Por otro lado, se explora la disminución de oxígeno y su producción de combustible por medio de la electrosíntesis microbiana, en la que el CO_2 se reduce a componentes orgánicos y se produce hidrógeno (Chouhan et al., 2023).

En los países desarrollados, se están realizando investigaciones sobre dichas tecnologías, que podrían ser potencialmente útiles en la eliminación de compuestos orgánicos, la biorremediación y la producción de energía alternativa. En ambientes como el nuestro, hay muchos sustratos y microorganismos diferentes que pueden contribuir al crecimiento de la CCM, ya que se han utilizado como combustible muchos sustratos y microorganismos abundantes y naturales, como lodos anaeróbicos de vertederos, ríos o sedimentos marinos, y otras fuentes. También es posible desarrollar un CCM a gran escala profundizando en la arquitectura misma. La cobertura mundial de este tipo de dispositivos lograda en esta revisión científica es el resultado del trabajo interdisciplinario en microbiología, ingeniería electrónica y química, que permite avances en la investigación fundamental, ediciones y aplicaciones en esta apasionante área de investigación (Revelo et al., 2013).

Figura 3

Celdas de combustible microbiana (CCM).



Nota. Tomado de Zevallos (2020). Desarrollo y mecanismo de funcionamiento de forma gráfica de las CCM a través del desarrollo microbiano de las cámara anódica y catódica, y su acepción de oxígeno para tratamiento del agua residual.

2.2.5.1. Tipos de CCM

En la **Tabla 6** mostramos los dos tipos de CCM que actualmente se conoce y las características que presentan cada uno de ellos.

En la **Tabla 6**, para el desarrollo de las CCM se menciona según la teoría que existe dos tipos de configuración las cuales son desarrolladas de dos maneras diferentes donde se evalúan el desarrollo de las CCM de una sola cámara y el desarrollo de las CCM de dos cámaras Zevallos (2020). Posteriormente a partir de un cuadro comparativo evaluamos las características de ambos diseños para el mejor desarrollo todo esto a través de investigaciones anteriores donde demuestran estas características.

Tabla 6

Tabla comparativa de tipos de celdas de combustible microbiana

Celdas de combustible microbiana (CCM)	Características
Dos cámaras tipo H	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo. - No necesita de una membrana de intercambio de protones (MIP) (Nafion, ultrex) para el intercambio protónico, lo que vuelve menos costosa. - Puede Trabajar de Forma Continua o discontinua. - Se previene la difusión de oxígeno a la cámara anódica. - Los compartimientos pueden adoptar diversas formas prácticas. - Ampliamente utilizada en estudios a escala laboratorio - Tiene una variedad de diseños para llevar a cabo su funcionamiento.
Una sola cámara	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo de construcción - Es necesario el uso de una membrana PEM. - El cátodo es expuesto directamente al aire. - Sus diseños son complejos - No requiere de bombeo de aireación - Ampliamente estudiada las aplicaciones industriales. - Menos eficiencia en la producción de energía eléctrica - Diseño único

Celdas de combustible microbiana (CCM)	Características
	- No es completamente anaerobio debido a su disposición de electrodos.

Nota. Tomado de Pacheco & Zamata (2019). Desarrollo de comparativa de ambos diseños empleados de los sistemas de CCM.

En la **Tabla 7** realizamos una comparativa de los sistemas más realizados para las CCM haciendo referencia los autores y el tipo. Posteriormente se evaluó los diseños utilizados usualmente en estudios a escala de laboratorio.

Tabla 7

Tipos de diseño de las CCM usadas en escala de laboratorio.

Tipo de Escala	Referencia
Dos Cámaras	Passos et al, 2016
Una Cámara	Valentina, 2016
Dos Cámaras	Buitrón y Perez, 2011
Una Cámara	Luo y Yong, 2010
Dos Cámaras	Patil y Sunil, 2009
Dos Cámaras	Liang y Peng, 2007
Dos Cámaras	Ha, Thi, Tae, y Chang, 2007

Nota. Tomado de Pacheco & Zamata (2019). Distintos estudios empleados con CCM a través de la revisión bibliográfica de distritos autores empleando el más utilizado.

2.2.5.2. Ánodo.

El ánodo es un componente importante dentro de las CCM ya que dentro de ellas podemos encontrar las células de los electrógenos anódicos, en otras palabras, se pueden transferir electrones extracelularmente a través de la descomposición del sustrato orgánico produciendo del mismo modo electrones y protones. Estos electrones son transmitidos a los microorganismos de la superficie anódica que posteriormente se trasladan a la cámara catódica a través de la MIP, a través de estos procesos obtenemos una generación continua de corriente y tratamiento de aguas residuales. Este procedimiento en consecuencia tiene como factor importante a la cámara anódica permitiendo la oxidación de la región anódica y la reducción de la región catódica permitiendo así la transferencia de electrones completando el circuito (Chouhan et al., 2023).

La elección del material del ánodo representa un factor importante ya que puede provocar una adhesión microbiana débil en la superficie del electrodo lo que reduciría la transferencia de electrones. Para ello es importante reconocer el material del ánodo y

la selección de electrógenos los cuales influyen fuertemente en la capacidad de la CCM (Chouhan et al., 2023).

2.2.5.3. Cátodo.

La aplicación del cátodo dentro de las CCM representa un factor imprescindible en su aplicación debido a que los componentes transmitidos al cátodo por medio de una conexión externa en la reducción de la aceptación de electrones terminal mientras que los protones se mueven constantemente dentro de la solución, por ello es importante obtener materiales de bajo costo, de buena disponibilidad y no tóxicos en su aplicación. Por ello los catalizadores de platino y paladio son muy utilizados en la modificación del cátodo sin embargo por su alto costo, alta sensibilidad a los venenos y su poca estabilidad a los venenos y a la poca estabilidad no es económicamente viables por ello es importante encontrar catalizadores más viables para la mejora del potencial de salida de la CCM (Rezaei et al., 2023).

2.2.5.4. Electrodo.

Electrodos en la cámara anódica.

Sabemos a grandes rasgos la importancia de la materia aplicable a la cámara anódica debido a que en esta cámara se producen la oxidación del material orgánico del agua residual produciendo así el bombeo de electrones. Para ello se debe tomar muy en cuenta el material que se utilizara, debiendo ser con gran superficie específica, altamente conductores, bajo costo, no corrosivos, alta porosidad, fácil de fabricar y aplicables a una mayor escala (Zevallos, 2020).

Para ello estos se clasifican en dos tipos

- Materiales basados en carbono: varillas de carbono, fieltro de carbono, escobillas de carbono, fibras de carbono y esponjas de grafeno
- Materiales basados en metales: plata, acero inoxidable, aluminio, níquel, molibdeno, titanio, oro y cobre

Electrodos en la cámara catódica.

En el cátodo es donde se producen las reacciones con el O₂ de ambiente actuando estos como receptores de electrones en la CCM por su alto nivel de oxidación, para ello es importante tomar en cuenta ciertas características referentes a su selección basados en su disponibilidad, bajo costo, sostenibilidad y la no formación de productos contaminantes teniendo en cuenta que el resultado final es H₂O. Uno de los más óptimos resulta ser el Platino (Pt) debido a que cuenta con una gran estabilidad y buena capacidad

catalíticas, pero este material tienen grandes desventajas por su alto costo, provoca contaminación biológica y envenenamiento por microorganismos; por ello el electrodo aplicado en la cámara catódica debe de contar con alguna de las siguientes características: complejos metálicos, estructura de carbono, carbono dopados con N, polímeros de productos, entre otros (Zevallos, 2020).

2.2.5.5. Membrana de intercambio de protones

Las membranas de intercambio de protones evitan el paso de elementos que no sean protones en el trayecto del sistema de la cámara anódica a la cámara catódica permitiendo la reacción del oxígeno molecular transformando a los electrones procedentes del ánodo a protones para la formación de H₂O así culminando el sistema (Do et al., 2018).

2.2.5.6. Microorganismos dentro de las CCM

Microorganismos en la cámara anódica

Los microorganismos que se pueden emplear en la CCM pueden ser de un cultivo en específico de la especie microbiana o cultivos variados (Consortios) en este último en mención se pudo observar un mejor potencial eléctrico por sus altos niveles de potencial eléctrico con un manejo más económico y adecuado. Los consorcios microbianos encontrados comúnmente son los siguientes *Proteobacter*, *Shewanella*, *Geobacter* y *Pseudomonas* (Zevallos, 2020).

Microorganismos en la cámara catódica

Los microorganismos electrodos que se emplean para la cámara catódica son aquellos que cuentan con una mayor eficiencia en la aceptación de electrones aplicadas de manera medida o directa. De entre ello son representativos la *G. sulfurreducens* y *S. putrefaciens* que son reconocidas también como gram negativas en la aplicación de los cátodos; pero también se pueden aplicar algunas gram positivas como *Bacillus subtilis*, *Micrococcus luteus* y *Staphylococcus carnosus* que están presentes también en la transferencia de electrones (Zevallos, 2020).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Ámbito de estudio

En la **Figura 4** describimos el área de investigación se encuentra ubicado directamente en el distrito de Perené donde se encuentra ubicado en anexo Cerro el Picaflor donde se mantiene el ingreso por el centro poblado Kivinaki dando por un ingreso que se encuentra frente a la plaza principal con una apertura de carretera de una sola dirección que se encuentra ubicado en las coordenadas UTM 494913.17 m E, 8791612.49 m S esta zona se encuentra colindante con ciudades, centros poblado y pequeños pueblos, del lado este podemos observar que se encuentra colindante con el distrito de Pichanaqui, por el lado oeste se encuentra colindante con un pequeño pueblo llamado Bajo Toterani, por el lado norte podemos encontrar a Puerto Yurinaqui y por ultimo por el lado sur podemos observar el pueblo de Villa Amoreti.

Figura 4

Ubicación del anexo Cerro el Picaflor.



Nota. En la imagen A encontramos la ubicación y visualización de la ubicación geográfica del departamento, en la imagen B encontramos la ubicación exacta del lugar de estudio y en la imagen C observamos la foto de visita al anexo Cerro el Picaflor.

3.2. Nivel, tipo y diseño de investigación

3.2.1. Nivel de investigación

Explicativo

Este se centra en la descripción mediante conceptos a fenómenos y su relación con los fenómenos observados, para ello el nivel de investigación explicativa se sintetiza en el por qué se desarrolló cierto fenómeno, en su manifestación y su relación de las variables (Sampieri & Fernandez-Collado, 2014).

3.2.2. Tipo de investigación

Aplicada

Se explica sobre el nivel de investigación aplicada “Cuando la investigación se orienta a conseguir un nuevo conocimiento destinado que permita soluciones de problemas prácticos.” En el presente proyecto de investigación busca establecer mediante las CCM un método de tratamiento innovador en el anexo Cerro el Picaflor (Risco, 2020).

3.2.3. Diseño de investigación

Experimental - Diseño experimental factorial completo 3^2

Esta técnica se aplica cuando se cuenta con un control de las variables asignadas para este sistema se suele distribuir de manera homogénea los grupos experimentales, para así no obtener sesgos en la atención de pruebas estadísticas planteadas en la investigación (Sampieri & Fernandez-Collado, 2014). En el proyecto de tesis se utilizará este concepto mediante los 9 tratamientos aplicados a las aguas residuales de café, donde cada uno contará con 3 réplicas.

En base a este concepto sabemos que el diseño experimental factorial donde podemos encontrar la explicación de la distribución del desarrollo experimental de los tratamientos donde podemos observar las variaciones en los distintos tratamientos en cuanto a las variables controladas según cada tratamiento los cuales nos demostraron variación en los parámetros estudiados.

En la **Tabla 8** se nos presenta las variables independientes utilizada en el desarrollo de la tesis enfocados en la variabilidad del diseño atribuidos al número de electrodos y el diámetro de MIP, evaluando la reducción de los parámetros de SST y DBO.

Tabla 8*Variables Independientes y Dependientes de Investigación.*

Niveles	Variables Independientes	
	Nº de electrodos (Unidad)	Diámetro de membrana de intercambio de protones (mm)
T1	6	26.70
T2	11	26.70
T3	17	26.70
T4	6	33.40
T5	11	33.40
T6	17	33.40
T7	6	48.30
T8	11	48.30
T9	17	48.30

Nota. Tratamiento T1 con variaciones en el número de electrodos de 6 y Membrana de Intercambio de Protones (MIP) de 26.7, así también el T2 con 11 electrodos y 26.7 de MIP, el tratamiento T3 con 17 electrodos y 26.7 de MIP, en el T4 con 6 electrodos y 33.4 de MIP, en el T5 con 11 electrodos y 33.4 de MIP, en el T6 con 17 electrodos y 33.4 de MIP, en el T7 con 6 electrodos y 48.3 de MIP, en el T8 con 11 electrodos y 48.3 de MIP y por último el T9 con 17 electrodos y 48.3 de MIP.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Las aguas residuales del despulpado y lavado de café provenientes del anexo Cerro el Picaflor durante la temporada de producción del año 2024.

La etapa de producción toma en cuenta 4 meses que comprenden alrededor de 1202 días calendarios.

A su vez, se cuenta con información proporcionada por los pobladores, quienes indican que la producción promedio mensual de café durante la temporada oscila entre 30 y 40 sacos por productor. Asimismo, en el anexo Cerro El Picaflor existen aproximadamente 40 productores.

Según la información brindada, de un saco de café en cerezo de 60 kilogramos se obtienen aproximadamente 9,6 kg de café de buena calidad.

De acuerdo con Laili et al. (2022), por cada kilogramo de café en grano se generan entre 15 y 20 litros de agua residual proveniente del proceso de beneficio.

Con base en estos datos, se determina lo siguiente:

Ecuación para cantidad de agua residual:

$$C_{\text{agua residual}} \left(\frac{l}{\text{saco}} \right) = P \times l \left(\frac{l}{\text{kg}} \right)$$

$$192 \times 160 = 30720 \text{ litros de agua residual}$$

Según los cálculos realizados, el volumen aproximado de agua residual generado por productor es de 30 720 litros (ver detalles del procedimiento en el **Anexo 3**).

Para estimar el volumen total de agua residual proveniente del despulpado y lavado de café durante la temporada de producción del año 2024, se desarrolló la siguiente expresión:

Ecuación para volumen total de agua residual:

$$V_{\text{total de agua residual}} = N^{\circ}_p \times P_{\text{prom. de café}} \times V \left(\frac{l}{\text{kg}} \right) \times T_{\text{temporada}}$$

$$V_{\text{total de agua residual}} = 33\,656\,000$$

Los resultados demuestran que el volumen total generado durante una temporada de producción normal en el año 2024 asciende aproximadamente a 33 656 000 litros de agua residual (ver detalles del procedimiento en el **Anexo 4**).

3.3.2. Muestra

Se consideró una muestra correspondiente a una producción de 40 sacos de café en cerezo, cada uno con un peso de 60 kg, durante los meses de cosecha de la temporada 2024.

Fórmula para población finita:

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{(N - 1) \times E^2 + Z^2 \times p \times q}$$

$$n = 384.15886998669$$

Dado que el resultado obtenido es un número decimal (384,15886998669), se procedió a redondearlo al número entero más próximo, obteniéndose un valor final de 385 litros (ver detalles del procedimiento en el **Anexo 5**).

3.4. Procedimientos, técnicas y muestreo

En la **Figura 5** se presenta el esquema general del procedimiento experimental, el cual integra una serie de etapas fundamentales para la obtención de los resultados del estudio. Dicho procedimiento comprende la toma de muestras, el proceso de oxidación, las fases de pretratamiento y el ingreso del afluente al sistema de tratamiento,

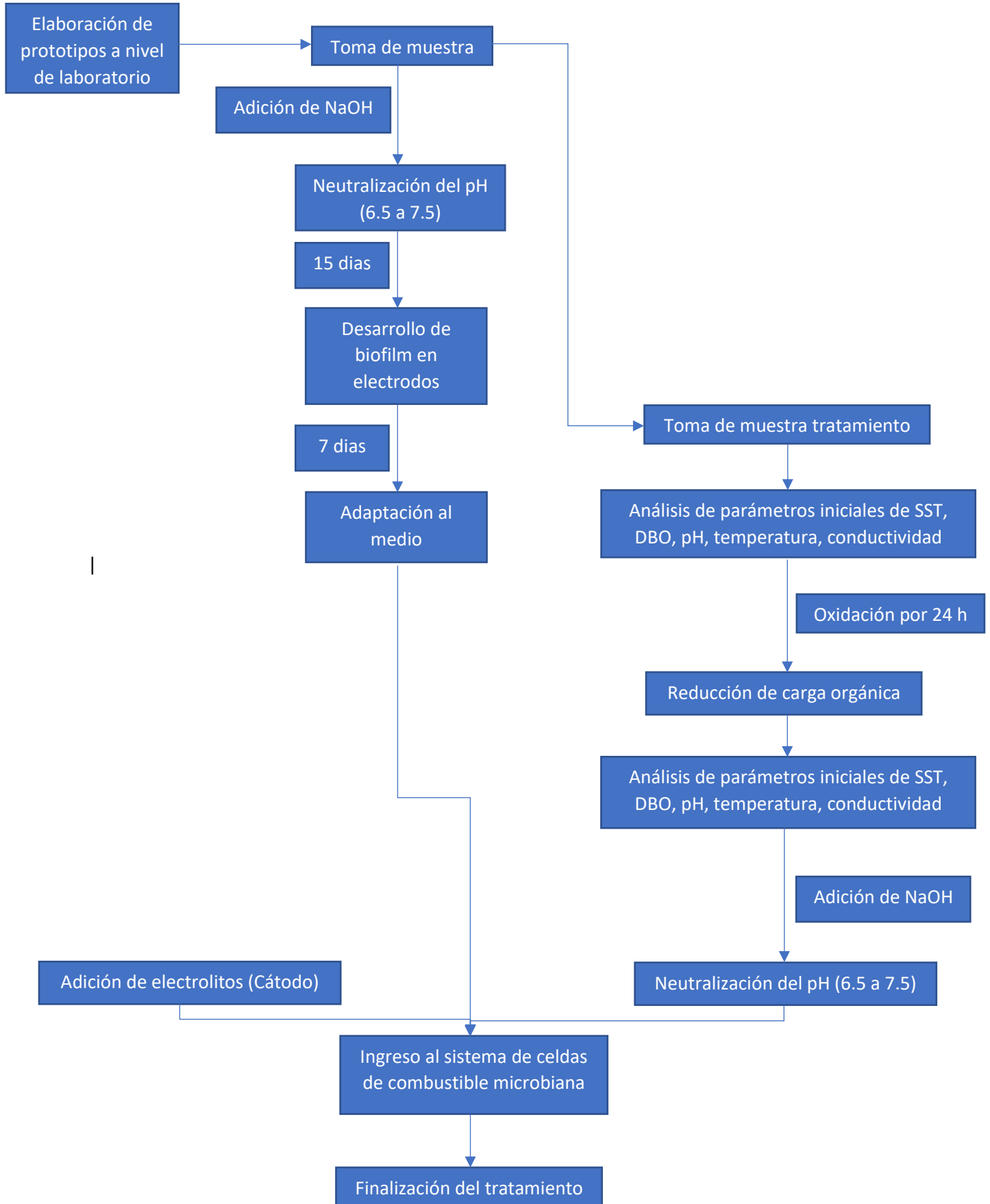
culminando con la toma de muestra final posterior al proceso. Cada una de estas etapas fue planificada de manera secuencial con el propósito de garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos. Para facilitar su comprensión, se elaboró un flujograma que describe detalladamente el desarrollo metodológico aplicado hasta la obtención del producto final.

El flujograma mostrado en la **Figura 5** describe de manera ordenada las actividades ejecutadas durante la investigación. En primer lugar, se desarrollaron los diseños experimentales a nivel de laboratorio, donde se definieron los criterios técnicos, materiales empleados y parámetros operacionales. Esta etapa permitió estructurar la metodología y establecer las condiciones necesarias para la implementación del sistema, asegurando la reproducibilidad y el control de variables durante el proceso.

Respecto a la fase biológica, se realizó la toma de muestras del agua residual destinada al desarrollo microbiano. En esta etapa se consideró la generación de condiciones adecuadas para la formación del biofilm sobre los electrodos, manteniendo un pH neutro y parámetros favorables para la proliferación de microorganismos. Asimismo, se contempló un período de adaptación, permitiendo que las comunidades microbianas se estabilizaran y alcanzaran una mayor eficiencia metabólica. Este proceso es fundamental, ya que la adecuada formación del biofilm influye directamente en el rendimiento del sistema y en la degradación de la materia orgánica (Nawaz et al., 2022).

Posteriormente, los elementos previamente desarrollados fueron integrados en el funcionamiento de las CCM. En esta fase se efectuó la toma de muestra inicial para establecer los valores de referencia del afluente. Seguidamente, se aplicó la etapa de oxidación con el objetivo de reducir la carga orgánica presente en el agua residual. De manera complementaria, se realizó la adición de reactivos para la optimización del pH, buscando mejorar la eficiencia electroquímica y el desempeño del sistema. Una vez acondicionada el agua residual, esta fue ingresada a la CCM para su tratamiento. Finalmente, se llevó a cabo la toma de muestra final con el fin de evaluar la efectividad del proceso.

En conjunto, cada una de estas etapas permitió optimizar las condiciones operativas del sistema y garantizar un tratamiento integral (Zevallos, 2020).

Figura 5*Flujograma de desarrollo metodológico.*

3.4.1. Diseño, materiales y elaboración de las CCM

En la **Tabla 9** se presentan los materiales, herramientas e insumos empleados en el desarrollo de las CCM, detallando cada uno de los componentes necesarios para la implementación del sistema a nivel de laboratorio.

Asimismo, la **Tabla 9** refleja la aplicación seleccionada por el autor en función del marco teórico revisado. Para el desarrollo de la tesis se optó por la configuración de CCM tipo H, debido a que, según la evidencia comparativa entre los distintos diseños, este tipo ofrece mayores ventajas en términos de control experimental y estabilidad operativa. Esta elección responde a la necesidad de garantizar una manipulación más precisa de variables críticas dentro del sistema.

Entre los factores determinantes en el diseño de la CCM destacan el número de electrodos utilizados y los diferentes diámetros de la MIP, ya que estos influyen directamente en el rendimiento electroquímico y en la eficiencia del tratamiento. Por ello, la selección del modelo tipo H permitió un mejor control de estos parámetros, contribuyendo a la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Tabla 9

Material y Herramientas para la elaboración de Celdas de Combustible Microbiana.

Materiales	Herramientas	Insumos
Tubo de PVC	Tijeras	Cloruro de sodio (NaCl)
Barras de silicona	Cierra	Ácido cítrico
Codos de PVC	Lija	Sellante de PVC
Electrodo de escobilla de carbón	Pistola de silicona	Bicarbonato de sodio (NaHCO ₃)
Alambre de cobre	Embudo	Hidróxido de Sodio (NaOH)
Resistores	Bacula	Ácido clorhídrico (HCl)
Estaño	Cautín	Yoduro de amonio
Cinta teflón		
Pasta para soldar	Estufa	Pegamento pva transparente
	Incubadora	Alcohol (C ₂ H ₆ O)

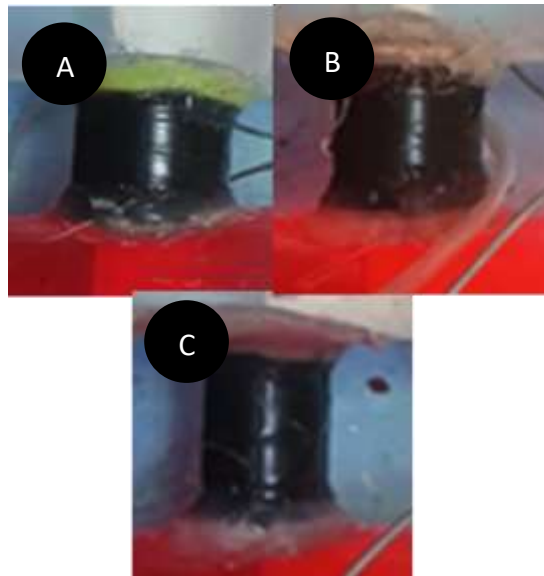
Nota. Materiales, herramientas e insumos utilizados en el desarrollo de las CCM de tipo H, hay que tener en cuenta que estos modelos son prototipos a nivel de laboratorio por lo que su elaboración es pequeña en cuanto a proporción.

En la **Figura 6** tomamos en cuenta los diámetros de MIP en el desarrollo de CCM considerando el diámetro evaluado para la investigación.

La **Figura 6** detalla la proporción y el sistema de unión entre ambas cámaras mediante tubos de PVC, correspondientes a los distintos diámetros de MIP utilizados (26,7 mm; 33,4 mm y 48,3 mm). Estos elementos fueron empleados como puente de conexión entre la cámara anódica y la cámara catódica, permitiendo el intercambio iónico y facilitando el proceso de transferencia de carga dentro del sistema.

Figura 6

Membran de intercambio de protones los diámetros aplicados.



Nota. En la imagen A encontramos un diámetro de MIP de 48.3 mm, en la imagen B encontramos un diámetro de MIP de 33.4 mm y en la imagen C observamos un diámetro.

En la **Figura 7** se presentan las distintas configuraciones evaluadas en las CCM, específicamente en relación con la variación del número de electrodos incorporados en el sistema. Estas configuraciones fueron diseñadas con el objetivo de analizar la influencia de este parámetro en el rendimiento electroquímico del tratamiento.

Asimismo, para la implementación experimental se emplearon electrodos de escobilla de carbón, cada uno con un área superficial de 9 cm². Con la finalidad de evaluar su desempeño, se trabajó con diferentes cantidades de electrodos, estableciendo tres configuraciones: 6, 11 y 17 unidades. Esta variación permitió analizar el efecto del área superficial total disponible sobre la actividad microbiana y la eficiencia del sistema.

Figura 7

Cantidad de Electrodo Aplicable a los Tratamientos.



Nota. Muestra del número de electrodos aplicables a los 9 tratamientos y sus 3 réplicas efectuadas según el número de electrodos de evaluación, a su vez explicando el área superficial aplicable a la cantidad de electrodos colocados.

3.4.1.1. Elaboración y construcción de las CCM.

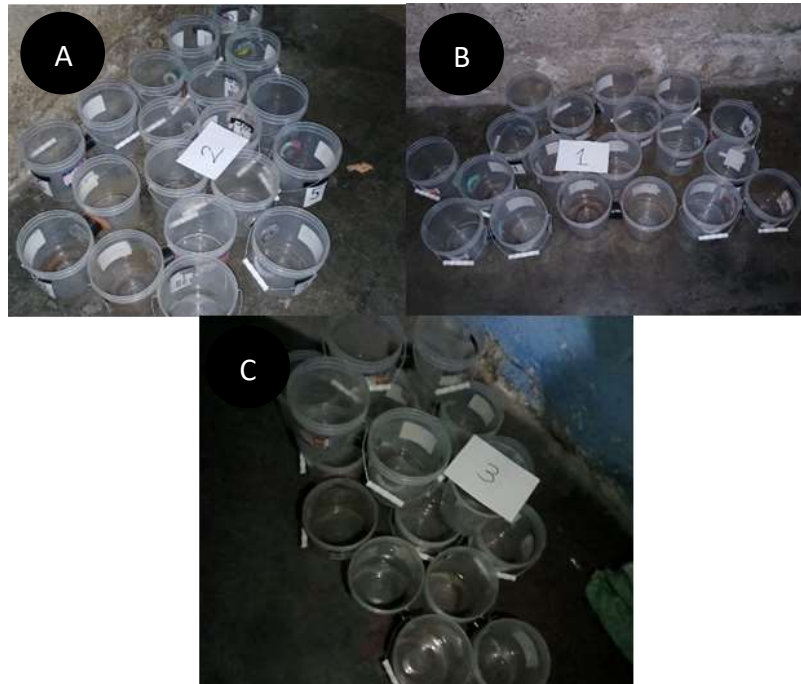
En la **Figura 8** se describe el desarrollo de las CCM tipo H, conformadas por una cámara anódica (condición anaerobia) y una cámara catódica (condición aerobia). El diseño experimental estuvo compuesto por nueve tratamientos, cada uno con tres repeticiones, a los cuales se les adicionó un volumen aproximado de 2 litros de agua residual por unidad experimental.

Asimismo, la **Figura 8** muestra el proceso constructivo del sistema. Para ambas cámaras se utilizaron baldes plásticos con una capacidad aproximada de 2100 mL. Durante la implementación, cada compartimento fue abastecido con un volumen similar de 2000 mL de agua residual, asegurando condiciones homogéneas en todos los tratamientos.

Con el fin de integrar ambas cámaras, se realizaron perforaciones laterales acordes a los diámetros de la MIP evaluados, la cual fue instalada como puente de conexión entre el ánodo y el cátodo, permitiendo el intercambio iónico dentro del sistema. Posteriormente, se procedió al sellado hermético de la tapa de la cámara anódica para impedir el ingreso de oxígeno y mantener condiciones anaerobias. En contraste, la cámara catódica se mantuvo con una abertura controlada que permitió la entrada de aire, garantizando así el ambiente aerobio necesario para su funcionamiento.

Figura 8

Desarrollo de la elaboración física del prototipo de Celdas de Combustible microbiana.



Nota. En la imagen A, B y C encontramos a las réplicas desarrolladas en la ejecución del proyecto donde al ser 3 mencionadas por cada tratamiento así fueron divididos para una mejor identificación de los mismos.

En la **Figura 9** se presenta la evaluación de la posible transferencia de líquidos entre la cámara anódica y la cámara catódica. Para ello, se realizó un monitoreo continuo durante 24 horas, con el objetivo de verificar la integridad del sistema y asegurar que no existiera filtración o mezcla de fluidos entre ambos compartimentos. Esta verificación resulta fundamental para garantizar un funcionamiento adecuado de la CCM (Pacheco & Zamata, 2019).

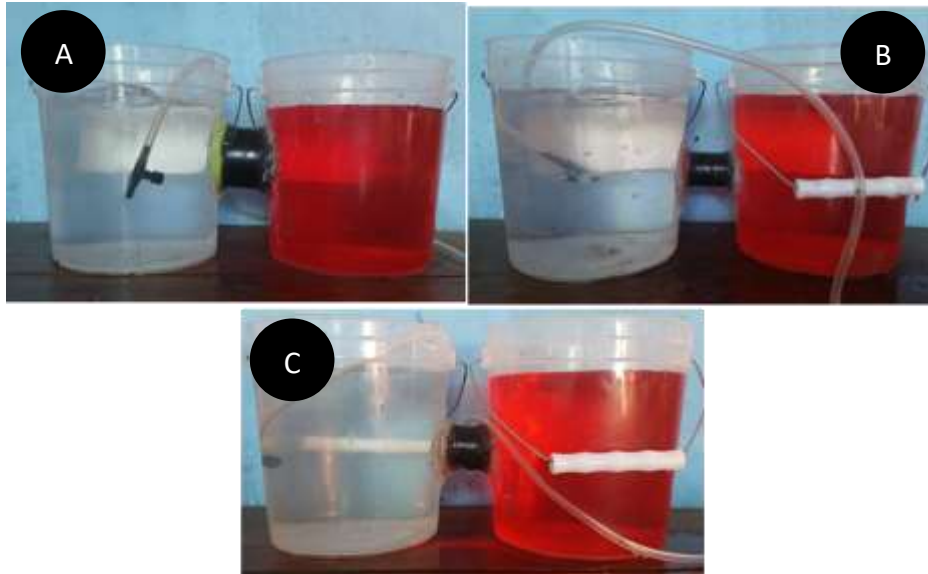
El correcto desempeño de la CCM depende en gran medida de la hermeticidad y estabilidad estructural del diseño. En este sentido, es imprescindible comprobar que no se produzcan fugas ni comunicación hidráulica no deseada entre las cámaras, ya que ello podría alterar las condiciones anaerobias y aerobias requeridas en cada compartimento. La presencia de filtraciones suele asociarse a deficiencias en el ensamblaje o en el sellado del sistema, constituyendo un factor crítico que puede comprometer la eficiencia del tratamiento (Radeef & Najim, 2024).

Asimismo, se evaluó de manera específica la zona de conexión entre el ánodo y el cátodo, especialmente en el área de instalación de la MIP, con el fin de descartar pérdidas de volumen que pudieran afectar la estabilidad operativa y el rendimiento del proceso (Cachay et al., 2022).

Por consiguiente, antes de la puesta en marcha definitiva, se efectuó esta prueba preliminar de 24 horas para identificar y corregir posibles fallas en el diseño. Durante esta evaluación también se implementaron sistemas de burbujeo, lo que permitió observar de manera más clara y homogénea cualquier anomalía asociada a filtraciones o variaciones en el comportamiento hidráulico del sistema.

Figura 9

Desarrollo de prueba de transferencia de líquidos de ánodo a cátodo.



Nota. En la imagen A se muestra las pruebas realizadas a los tratamientos con variable del independiente del diámetro de membra de protones de 48.30 mm, en la imagen B se observaría los de 26.70mm y en la imagen C las de 33.40 mm.

3.4.1.2. Aplicación del número de electrodos en las CCM

En la **Tabla 10** y **Tabla 11** mostramos los cálculos realizados para el proceso de esterilización con los reactivos de forma sólida y líquida calculando según sus proporciones estimadas.

Para el desarrollo de la aplicación de los electrodos en el agua residual adquirimos alrededor de 612 electrodos de escobilla de carbón que serán repartidas a los 9 tratamientos según la evaluación que se planteó en el desarrollo de la tesis, según la estructura propuesta para la evaluación de la efectividad de la CCM correspondiente a la cantidad de electrodos (Ghasemi et al., 2024).

Para la aplicación de los electrodos de carbón grafitado fue según lo mencionado por Wu et al. (2017) en su investigación donde el proceso de esterilización fue a través del reposo de los electrodos en alcohol por un tiempo aproximado de 24 horas. Posteriormente se desarrolló la limpieza de los electrodos a través de una solución de hidróxido de sodio (NaOH) en concentraciones de 1 Mol, luego se introdujo en una

solución de ácido clorhídrico (HCl) en proporciones de 1 Mol (Condori Pacheco & Torres Zamata, 2019).

Tabla 10

Cálculo de concentración de hidróxido de sodio para esterilización de electrodos

Peso molar o Volumen molar	Cálculo masa molar del Hidróxido de sodio	Cálculo de masa del soluto
$M = \frac{n}{V(l)}$	$NaOH = 39.995$	$n = \frac{Wslto}{PM}$
$n = M \times V(l)$	$Na = 22.989$	$Wslto = PM \times n$
$n = 1 \times 0.25$	$O = 15.999$	$Wslto = 0.25 \times 39.995$
$n = 0.25$	$H = 1.007$	$Wslto = 9.99875 \text{ g}$

Donde: M = N° de moles, n = Volumen molar, n = Volumen molar, Wslto = Peso del soluto, V = Volumen del solvente (L) y PM = Peso molecular

Tabla 11

Cálculo de concentración de ácido clorhídrico para esterilización de electrodos

Concentración molar de la solución	Volumen de solución
$C_{(m)} = \frac{10 \times d \times \%P}{Pm}$	$C_{(m)} \times V_{(m)} = C_1 \times V_1$
$C_{(m)} = \frac{10 \times 1.19 \times 38.78}{36.46}$	$V_{(m)} = \frac{C_1 \times V_1}{V_{(m)}}$
$C_{(m)} = 12.657866$	$V_{(m)} = \frac{1 \times 250}{12.657866}$
	$V_{(m)} = 19.75056 \text{ ml}$

Donde: C_(m) = Concentración molar de la solución (M), C_(m) = Concentración molar final, D = Densidad (g/mL), V_(m) = Volumen final, %P = Pureza (%), C₁ = Concentración molar inicial, Pm = Peso molecular (g/mol) y V₁ = Volumen inicial.

En la **Figura 10** se muestra parte del procedimiento aplicado para la esterilización y desinfección de los electrodos incorporados al sistema.

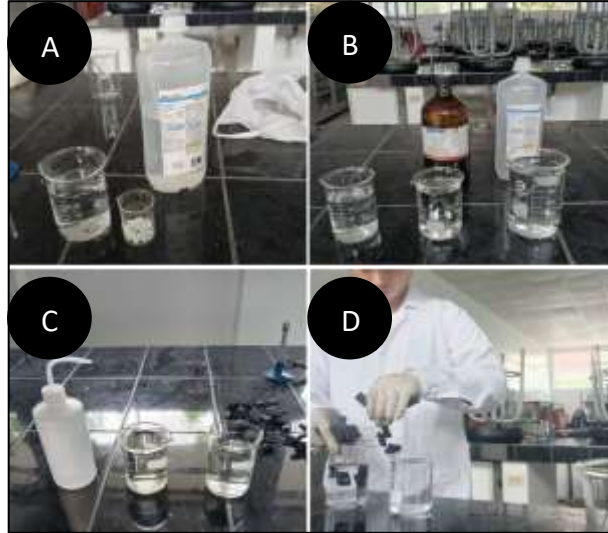
La figura describe el proceso de acondicionamiento de los materiales previo a su instalación en la CCM. En primer lugar, los electrodos fueron lavados con agua destilada con el fin de eliminar impurezas superficiales. Posteriormente, se procedió al aseguramiento de los electrodos de escobilla de carbón grafitado mediante la conexión a un cable de cobre, el cual cumple la función de facilitar la conducción eléctrica y la transferencia de energía dentro del sistema.

Seguidamente, los electrodos fueron sumergidos en una solución de alcohol al 70% durante un periodo aproximado de 24 horas, con el propósito de garantizar su

desinfección. Tras esta etapa, se emplearon soluciones 1 M de hidróxido de sodio (NaOH) y ácido clorhídrico (HCl) como parte del tratamiento químico complementario. Para ello, se realizó el cálculo correspondiente de las proporciones necesarias de cada reactivo, asegurando la adecuada preparación de las soluciones utilizadas en el proceso.

Figura 10

Proceso de esterilización de los electrodos.



Nota. Muestra el desarrollo que ejecutamos para el proceso de esterilización de los electrodos aplicables a cada uno de los electrodos en la imagen A tenemos al hidróxido de sodio, en la imagen B son los recipientes con las concentraciones de hidróxido de sodio, ácido clorhídrico y el último con agua destilada y en la imagen C y D desarrollo del proceso de esterilización.

3.4.1.3. Desarrollo de la Membrana de Intercambio Protónico (MIP).

En la **Figura 11** se muestra el procedimiento para la elaboración de la MIP, la cual se desarrolló a partir de un material polimérico compuesto, reconocido por su eficacia en el intercambio de protones (Kahraman & Akin, 2024).

El proceso inicia con la preparación del soporte polimérico. Para ello, se aplicaron dos capas de pegamento para PVC en ambas caras del paño polimérico, asegurando una distribución uniforme del adhesivo. Posteriormente, el material fue sometido a un proceso de curado o secado durante aproximadamente 24 horas, con el fin de garantizar su adecuada fijación y estabilidad estructural.

Una vez completado el secado, se procedió a la preparación de la solución activadora. En esta etapa se emplearon como reactivos NaOH y yoduro de amonio. En primer lugar, se preparó una solución de NaOH a una concentración equivalente a 4 moles (160 g/L), disolviendo la cantidad correspondiente en 500 mL de agua destilada

y agitando hasta obtener una mezcla homogénea. De manera paralela, se diluyeron 10 gramos de yoduro de amonio en 50 mL de agua, mezclando hasta lograr uniformidad. Posteriormente, ambas soluciones fueron integradas mediante agitación constante hasta obtener una solución final homogénea.

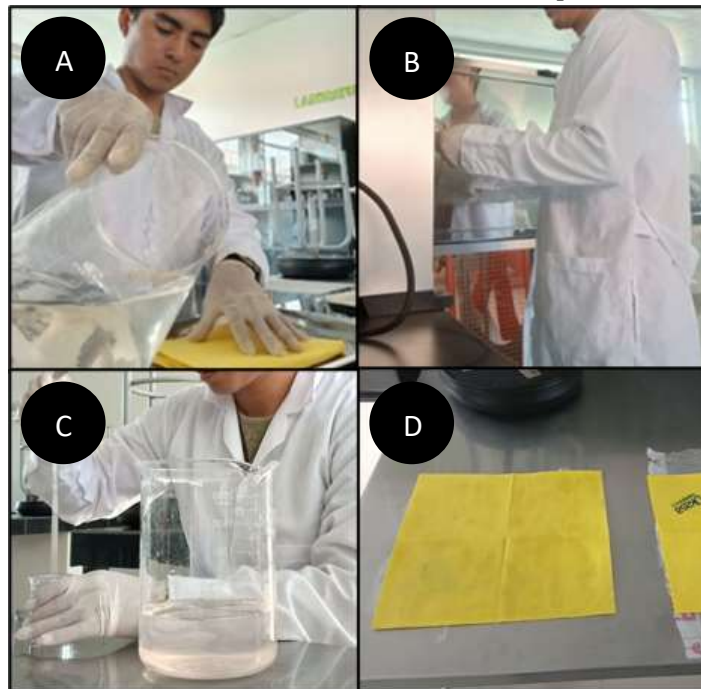
Seguidamente, los paños poliméricos previamente secos fueron colocados en un recipiente profundo, donde se añadió la solución preparada, asegurando su completa inmersión. El material se dejó en reposo durante aproximadamente 12 horas para favorecer la activación química. Finalizado este periodo, los paños fueron enjuagados con agua y posteriormente sumergidos nuevamente en agua limpia durante 6 horas. Este procedimiento de lavado se repitió dos veces, con el objetivo de eliminar residuos químicos. Finalmente, el material se dejó secar durante 24 horas.

Posteriormente, se elaboró la capa de resina de intercambio iónico con Hierro (Fe). Para ello, se preparó una mezcla compuesta por 20 gramos de pegamento PVA transparente y 5 gramos de ácido cítrico, integrando ambos componentes hasta obtener una solución uniforme. Esta mezcla fue aplicada directamente sobre la superficie del paño polimérico tratado. Luego, el material fue introducido en una estufa a una temperatura de 150 °C durante aproximadamente 45 minutos, con el propósito de favorecer la fijación y estabilización de la capa activa. Tras el tratamiento térmico, la membrana fue enjuagada con agua para retirar cualquier exceso de material (MysteriusBhoice, 2021 & Das et al., 2018).

Finalmente, la MIP fue adherida al sistema de conexión mediante un tubo de PVC, el cual permitió integrar la cámara anódica y la cámara catódica. Esta membrana cumple la función de facilitar el intercambio de protones (H^+) entre ambas cámaras, contribuyendo al equilibrio electroquímico del sistema y favoreciendo el proceso de oxidación asociado a la producción de energía.

Figura 11

Proceso de desarrollo de la membrana de intercambio protónico.



Nota. En la imagen A se muestra la primera capa del procedimiento para la formación de la membrana de intercambio de protones, así también en la imagen B podemos observar el desarrollo de la última etapa de activación de la membrana de intercambio de protones, en la imagen C podemos observar las dosificaciones y cantidades establecidas para este desarrollo y por último en la imagen D es la imagen de culminado del procedimiento.

3.4.1.4. Desarrollo de las CCM

En la **Figura 12** se presenta la CCM desarrollada para la ejecución de la investigación, mostrando sus componentes principales y los materiales empleados en su construcción.

La elaboración del prototipo inició con la medición y corte de tubos de CPVC de $\frac{3}{4}$ ", 1" y 1 $\frac{1}{2}$ ", cada uno con una longitud aproximada de 5 cm. Estos elementos fueron utilizados como puentes de conexión entre la cámara anódica y la cámara catódica, permitiendo la integración del sistema para el tratamiento de las aguas residuales generadas durante el proceso de despulpado y lavado de café.

Posteriormente, se procedió a medir y marcar en los baldes de plástico los puntos de conexión correspondientes a los codos de unión. Los orificios fueron realizados cuidadosamente con un caudín, respetando las dimensiones previamente establecidas para asegurar un ajuste adecuado. Con el fin de garantizar la hermeticidad del sistema, se aplicó cinta de teflón en ambos extremos de las uniones, reforzando el sellado

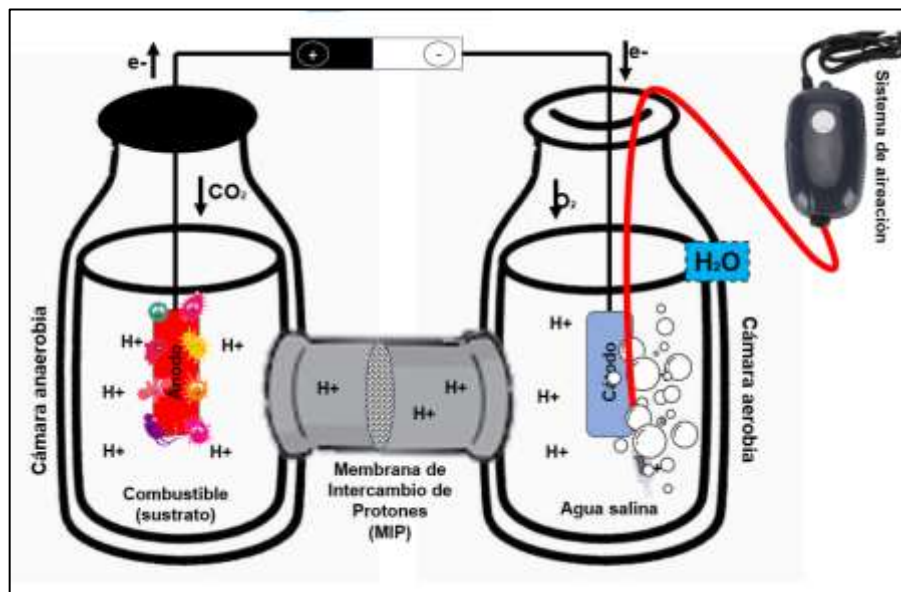
mediante pegamento para PVC y silicona caliente, lo que permitió mejorar la estabilidad estructural y evitar posibles filtraciones.

Asimismo, se efectuó la conexión de los cables de cobre a los electrodos en cada compartimento, asegurando una adecuada conducción eléctrica y continuidad del circuito externo. Una vez completado el ensamblaje, todos los componentes fueron instalados conforme al diseño experimental planteado, verificando su correcta disposición y estabilidad mecánica.

Posteriormente, se incorporó agua residual en la cámara anódica y agua desionizada en la cámara catódica, quedando el sistema configurado para el inicio de los ensayos experimentales. Finalmente, se instaló un burbujeador de pecera con la finalidad de optimizar el proceso de aireación en la cámara catódica. Dado que se trata de un prototipo a pequeña escala, su diseño no permite una adecuada oxigenación natural; por ello, la incorporación de este dispositivo resultó necesaria para asegurar condiciones aerobias estables y favorecer el rendimiento del sistema (Manesh et al., 2024)

Figura 12

Diseño de Celdas de Combustible Microbiana (CCM).



Nota. Distribución del diámetro de la membrana de intercambio protónico aplicable a cada uno de los 9 tratamientos y sus 3 réplicas ejecutados en el desarrollo de las celdas de combustible microbiana.

3.4.2. *Obtención de muestra para adaptación del biofilm*

Para la obtención de muestra de agua se realizará a través de la Resolución Jefatural N° R.J. 010-2016-ANA que nos habla acerca del “Protocolo Nacional Para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales”.

Tipo de muestra compuesta: Representa una muestra homogénea de varias muestras simples que son colectadas en un tiempo determinado según las cantidades que las componen, para ello es necesario saber el volumen fijo y el volumen de cada muestra simple. Este tipo de muestra es se realiza cuando se necesita conocer las condiciones promedio de dentro de un determinado tiempo.

Para la toma de muestra tomamos en cuenta que el funcionamiento de la cámara anaeróbica tiene una similitud a un reactor anaerobio lo que en cualquier caso se debe tomar en cuenta la presencia de elementos sólidos grandes lo que es necesario considerar en el desarrollo de la toma de muestra (Pacheco & Zamata, 2019).

La muestra que se recolecto de agua miel del anexo Cerro Picaflor para la toma de sub muestras se utilizó un colador como medio de retención de sólidos gruesos para cada una de las muestras tomadas durante la temporada de producción de café las cuales fueron recolectadas periódicamente en un tiempo total de 1 hora aproximadamente que es tiempo aproximado utilizado en la obtención del agua miel, los cuales fueron divididos en sub muestras en un tiempo aproximado de 15 minutos para posteriormente este integrarse a una sola muestra.

Posteriormente se transportó la muestra a través de una de un auto de tipo Station Wagon para el transporte adecuado de las muestras, evitando así cualquier tipo de percance de derrames o fugas del agua residual del despulpado y lavado de café, se transportaron 5 baldes de aproximadamente 20 litros cada uno hacia el laboratorio de la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa (UNISCJSA) que se encuentra en Bajo aldea – Perene.

3.4.3. *Optimización del pH del agua residual para desarrollo del biofilm*

En la **Figura 13** podemos observar la concentración utilizada para neutralizar el agua residual para el desarrollo del biofilm el cual servirá para proporcionar de microorganismos depuradores a los electrodos

En la **Figura 13** el pH óptimo del sistema presente en la literatura del sistema se nos menciona que para un desarrollo óptimo del bio film en los electrodos es importante generar ciertas condiciones óptimas en el desarrollo del sistema, para ello sabemos que las concentraciones acidas del agua residual evitan el desarrollo óptimo de los

microorganismos en los electrodos, siendo un pH 7 el más adecuado para el desarrollo del sistema (Nawaz et al., 2022).

En este caso utilizamos NaOH para la optimización del pH en el agua siendo una clara fuente alcalina que en proporciones moderadas puede proporcionar un pH óptimo para el desarrollo del biofilm; para lo que utilizamos las proporciones en 0.08 mol en 2 litros de agua residual del lavado y despulpado de café (Do et al., 2018).

Figura 13

Medición de pH para su optimización y desarrollo óptimo del sistema.



Nota. Medición de pH óptimo basado en pH neutro de 6.5 y 7.5 y cuaderno de campo para la anotación de resultados.

3.4.4. Adaptación al ambiente de las biopelículas

En la **Figura 14** demostramos el proceso de incubación con el agua residual optimizada a un pH neutro para posteriormente proporcionar los microorganismos para el tratamiento.

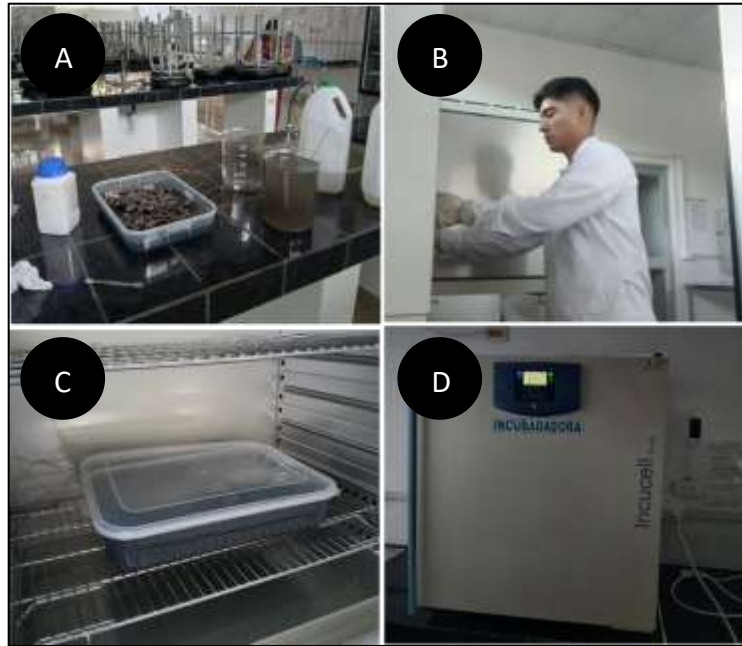
De acuerdo con estudios anteriores vasados en este sistema se debe tomar en cuenta la etapa de acondicionamiento la cual deben ser adheridas en los electrodos previamente esterilizados para su funcionamiento y desarrollo óptimo (Manesh et al., 2024).

En la **Figura 14** para el desarrollo de nuestro sistema utilizamos recipientes de aproximadamente 6 litros los cuales servirán como envases que contendrán agua residual con alta carga orgánica del despulpado de café que serán utilizados a manera de lodos para la formación de bio film que serán encapsulados y posteriormente son introducidos a una incubadora por un tiempo aproximado de 360 horas a una

temperatura de 35 °C grados siendo una temperatura óptima para el desarrollo microbiano.

Figura 14

Desarrollo de 15 días de adaptación de los electrodos al medio microbiano.



Nota. En la imagen A podemos encontrar el procedimiento antes del ingreso al sistema del de los electrodos antes de su ingreso a la etapa de adaptación, en la imagen B podemos encontrar el ingreso a la incubadora de los electrodos para la formalización del biofilm, en la imagen C podemos observar la colocación en la incubadora del recipiente con los electrodos para la formalización del biofilm, en la imagen D podemos observar la programación de 360 horas en el cual según la teoría nos mencionan que el desarrollo microbiano sucede en temperaturas entre 20 a 35 °C (Manesh et al., 2024).

En la **Figura 15** se observa parte del proceso de adaptación de los microorganismos al medio luego de la adición del biofilm al electrodo.

Así también se explica en la **Figura 15**, el procedimiento para la introducción en recipientes de aproximadamente 2000 mL en los cuales el sistema de CCM utilizada en el desarrollo de la investigación incentivo el desarrollo de la formación de las biopelículas en los electrodos y en los alrededores adaptables a ella, para este procedimiento se mantuvo a temperatura ambiente según la temperatura establecida en Bajo Aldea – Perené que se encuentra aproximadamente entre los 25 a 30 °C en un tiempo aproximado de 7 días para un desarrollo óptimo de adaptación al sistema (Álvarez Bautista, 2020).

Durante este tiempo se sostuvo un desarrollo óptimo y comportamiento de los microorganismos dentro de las semanas de adaptación en los parámetros de pH y

Temperatura. Para el desarrollo del sistema se adiciono un aproximado de 2000 mL de agua residual del despulpado y lavado de café, este desarrollo se dio en los 9 tratamientos con sus 3 réplicas.

Figura 15

Desarrollo de las celdas de combustible microbiana para los 7 días de adaptación.



Nota. En la imagen A podemos observar el proceso de formalización del biofilm en los recipientes de la cámara anódica para adaptación al medio, en la imagen B podemos observar el proceso de adaptación en los medios por 7 días.

3.4.5. Obtención de muestra para el tratamiento

En la **Figura 16** se observa la toma de muestra de todo el proceso de lavado y despulpado para un resultado más homogéneo.

Así también en la **Figura 16** se realizará a través de la Resolución Jefatural N° R.J. 010-2016-ANA que nos habla acerca del “Protocolo Nacional Para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales”.

Tipo de muestra compuesta: Representa una muestra homogénea de varias muestras simples que son colectadas en un tiempo determinado según las cantidades que las componen, para ello es necesario saber el volumen fijo y el volumen de cada muestra simple. Este tipo de muestra se realiza cuando se necesita conocer las condiciones promedio dentro de un determinado tiempo.

Para la toma de muestra tomamos en cuenta que su funcionamiento la cámara anaeróbica tiene una similitud a un reactor anaerobio lo que enfatiza tomar en cuenta la presencia de elementos solidos grandes considerados en el desarrollo de la toma de muestra (Pacheco & Zamata, 2019).

La muestra que fue recolectada de agua miel del anexo Cerro Picaflor donde se tomó utilizando un colador para las sub muestras como medio de retención de solidos gruesos para cada una de ellas tomadas durante la temporada de producción de café las cuales fueron recolectadas periódicamente en un tiempo total de 1 hora aproximadamente que es tiempo aproximado utilizado en la obtención del agua miel,

divididos en sub muestras en un tiempo aproximado de 15 minutos para posteriormente este integrarse a una sola muestra.

Posteriormente se transportó la muestra a través de una de un auto de tipo Station Wagon para el transporte adecuado de las muestras, evitando así cualquier tipo de percance de derrames o fugas del agua residual del despulpado y lavado de café, se transportaron en baldes de aproximadamente 20 litros cada uno hacia el laboratorio de la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa (UNISCJSA) que se encuentra en Bajo aldea – Perene.

En nuestro desarrollo a partir de este punto el procedimiento pertenece a la etapa del tratamiento como ya mencionamos donde para cada proceso se realizaran mediciones de DBO, SST, pH, temperatura y conductividad ya que para un desarrollo óptimo de nuestro sistema es importante contemplar estos parámetros para evaluar y mejorar las condiciones así logrando las condiciones óptimas ya mencionadas (Contreras & Naranjo, 2021) los parámetros medidos de DBO y SST se plasmaran en los resultados con el mismo nombre para representar la muestra de agua original

Figura 16

Toma de muestra del agua residual para los tratamientos.



Nota. En la imagen A podemos observar la toma de muestra del agua residual, en la imagen B podemos encontrar el proceso de colocación de utilización para evitar el paso del café y sus cascaras, en la imagen C podemos observar el agua residual de café y en la imagen D podemos observar las tomas de muestras tomadas.

3.4.6. Procedimiento de pre tratamiento antes del ingreso al diseño de CCM

En la **Figura 17** se presenta el proceso de oxidación aplicado como etapa preliminar para la reducción de la carga orgánica del agua miel proveniente del despulpado y lavado de café. Esta fase comprende desde la toma de muestra inicial hasta la obtención de los resultados posteriores al tratamiento oxidativo.

El agua miel generada en el proceso de beneficio del café se caracteriza por contener altas concentraciones de materia orgánica, compuestos fenólicos, azúcares, sólidos suspendidos y un pH generalmente ácido. Estas condiciones pueden afectar el desempeño de las CCM, ya que una carga orgánica excesiva puede inhibir la actividad microbiana y disminuir la eficiencia del sistema. Por ello, diversos estudios señalan la necesidad de regular la concentración del afluente antes de su ingreso al tratamiento biológico, con el fin de garantizar condiciones más estables y favorables para la degradación electroquímica (Pugazhendi et al., 2024).

En este contexto, se aplicó un proceso de oxidación con una duración aproximada de 24 horas, previo al pretratamiento definitivo y al ingreso al sistema. El objetivo principal de esta etapa fue disminuir parcialmente la carga orgánica abundante presente en el agua residual, facilitando así su posterior tratamiento. La oxidación contribuye a la degradación de compuestos orgánicos complejos, transformándolos en estructuras más simples y biodegradables, lo que mejora la eficiencia del sistema biológico posterior (Torres-Valenzuela et al., 2019).

Asimismo, debido a la naturaleza ácida del agua miel y a su elevado contenido de sólidos y compuestos fenólicos, se favorecen reacciones de oxidación que permiten reducir la concentración de estos componentes. La disminución de dichos compuestos resulta fundamental, ya que algunos pueden ejercer efectos inhibitorios sobre los microorganismos responsables del proceso electroquímico en el ánodo (Bidira et al., 2022).

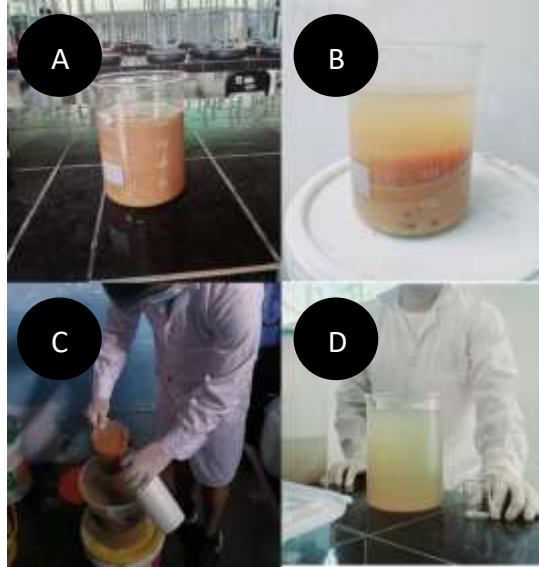
Durante esta etapa se evaluaron parámetros fisicoquímicos clave para determinar la efectividad del proceso, tales como la DBO, los SST, el pH, la temperatura y la conductividad eléctrica. Estos indicadores permiten analizar la evolución del agua residual y verificar si las condiciones alcanzadas son adecuadas para su ingreso al sistema. En particular, la conductividad eléctrica es un parámetro relevante, ya que influye en la transferencia de carga dentro de la CCM, mientras que el control del pH favorece la estabilidad metabólica de las comunidades microbianas.

En los resultados, los valores correspondientes al agua residual posterior a la oxidación se identifican mediante la nomenclatura DBO (DBO OX) y SST (SST OX),

lo que permite diferenciar claramente esta etapa del tratamiento respecto a la muestra inicial.

Figura 17

Proceso de oxidación de agua residual para reducción de carga orgánica.



Nota. En la imagen A podemos observar el agua residual después de la toma de muestra del agua residual original, en la imagen B podemos observar el desarrollo del proceso de oxidación del agua residual, en la imagen C podemos observar la toma de muestra del agua residual original para su análisis y por último en la imagen D podemos observar la toma de muestra del agua residual oxidada y al lado la proporción de hidróxido de sodio añadido para su neutralización a un pH 7.

3.4.7. Optimización del pH del agua residual

En la **Tabla 12** mostramos el cálculo correspondiente al desarrollo de la adición del NaOH el cual ayuda a poder proporcionar un ambiente adecuado para el tratamiento.

En la **Tabla 12** se nos explica que para un desarrollo adecuado de la biopelículas en el desarrollo microbiano del agua residual del despulpado y lavado del café proporcionamos ambientes óptimos para el desarrollo microbiano, para ello se desarrolló un pH óptimo que debe variar entre 6.5 a 7.5 siendo un pH adecuado que impulsa el desarrollo microbiano (Torres-Valenzuela, 2019).

Para ello analizamos el pH del agua residual de despulpado y lavado de café que se encuentra en un pH con variaciones de entre 3 a 4 lo que lo clasifica como una sustancia acida siendo un ambiente inadecuado para el desarrollo (Nawaz et al., 2022).

Según el desarrollo óptimo del sistema presente en la literatura se nos menciona que para un desarrollo óptimo del bio film en los electrodos es importante generar ciertas condiciones óptimas, para ello sabemos que las concentraciones acidas del agua residual

evitan el desarrollo óptimo de los microorganismos en los electrodos, siendo un pH 7 el más adecuado para el desarrollo del sistema (Nawaz et al., 2022).

En este caso utilizamos NaOH para la optimización del pH en el agua siendo una clara fuente alcalina que en proporciones moderadas puede proporcionar un pH óptimo para el desarrollo del bio film; para esto utilizamos proporciones de 0.05 mol en 2 litros de agua residual del lavado y despulpado de café (Do et al., 2018).

Al igual que los anteriores puntos también se desarrollaron las mediciones de los parámetros de DBO, SST, pH, temperatura y conductividad, en ese sentido los resultados se visualizan en los resultados para los parámetros de DBO y SST a la simbología de DBO_PT y SST_PT

Las proporciones añadidas fueron calculadas a partir de la siguiente tabla.

Tabla 12

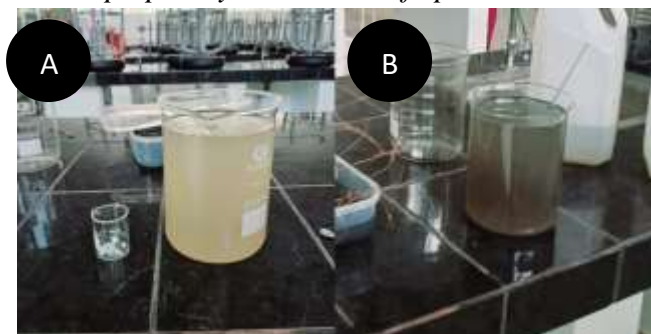
Cálculo de Concentración de Hidróxido de Sodio para pH optimo.

Peso molar o Volumen molar	Calculo masa molar del Hidróxido de sodio	Cálculo de masa del soluto
$M = \frac{n}{V(L)}$	$NaOH = 39.995$	$n = \frac{Wslto}{PM}$
$n = M \times V(L)$	$Na = 22.989$	$Wslto = PM \times n$
$n = 0.05 \times 2$	$O = 15.999$	$Wslto = 0.1 \times 39.995$
$n = 0.1$	$H = 1.007$	$Wslto = 3.9995 \text{ g}$

Nota. En este cálculo desarrollamos las proporciones añadidas de hidróxido de sodio al agua residual del lavado y despulpado de café para optimizar el pH proporcional a uno pH neutro de 6.5 a 7.5.

Figura 18

Agua residual del despulpado y lavado de café pre tratada con NaOH.



Nota. En la imagen A podemos observar el agua residual oxidada por 24 h obtenida y en la imagen B podemos observar el agua residual obtenida luego del proceso de neutralización del pH.

3.4.8. Optimización de electrolitos en cátodo

En la **Tabla 13** y **Tabla 14** podemos observar el cálculo que se desarrolla para la adición de electrolitos que ayuda al agua desionizada a poder mejorar la conductividad para una adecuada transferencia de electrones.

En la **Tabla 13** y **Tabla 14** también contemplamos la presencia de agente que afecten la capacidad electroquímica y la depuración del sistema en el tratamiento microbiano donde debemos considerar una conductividad adecuada para el desarrollo de la transferencia de electrones y solucionar la interferencia de agentes externos depuradores de contaminantes que afectan el desarrollo microbiano en los electrodos de escobilla de carbón (Do et al., 2018).

En este caso adicionamos cloruro de sodio (NaCl) y bicarbonato de sodio (NaHCO₃) para proporcionar de conductividad a la cámara catódica que el agua desionizada no cuenta siendo necesarios para la transferencia de electrones (Dhawle et al., 2024).

Como punto importante a destacar es que en este punto se tienen las condiciones necesarias para el desarrollo del tratamiento del agua residual ya que cuenta con las condiciones óptimas de pH con condiciones neutras favorable para el desarrollo microbiano, una conductividad adecuada a partir del reactivo agregado lo que mejora las condiciones.

Tabla 13

Cálculo de concentración de electrolitos en la cámara catódica de NaCl.

Peso molar o Volumen molar	Calculo masa molar del Hidróxido de sodio	Cálculo de masa del soluto
$M = \frac{n}{V(l)}$	$NaCl = 58.5$	$n = \frac{Wslto}{PM}$
$n = M \times V(l)$	$Na = 22.989$	$Wslto = PM \times n$
$n = 0.05 \times 2$	$Cl = 35.463$	$Wslto = 0.1 \times 58.5$
$n = 0.1$		$Wslto = 5.85 \text{ g}$

Nota. En este cálculo desarrollamos las proporciones añadidas de cloruro de sodio al agua desionizada para optimizar la conductividad en la cámara catódica, para una transferencia de electrones adecuada.

Tabla 14*Cálculo de concentración de electrolitos en la cámara catódica de NaHCO₃.*

Peso molar o Volumen molar	Calculo masa molar del Hidróxido de sodio	Cálculo de masa del soluto
$M = \frac{n}{V(L)}$	$NaHCO_3 = 84.006$	$n = \frac{Wslto}{PM}$
$n = M \times V(L)$	$Na = 22.989$	$Wslto = PM \times n$
$n = 0.01 \times 2$	$H = 1.00794$	$Wslto = 0.1 \times 84.006$
$n = 0.02$	$C = 12.0107$	$Wslto = 1.68012 \text{ g}$
	$O3 = 57.1362$	

Nota. En este cálculo desarrollamos las proporciones añadidas de bicarbonato de sodio al agua desionizada para optimizar la conductividad en la cámara catódica, para una transferencia de electrones adecuada

3.4.9. Etapa de funcionamiento de las CCM

En la **Figura 19** tenemos el inicio de la etapa de tratamiento del agua residual para su posterior análisis.

En la **Figura 19** explicamos como última etapa el funcionamiento de las CCM la cual desarrollo los 9 tratamientos con sus 3 réplicas, para lo que se analizaron durante cada proceso los parámetros de SST y DBO donde proporcionamos una cantidad aproximada de agua residual del despulpado y lavado de café pre tratada de 2000 mL esto con la finalidad de no saturar los recipientes.

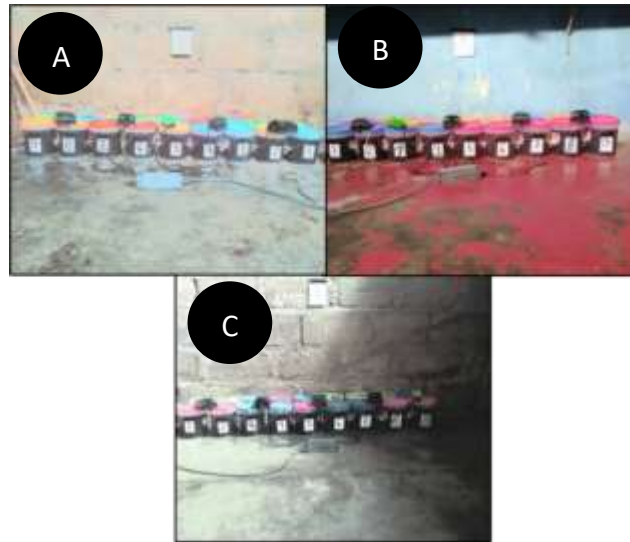
Posteriormente luego de la adición de del agua residual del despulpado y lavado de café pre tratada a las cámaras anódicas se procedió a cerrarlas por completo para evitar el ingreso del aire, posteriormente añadimos agua desionizada a las cámaras catódicas con volúmenes de agua similares las cuales son aireadas en la cámara catódica para el desarrollo del tratamiento en la cámara anódica a través del proceso de transferencia de electrones de ánodo a cátodo.

Por ello es importante tomar en cuenta la proporción de conductividad de ambas cámaras para una transferencia de electrones adecuada, es necesario poder contar con conductividades similares con una variación superior de 2 mS/cm en la cámara anódica para el proceso de depuración de contaminantes (Dhawle et al., 2024).

Optimizando los electrolitos en la cámara catódica tenemos en cuenta la adición de NaCl y NaHCO₃ en proporciones calculadas.

Figura 19

Inicio de la etapa de tratamiento.



Nota. En la imagen A, B y C podemos observar los tratamientos con sus réplicas para su desarrollo.

3.4.10. Análisis de los tratamientos

3.4.10.1. Obtención de sólidos en suspensión totales (SST)

Para la determinación de los SST se emplearon los siguientes materiales: probeta graduada, pinzas metálicas, filtro de fibra de vidrio, matraz Erlenmeyer con desprendimiento lateral, embudo Büchner, bomba de vacío, desecador, estufa, mufla y balanza analítica. En primer lugar, los filtros de fibra de vidrio fueron acondicionados colocándolos en la mufla a 105 °C durante una hora y, posteriormente, transferidos al desecador hasta que alcanzaron la temperatura ambiente. Una vez estabilizados, se procedió a determinar el peso inicial de cada filtro utilizando una balanza analítica de precisión. Luego, se midió un volumen aproximado de 50 mL de la muestra de agua residual con ayuda de una probeta graduada, el cual se sometió al proceso de filtración utilizando el embudo Büchner acoplado a un matraz Erlenmeyer conectado a una bomba de vacío. El filtrado quedó retenido en el filtro previamente acondicionado y, acto seguido, este fue colocado en una estufa a una temperatura controlada durante un período de aproximadamente 24 horas. Transcurrido este tiempo, se trasladó nuevamente el filtro al desecador por 30 minutos para permitir su estabilización a temperatura ambiente y, posteriormente, se registró su peso. A continuación, los filtros con la muestra retenida fueron sometidos a un tratamiento en la mufla a una temperatura de aproximadamente 500 °C con el fin de eliminar la fracción volátil, repitiéndose el proceso de transferencia al desecador y el pesaje correspondiente para obtener el peso

final. Finalmente, el contenido de SST se determinó mediante la aplicación de la fórmula correspondiente, considerando la diferencia de pesos y el volumen de la muestra procesada.

$$SST = \frac{W \text{ filtro } 105^{\circ}\text{C} - W \text{ filtro}}{\text{Volumen de la Muestra}}$$

3.4.10.2. Método de incubación para hallar DBO5

Equipos

Para la determinación de la DBO se emplearon diversos equipos de laboratorio que garantizaron precisión y confiabilidad en los resultados obtenidos. Se utilizó una balanza analítica para el pesado exacto de los reactivos, una estufa con control de temperatura de 103 ± 1 °C para acondicionar materiales y un medidor de oxígeno disuelto, el cual resultó fundamental para registrar las concentraciones iniciales y finales de oxígeno. Asimismo, se hizo uso de un pH-metro para ajustar los valores de pH de las soluciones preparadas, un aireador de acuario que permitió mantener oxigenadas las soluciones madre y evitar condiciones anóxicas antes de la prueba, así como una plancha de agitación y un agitador magnético con barra agitadora para asegurar la correcta disolución y homogeneización de las mezclas.

Materiales

Los materiales empleados en el procedimiento estuvieron constituidos principalmente por utensilios de vidrio y accesorios de laboratorio que facilitaron la manipulación de reactivos y muestras. Se utilizaron micro espátulas metálicas, balones aforados de distintas capacidades, pipetas aforadas y graduadas, probetas de medición, peras de succión, vasos de precipitación, botellas Winkler con capacidad de 300 mL, necesarias específicamente para el ensayo de DBO, además de garrafas para almacenamiento de soluciones, así como otros utensilios complementarios requeridos en el desarrollo experimental.

Reactivos

En cuanto a los reactivos, estos fueron preparados bajo estrictas condiciones de calidad, empleando agua ultrapura tipo I, con el propósito de asegurar que no se presentaran interferencias externas durante el ensayo. Se preparó una solución tampón de fosfato disolviendo 4,25 g de KH_2PO_4 , 10,875 g de K_2HPO_4 , 16,7 g de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y 0,85 g de NH_4Cl en 250 mL de agua ultrapura y aforando a 500 mL, obteniendo un pH de 7,2 sin necesidad de ajuste. De manera complementaria, se elaboró

una solución alterna a partir de 42,5 g de KH_2PO_4 y 1,7 g de NH_4Cl en 700 mL de agua destilada, ajustando el pH con NaOH al 30 % y llevando a un litro de volumen total, la cual fue descartada en caso de presentar crecimiento biológico. Asimismo, se prepararon soluciones de sulfato de magnesio con 11,25 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, cloruro de calcio con 13,75 g de CaCl_2 y cloruro férrico (III) con 0,25 g de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, todas ellas disueltas en agua ultrapura y descartadas en caso de observarse proliferación biológica.

Adicionalmente, se preparó una solución de cloruro de amonio con 1,15 g de NH_4Cl en 500 mL de agua destilada, ajustada a un pH de 7,2 con NaOH y completada a un litro, con una concentración de 0,3 mg N/mL. Para los ajustes de acidez y alcalinidad se elaboró una solución de ácido sulfúrico 1 N, obtenida mediante la adición controlada de 28 mL de ácido sulfúrico concentrado en 300 mL de agua ultrapura y completada a un litro, empleándose posteriormente en una dilución de 0,1 N. De igual manera, se preparó una solución de hidróxido de sodio 1 N disolviendo 40 g de NaOH en agua ultrapura y aforando a un litro. Se utilizó además un reactivo decolorante a base de sulfito de sodio, preparado con 1,575 g de Na_2SO_3 en un litro de agua destilada, solución que por su inestabilidad debió prepararse diariamente. Finalmente, el agua de dilución para los ensayos de DBO se obtuvo a partir de agua ultrapura tipo I, asegurando condiciones libres de contaminantes.

Desarrollo

El análisis de la demanda bioquímica de oxígeno se fundamenta en la medición del oxígeno consumido por los microorganismos presentes en la muestra de agua residual, los cuales utilizan la materia orgánica biodegradable como fuente de energía bajo condiciones controladas. El procedimiento consistió en llenar cuidadosamente las botellas Winkler de 300 mL con la muestra previamente diluida y oxigenada, evitando la formación de burbujas de aire que pudieran alterar los resultados. Una vez selladas herméticamente, las botellas fueron incubadas a una temperatura constante de 20 ± 1 °C durante cinco días.

El oxígeno disuelto se midió inicialmente al momento de preparar la muestra y posteriormente al término del periodo de incubación. La diferencia entre la concentración de oxígeno inicial y final permitió calcular la DBO_5 , la cual constituye un indicador de la carga orgánica biodegradable presente en el agua. Este método, ampliamente aceptado y estandarizado, resulta esencial para evaluar la calidad del agua residual y la eficiencia de los procesos biológicos de tratamiento, ya que refleja el grado de contaminación y el potencial impacto ambiental del efluente.

3.5. Análisis de datos

Para cada objetivo específico se utilizará el siguiente tratamiento estadístico

- Para la prueba de hipótesis se utilizará la prueba de T de Student de una sola muestra o Mann Whitney, tomando como referencia los Límites Máximos Permisibles del Procesamiento de Alimentos y Bebidas del IFC.
- Para la prueba de hipótesis se utilizará la prueba de ANOVA, por el análisis de los 9 grupos de los tratamientos.
- Para la prueba de hipótesis se utilizará la prueba de ANOVA, por el análisis de los 9 grupos de los tratamientos.

Todos con un nivel de significancia del $\alpha = 0.05$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Presentación de resultados y discusiones

4.1.1. Parámetros físico-químicos antes del ingreso al sistema de las aguas residuales del despulpado y lavado de café provenientes del Anexo Cerro el Picaflor.

La **Tabla 15** presenta las mediciones de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua recolectadas en el anexo Cerro el Picaflor, también presentamos también el promedio, desviación estándar y los LMP.

En la **Tabla 15** se observa que los valores de DBO presentaron un promedio de 455.4 mg/L \pm 0.28, lo cual se considera un resultado elevado en comparación con los LMP establecidos para el procesamiento de alimentos y bebidas de animales. Este comportamiento coincide con lo reportado por Contreras & Naranjo, (2021) , quienes también señalaron valores superiores en aguas residuales de café, reflejando la alta carga orgánica típica de este tipo de efluentes. De manera complementaria, estudios como los de Campos et al., (2021) evidenciaron concentraciones entre 400–500 mg/L de DBO, valores similares a los obtenidos en la investigación, confirmando que la materia orgánica del aguamiel supera los estándares normativos y constituye un factor limitante para su vertimiento directo.

En el mismo sentido, los valores de SST alcanzaron 863.7 mg/L \pm 0.51, cifra comparable con lo reportado por Torres-Valenzuela et al., (2019) , quienes obtuvieron aproximadamente 800 mg/L en efluentes derivados del despulpado de café. Lo que demuestra que los SST se encuentran persistentemente por encima de los LMP, representando un riesgo para el ambiente acuático al incrementar la turbidez y dificultar los procesos de autodepuración natural.

Respecto al pH, se registró un valor promedio de 3.6 \pm 0.03, evidenciando una condición ácida. Este hallazgo resulta relevante, dado que un pH ácido afecta negativamente la actividad microbiana en sistemas de tratamiento. Dicho resultado coincide con lo descrito por Granadino & Torres, (2020) , quienes identificaron valores entre 3.5 y 4.0 en aguas residuales del café, calificándolos como inadecuados para procesos biológicos convencionales. Del mismo modo, Huamán, (2023) enfatizaron que el pH ácido es un factor crítico que requiere neutralización previa, ya que limita la eficiencia de procesos como las CCM.

En cuanto a la temperatura, se obtuvo un promedio de 25 ± 0.05 °C, lo que corresponde a condiciones ambientales adecuadas. Este resultado es consistente con lo descrito por Manesh et al., (2024) donde se menciona que los rangos de temperatura entre 25 y 35 °C son óptimos para el desarrollo de actividad microbiana y la estabilización parcial de la materia orgánica.

Finalmente, la conductividad eléctrica alcanzó un valor de $3502.1 \mu\text{m/cm} \pm 0.02$, considerado relativamente bajo para una óptima transferencia de electrones entre ánodo y cátodo en sistemas de CCM. Este resultado guarda similitud con lo reportado por Granadino & Torres, (2020), quienes registraron valores cercanos a $3030 \mu\text{m/cm}$, y con lo observado (Do et al., 2018), quienes identificaron que, en aguas residuales con baja conductividad, necesitan mejorar la eficiencia de los procesos bioelectroquímicos.

Tabla 15

Parámetros fisicoquímicos iniciales del agua residual sin pre tratamiento.

Parámetros	Und	Valores			Promedio	Desviación Estándar	Límites Máximos Permisibles
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3			
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	455.5	455.1	455.5	455.4	0.282	50
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	863.3	863.4	864.3	863.7	0.517	50
Potencial de Hidrogeno (pH)	Und pH	3.6	3.6	3.6	3.6	0.032	
Temperatura	°C	25	25.1	25	25	0.058	
Conductividad	$\mu\text{m/cm}$	3502.1	3502.1	3502.1	3502.1	0.021	

La **Tabla 16** presenta las mediciones de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua luego del proceso de oxidación por 24h, así mismo presentamos también el promedio, desviación estándar y los LMP.

En la **Tabla 16** se evidencia una reducción significativa de la demanda DBO, alcanzando un promedio de $197.5 \text{ mg/L} \pm 0.137$ tras el proceso de oxidación. Este comportamiento confirma la disminución de la materia orgánica, en concordancia con lo reportado por Paredes et al., (2018), quienes evaluaron la degradación biológica de aguas mieles y registraron reducciones de contaminantes orgánicos entre el 72% y el

85% bajo tiempos de retención hidráulica prolongados. Del mismo modo, los SST presentaron un promedio de 456.5 mg/L \pm 0.315, reflejando una disminución respecto a la muestra inicial, lo que también señala un efecto positivo de la oxidación sobre la materia orgánica, tal como sostienen Ijanu et al., (2019). en sus estudios.

En relación con el pH, se obtuvo un valor promedio de 3.92 \pm 0.006, lo que representa una ligera mejora en comparación con la muestra inicial, favoreciendo parcialmente las condiciones para el tratamiento. Este resultado concuerda con lo descrito por (Bidira et al., 2022) , quienes resaltan la importancia de ajustar el pH en sistemas de oxidación para optimizar la actividad microbiana.

Asimismo, la temperatura se mantuvo en 25.93 °C \pm 0.058, incremento atribuible tanto a las condiciones ambientales como al propio proceso de oxidación, permaneciendo dentro del rango adecuado para la actividad biológica. Finalmente, la conductividad registró un aumento hasta 2.2 S/m \pm 0.027, lo que sugiere una mayor disponibilidad iónica que favorece la transferencia de electrones durante el tratamiento. Este hallazgo coincide con lo señalado por (Mosquera et al., 2019), quienes demostraron que los procesos de oxidación aplicados como pretratamiento en aguas residuales de café optimizan la depuración al mejorar la conductividad, logrando eficiencias de reducción de hasta el 82.5%.

Los resultados resaltan la importancia de garantizar condiciones óptimas para el desarrollo microbiano, tal como enfatizan Manesh et al. (2024).

Tabla 16

Parámetros físico-químicos en la etapa de oxidación.

Parámetros	Und	Valores			Promedio	Desviación Estándar	Límites Máximos Permisibles
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3			
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	197.3	197.6	197.5	197.5	0.137	50
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	456.2	456.3	456.8	456.5	0.315	50
Potencial de Hidrogeno (pH)	Und pH	3.9	3.9	3.9	3.9	0.006	
Temperatura	°C	25,9	25,9	26	25,9	0.058	
Conductividad	sm/cm	2.2	2.2	2.2	2.2	0.027	

En la **Tabla 17** presenta las mediciones de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua luego del proceso de neutralización del pH con NaOH, de igual modo presentamos el promedio, la desviación estándar y los LMP.

En la **Tabla 17** se observa un pH optimizado hasta un valor promedio de 7.22 ± 0.01 , lo que represento un ambiente neutro y, por ende, favorable para el desarrollo microbiano. En contraste con los valores ácidos iniciales de la muestra (≈ 3.6) y coincide con lo reportado por Huamán, (2023) , quien, al aplicar un reactivo similar en aguas residuales de cacao, logró neutralizar el pH hacia condiciones óptimas.

Respecto a la DBO, se registró un valor promedio de $251.9 \text{ mg/L} \pm 0.2$, lo que representa un ligero incremento respecto a la etapa anterior. Este comportamiento puede atribuirse a la generación de condiciones más adecuadas para la actividad microbiana, tal como lo explican Radeef & Najim, (2024) , quienes señalan que un pH cercano a la neutralidad favorece la solubilización parcial de materia orgánica, aumentando transitoriamente la DBO disponible.

En relación con los SST, se observó una reducción significativa hasta $406.2 \text{ mg/L} \pm 0.23$, en comparación con el valor previo de 456.4 mg/L . Esta tendencia coincide con estudios como el de. Ijanu et al., (2019) , donde se reporta que la etapa de acondicionamiento previo contribuye a la disminución de sólidos, mejorando la calidad del efluente para su tratamiento posterior.

La conductividad se incrementó a $5.623 \text{ sm/cm} \pm 0.01$, lo que representa mejores condiciones en comparación con la condición inicial. Este aumento es importante, ya que facilita la transferencia de electrones en sistemas bioelectroquímicos, aspecto que también destacan Chouhan et al., (2023) , quienes señalan que este parámetro es determinante para optimizar la depuración de contaminantes en las CCM.

Finalmente, la temperatura alcanzó un promedio de $28.8 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.06$, dentro del rango óptimo ($25\text{--}35 \text{ }^\circ\text{C}$) para la actividad de comunidades microbianas, según lo señalado por Manesh et al., (2024) . En este sentido, los resultados muestran que las condiciones de pretratamiento que permiten establecer un medio favorable para el ingreso a la CCM mejorando su desempeño.

En conjunto, los valores obtenidos representan las condiciones de ingreso a la CCM, correspondiendo a la fase de pretratamiento previa a su procesamiento en el sistema.

Tabla 17*Parámetros físico-químicos en la etapa de pre tratamiento.*

Parámetros	Und	Valores			Promedio	Desviación Estándar	Límites Máximos Permisibles
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3			
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	252.1	251.8	251.8	251.9	0.190	50
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	406.5	406.1	406.1	406.2	0.234	50
Potencial de Hidrogeno (pH)	Und pH	7.2	7.2	7.2	7.2	0.012	
Temperatura	°C	28.9	28.8	28.8	28.8	0.058	
Conductividad	sm/cm	5.6	5.6	5.6	5.6	0.012	

Para la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, se utiliza en comparación de datos de una muestra normal y de muestreos aleatorios; esta prueba estadística se desarrolló con la finalidad de evaluar la media y la desviación típica; siendo estas aplicables a muestras pequeñas menores a 50 muestreos ($n < 50$).

Para el parámetro DBO podemos observar que el P-valor en el análisis Shapiro-Wilk para la muestra del afluente en parámetros de DBO inicial de 0.170, para el afluente en oxidación por 24 horas es de 0.915 y por último el pre tratado con valores de 0.106; cada uno de estos valores antes del ingreso al sistema representan valores superiores al P-valor (0.05) siendo datos que presentan una distribución normal de resultados en cada etapa presente antes del ingreso al sistema.

Mostramos los resultados muestran el desarrollo de las pruebas de normalidad con un nivel de significancia mayor a 0.05 con la prueba correspondiente Shapiro-Wilk siendo valores que representan una distribución normal, para ello es necesario considerar que DBO representa la muestra original del agua residual, para la muestra tomada después del proceso de oxidación es DBO OX y por último para DBO PT es el agua residual pre tratada.

Para el parámetro SST podemos observar que el P-valor en el análisis Shapiro-Wilk para la muestra del afluente en parámetros de SST inicial de 0.165, para el afluente en oxidación por 24 horas es de 0.388 y por último el pre tratado con valores de 0.320; cada uno de estos valores antes del ingreso al sistema representan valores superiores al

P-valor (0.05) siendo datos que presentan una distribución normal de resultados en cada etapa presente antes del ingreso al sistema.

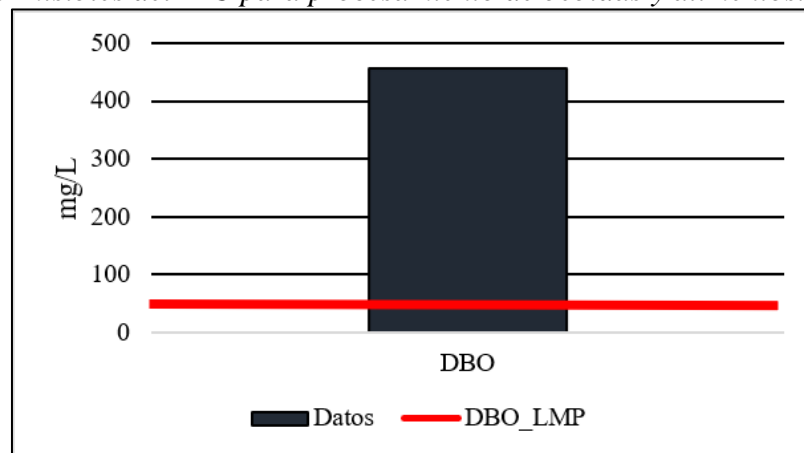
Los resultados muestran el desarrollo de las pruebas de normalidad con un nivel de significancia mayor a 0.05 con la prueba correspondiente Shapiro-Wilk siendo valores que representan una distribución normal, para ello es necesario considerar que SST representa la muestra original del agua residual, para la muestra tomada después del proceso de oxidación es SST OX y por último para SST PT es el agua residual pre tratada.

En la **Gráfico 1** se observa que los valores de DBO en todas las etapas de la toma de muestra inicial que superan el LMP (50 mg/L) establecido por el IFC para el procesamiento de alimentos y bebidas. En la muestra inicial, la DBO alcanzó 455.4 mg/L lo que en el grafico se representa. Según los mencionado por Contreras & Naranjo, (2021) establece que estos valores son comunes en agua residuales provenientes del procesado del café por su alta composición contaminante orgánica y tal como lo demuestra Campos et al., (2021) donde considera valores de entre 400–500 mg/L de DBO teniendo en cuenta que estas características se presentan por un proceso de lavado y despulpado artesanal que utiliza una fuente de corriente de agua constante en todo su proceso.

Estas variaciones en cuento al desarrollo del agua residual contemplan lo mencionado por muchos autores que mencionan parte de las características de estas agua residuales demostrando un problema debido a su eliminación (Contreras & Naranjo, 2021).

Gráfico 1

Parámetros iniciales de demanda bioquímica de oxígeno comparativa con los límites máximos permisibles del IFC para procesamiento de bebidas y alimentos.



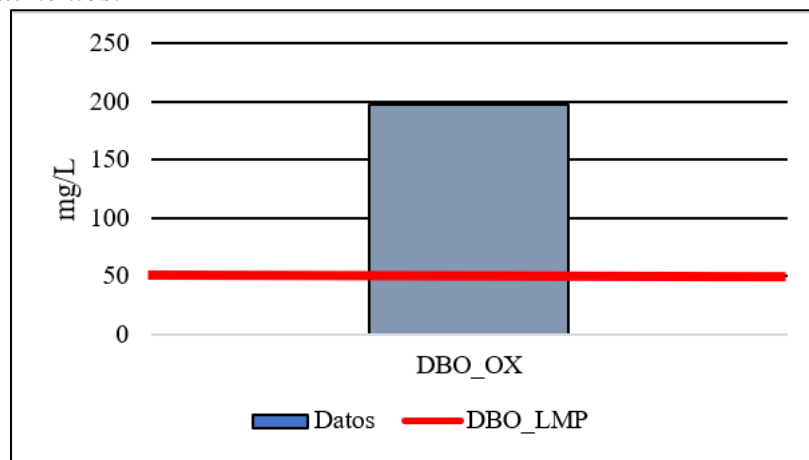
En la **Gráfico 2** se observa que los valores de DBO en todas las etapas del tratamiento superan el LMP (50 mg/L) establecido por el IFC para el procesamiento de

alimentos y bebidas. En la muestra después del proceso de oxidación de 24 h (DBO_OX), disminuyendo a 197.5 mg/L. Lo que demuestra una clara reducción de la DBO al encontrar concentraciones menores de este contaminante y según Paredes et al., (2018), nos menciona que existe en su investigación en tiempos prologados de retención hidráulica logro obtener valores de 72% y 85% de disminución de este contaminante.

Estas variaciones confirman lo señalado por Bidira et al., (2022) , quienes describen que la oxidación del agua residual de café reduce la carga orgánica al modificar su composición por acción del oxígeno.

Gráfico 2

Parámetro demanda bioquímica de oxígeno luego del proceso de oxidación comparativa con los límites máximos permisibles del IFC para procesamiento de bebidas y alimentos.

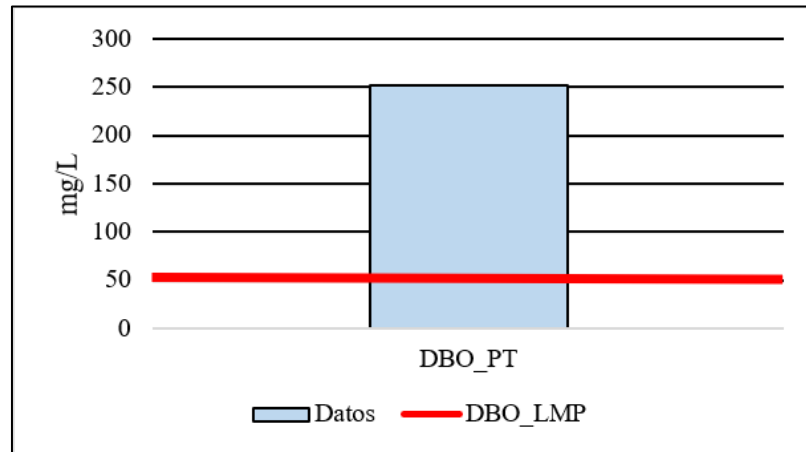


En la **Gráfico 3** se observa que los valores de DBO en todas las etapas del tratamiento superan el LMP (50 mg/L) establecido por el IFC para el procesamiento de alimentos y bebidas. En la muestra disminuyendo a 251.9 mg/L tras la adición del hidroxilo de sodio lo que se representa en el grafico con DBO_PT.

Asimismo, lo planteado por Huamán, (2023) respalda el uso de NaOH como agente neutralizante en aguas residuales ácidas, como en el caso del cacao. El ligero incremento de la DBO en la etapa de pretratamiento podría explicarse por el ajuste del pH hacia condiciones más favorables para el desarrollo microbiano, tal como lo mencionan nuevamente Bidira et al., (2022).

Gráfico 3

Parámetro demanda bioquímica de oxígeno luego del proceso de adición de NaOH con los límites máximos permisibles del IFC para procesamiento de bebidas y alimentos.

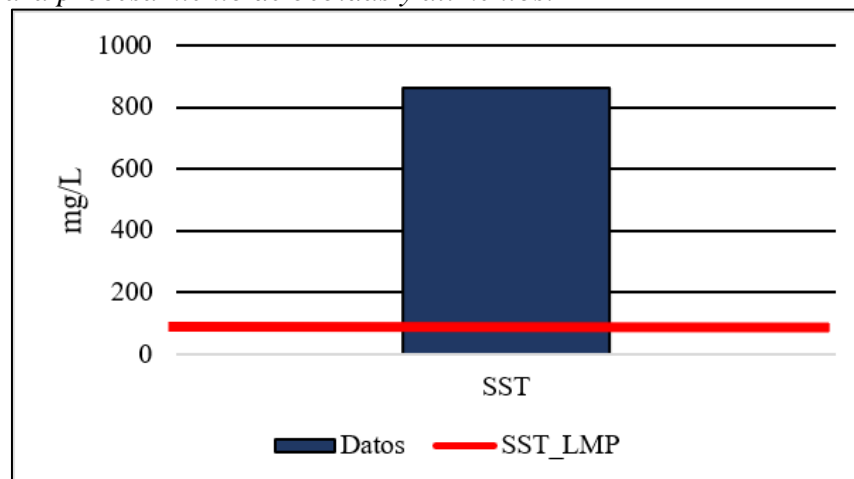


En la **Gráfico 4** se observa que los valores de SST superan ampliamente el LMP de 50 mg/L establecido por el IFC para el sector de alimentos y bebidas. En la muestra inicial se registró un valor de 863.7 mg/L mostrando en el grafico como SST.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Torres-Valenzuela et al., (2019) quienes encontraron altas concentraciones de SST en aguas residuales de café y Campos et al., (2021) donde encontraron valores similares a los nuestros en proporciones de 800 mg/L que coincide a un proceso de lavado y despulpado artesanal con flujo de agua constante.

Gráfico 4

Parámetro solidos suspendidos totales iniciales con los límites máximos permisibles del IFC para procesamiento de bebidas y alimentos.

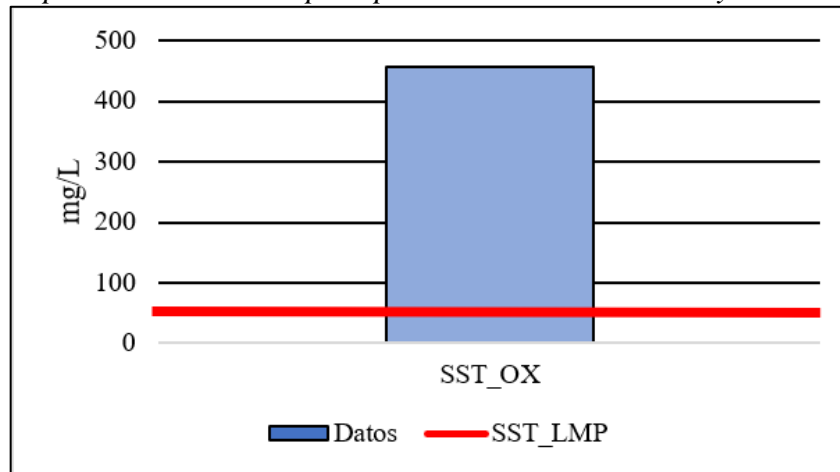


En la **Gráfico 5** se observa que los valores de SST superan ampliamente el LMP de 50 mg/L establecido por el IFC para el sector de alimentos y bebidas. En la muestra proveniente del proceso de oxidación con promedio de 456.5 mg/L tras 24 horas de oxidación mostrándose en el grafico con SST_OX.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Torres-Valenzuela et al., (2019) quienes encontraron altas concentraciones de SST en aguas residuales de café. La disminución observada en la etapa de oxidación se explica por la conversión de compuestos orgánicos complejos en sustancias más simples, tal como señala Manesh et al., (2024).

Gráfico 5

Parámetro solidos suspendidos totales luego del proceso de oxidación con los límites máximos permisibles del IFC para procesamiento de bebidas y alimentos.

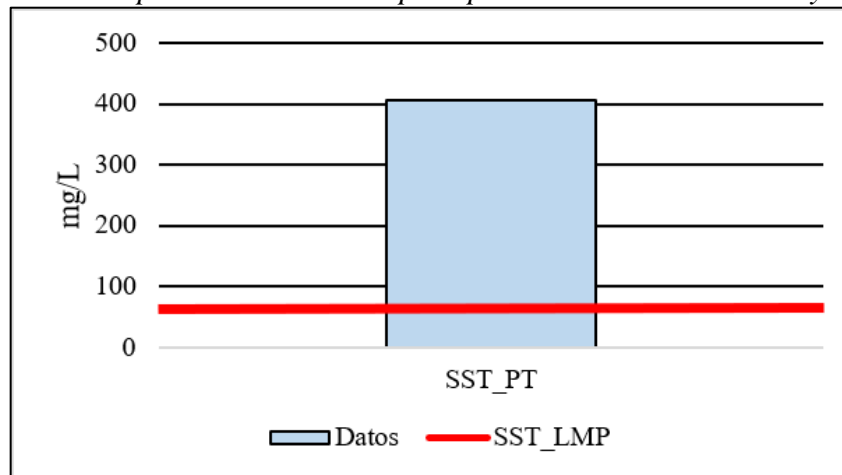


En la **Gráfico 6** se observa que los valores de SST superan ampliamente el LMP de 50 mg/L establecido por el IFC para el sector de alimentos y bebidas. En la muestra que se adiciono el NaOH aplicado después del proceso de oxidación, con valores de 406.2 mg/L durante el pretratamiento con NaOH mostrándose en el grafico como SST_PT.

Finalmente, la reducción adicional en el pretratamiento con NaOH puede atribuirse a procesos de precipitación, coagulación natural y sedimentación de partículas favorecidos por el cambio de pH, en concordancia con lo descrito por Prathiba et al., (2024).

Gráfico 6

Parámetro sólidos suspendidos totales luego del proceso de adición de NaOH con los límites máximos permisibles del IFC para procesamiento de bebidas y alimentos.



4.1.2. Efecto de la cantidad de electrodos y diámetro de membrana de intercambio de protones en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno en el tratamiento de aguas residuales del despulpado y lavado de café con celdas de combustible microbiana.

En la **Tabla 18** presenta los 9 tratamientos, también encontramos a las configuraciones aplicadas según las variables, los datos antes del ingreso al sistema (afluente) y después del tratamiento (efluente), y por último presentamos el % de remoción obtenida.

En la **Tabla 18** se presentan los resultados de la remoción de DBO, donde el tratamiento T6 obtuvo el mejor desempeño con un porcentaje de 82.41%, asociado a la configuración con 17 electrodos y un diámetro de MIP de 33.4 mm. Se esperaba que un mayor diámetro de membrana generara mejores resultados; sin embargo, en los tratamientos con membranas de 48.3 mm (T9, T8 y T7), los porcentajes de remoción fueron menores (80.35%, 77.18% y 74.15%, respectivamente), lo que evidencia que este factor influyó directamente en la eficiencia del sistema. Esto concuerda con lo señalado por Manesh et al., (2024), quienes destacan la importancia tanto del número de electrodos como de una transferencia óptima entre ánodo y cátodo en el rendimiento del tratamiento.

En las configuraciones con un MIP de 33.4 mm, además de T6, también se destacaron los tratamientos T5 y T4, con eficiencias de 80.35% y 77.19%, respectivamente. Estos resultados muestran que la combinación de un mayor número de electrodos con un MIP que favorece la remoción de DBO, siendo T6 el más efectivo dentro de este grupo.

Por otro lado, en los tratamientos con membranas de 26.7 mm, el mejor desempeño se observó en el tratamiento T3, con un 80.92% de remoción, seguido por T2 (79%) y T1 (76.26%). Estos valores indican que, aunque se lograron buenos porcentajes de eficiencia, el rendimiento fue inferior al alcanzado en configuraciones con membranas de 33.4 mm y mayor número de electrodos.

Tabla 18

Remoción promedio del parámetro demanda bioquímica de oxígeno en el agua residual.

Tratamientos	Configuración de la Celda de Combustible Microbiana		Concentraciones de DBO (mg/L)		Eficiencia de remoción %
	Numero de Electrodo de 9 cm ² de área superficial	Diámetro de Membrana de intercambio de protones	Afluyente	Efluyente	
T1	6	26.7		59.8	76.3
T2	11	26.7		52.9	79
T3	17	26.7		48.1	80.9
T4	6	33.4		57.5	77.2
T5	11	33.4	251.907	49.5	80.4
T6	17	33.4		44.3	82.4
T7	6	48.3		65.1	74.2
T8	11	48.3		57.5	77.2
T9	17	48.3		49.5	80.3

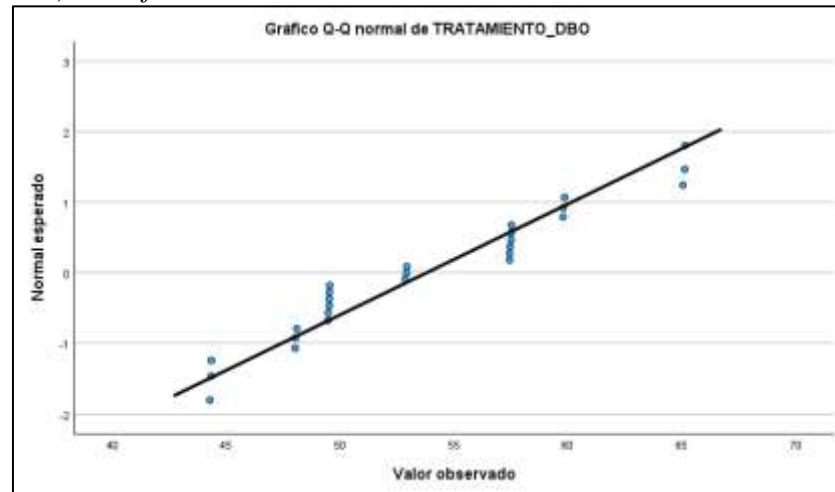
En la **Grafico 7** desarrollamos la prueba de normalidad para facilitar la confiabilidad de los datos se desarrolló la prueba de Shapiro-Wilk, ya que es ampliamente utilizada en comparación de datos de una muestra normal y de muestreos aleatorios; esta prueba estadística se desarrolló con la finalidad de evaluar la media y la desviación típica; siendo estas aplicables a muestras pequeñas menores a 50 muestreos ($n < 50$).

En la **Grafico 7** se pudo observar que el P-valor en el análisis Shapiro-Wilk para la muestra del efluente en parámetros de DBO luego del desarrollado del tratamiento según la configuración proporcionada, en este caso para el desarrollo del tratamiento T1 tenemos una significancia de 0.317, así también para el tratamiento T2 tenemos una significancia de 0.75, para el tratamiento T3 tenemos una significancia de 0.317, para el tratamiento T4 tenemos una significancia de 0.375, para el tratamiento T5 tenemos una significancia de 0.109, para el tratamiento T6 tenemos una significancia de 0.339, para el tratamiento T7 tenemos una significancia de 0.264, para el tratamiento T8 tenemos una significancia de 0.229 y por último para el tratamiento T9 tenemos una

significancia de 0.481; cada uno de estos valores son resultantes luego del ingreso al sistema representan valores inferiores al P-valor (0.05) siendo datos que presentan una distribución normal.

Gráfico 7

Normal P-Plot. Para determinación de parámetros de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del efluente.



En la **Tabla 19** desarrollamos el análisis de varianza para hallar diferencias significativas entre los tratamientos y así poder identificar si existe o no diferencias significativas.

En la **Tabla 19** se presenta el análisis de la varianza realizada para la prueba estadística ANOVA de dos factores donde evaluamos el efecto del diámetro de membrana de intercambio protónico y la cantidad de electrodos aplicable a cada tratamiento. Estos factores explican las diferencias observadas en los datos a través del desarrollo de la suma de cuadrados, grados de libertad y otros indicadores estadísticos.

Según el factor obtenido de diámetro de membrana de intercambio protónico se obtiene una suma de cuadrados de 217.047, repartida entre dos diferentes grados de libertad, el cual genera un promedio de cuadrados de 108.524 y el valor estadístico F es de 72234.985, con un nivel de significancia menor a 0.001, indicando que este factor tiene un efecto altamente significativo en la variable de análisis. Para el factor del número de electrodos aplicable a cada tratamiento se obtuvo resultados basados en la suma de cuadrados de 823.643, con 2 grados de libertad, para los resultados del promedio de cuadrados es de 411.822 y un valor de F de 274114.527, los resultados nos brindaron un nivel de significancia menor a 0.001 confirmando que también tiene un efecto significativo en el desarrollo de los tratamientos.

Para los resultados obtenidos en el error experimental donde se mide las variaciones no explicadas por los factores, se obtiene una suma de cuadrados de 0.027

y 18 grados de libertad con un promedio de cuadrados de 0.002, con esto podemos inferir que la variación no explicada de los factores es mínima. Para el total corregido obtenemos que la suma total de sus variaciones observadas es de 1054.715, con 26 grados de libertad.

En conclusión, obtenemos que ambos factores (número de electrodos aplicable y diámetro de membrana de intercambio protónico) presentan valores altos con niveles de significancia menores a 0.001, el cual nos explica que ambos factores son altamente significativos sobre la variable dependiente.

Tabla 19

Análisis de varianza en la demanda bioquímica de oxígeno.

Origen de las Variaciones	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Promedio de los Cuadrados	F	Significancia
Diámetro de MIP	217.047	2	108.524	72.234,985	0.000 < 0.001
Electrodo	823.643	2	411.822	274.114,527	0.000 < 0.001
Error	0.027	18	0.002		
Total, corregido	1054.715	26			

Nota. Los valores Diámetro de MIP (Diámetro de membrana de intercambio de protones) y Electrodo (Número de electrodos).

En la **Grafico 8** desarrollamos la interpretación de resultados en comparación con otras investigaciones similares donde aplican el mismo sistema las aguas residuales orgánicas.

En el análisis de datos de la **Grafico 8**. A partir de los tratamientos, se observó diferencia en aquellos que emplearon 17 electrodos, los cuales mostraron un mejor desempeño. Este comportamiento se relaciona con el diámetro de la membrana de intercambio protónico, evidenciándose que las de 33.4 mm resultaron más efectivas en comparación con las de 26.7 mm y 48.3 mm.

Asimismo, se identificó una proximidad entre los tratamientos T9 y T5, así como entre T8 y T4, lo que demuestra que bajo ciertas configuraciones los resultados tienden a converger. Esto confirma la relevancia tanto del número de electrodos como del diámetro de la membrana en el comportamiento del sistema.

En conclusión, se puede inducir que existe una estrecha relación entre la superficie activa de los electrodos y el diámetro de la membrana de intercambio protónico en la eficiencia del tratamiento. Nuestros resultados coinciden con lo reportado por Pacheco & Zamata (2019), quienes evaluaron diferentes áreas

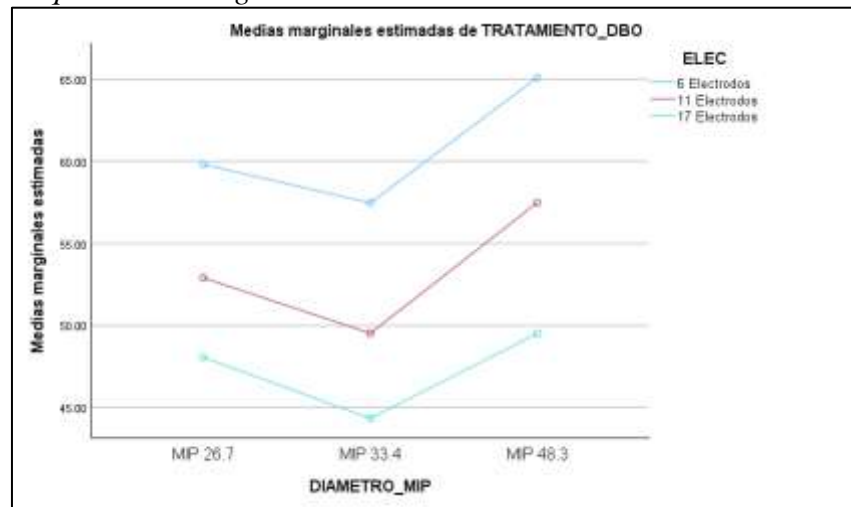
superficiales de electrodos de carbón y reportaron una eficiencia del 82% en su tratamiento más óptimo (CCM2), empleando un área de 150 cm², 73 cm² y 110 cm², y un MIP de 35 mm apropiadamente similar a los utilizados en el tratamiento T4, T5 y T6 una membrana con diámetro similar al aquí utilizado destacando un mayor remoción de contaminantes en los que mantenían una mayor proporción de área de electrodo activa para el desarrollo microbiano.

De igual manera, Debajyoti et al. (2023) nos menciona en su investigación la utilización de escobillas de carbón y carbón activado obteniendo niveles de remoción de 81% y 86% respectivamente del parámetro DBO donde nos mencionan la utilización de 250 mL de agua residual y electrodos de 29 cm² de área superficial observando proporciones de agua residual y área superficial de electrodos directamente proporcional para su desarrollo, esta información concuerda con los datos obtenidos en el tratamiento T6 con escobillas de carbón así también Tanaka et al. (2024) nos menciona que encontraron una eficiencia del 82% en la remoción de DBO en aguas residuales de Nagoya (Japón) tras 35 horas de tratamiento, usando membranas de 100 cm de diámetro y electrodos de 5 × 100 cm, lo que confirma que tanto el área superficial como la membrana son determinantes. Por ultimo tenemos a Mkilima et al. (2024) donde mencionan el tratamiento de aguas residuales de un auto lavado, donde dentro de la estructura de las CCM considera el desarrollo microbiano como procedimientos importante para el desarrollo del tratamiento, al igual que en nuestro predimiento obteniendo porcentajes de remoción de 99.2% de remoción con un tratamientos combinado de sistema de tratamiento MOF con las CCM.

En síntesis, los resultados del presente estudio se alinean con lo reportado en la literatura, confirmando que tanto el número y superficie de los electrodos como el diámetro de la membrana de intercambio protónico son factores críticos que determinan la eficiencia del sistema de celda de combustible microbiana.

Gráfico 8

ANOVA de dos factores para la determinación del efecto de las variables en la demanda bioquímica de oxígeno



4.1.3. Efecto de la cantidad de electrodos y diámetro de membrana de intercambio de protones en la reducción de los sólidos suspendidos totales en el tratamiento de aguas residuales del despulpado y lavado de café con celdas de combustible microbiana.

En la **Tabla 20** presenta los 9 tratamientos, también encontramos a las configuraciones aplicadas según las variables, los datos antes del ingreso al sistema (afluente) y después del tratamiento (efluente), y por último presentamos el % de remoción obtenida.

En la **Tabla 20** se presentan los resultados de la remoción de los SST. El análisis evidencia que el tratamiento T6 obtuvo el mejor desempeño, alcanzando un porcentaje de remoción de 80.856%, siendo el valor más alto registrado. Este tratamiento tuvo en su configuración 17 electrodos y un diámetro de MIP de 33.4 mm., según Xue et al., (2025), el uso de un MIP de 66 cm² junto con una superficie efectiva del electrodo de 220 cm² favorece un desempeño óptimo del sistema.

Se esperaba que los tratamientos con un MIP de mayor diámetro alcanzaran mejores resultados; sin embargo, los tratamientos T9, T8 y T7, configurados con 17, 11 y 6 electrodos respectivamente y un MIP de 48.3 mm, obtuvieron porcentajes de remoción de 79.805%, 79.135% y 78.053%, lo que demuestra que el aumento del diámetro del MIP no generó un beneficio significativo y, por el contrario, influyó de manera negativa en la eficiencia del tratamiento.

De manera similar, en los tratamientos con un diámetro de 33.4 mm de MIP, se observó que el T6 fue el más eficiente con 80.856% de remoción de SST, seguido por el T5 con 80.337%, y finalmente el T4 con 79.138%. Estos resultados confirman la

efectividad del T6, cuya configuración con 17 electrodos y un diámetro de 33.4 mm generó un efecto claramente superior.

Por otro lado, en los tratamientos con un diámetro de MIP de 26.7 mm, se obtuvo el mayor porcentaje de remoción en el T3, con 80.482%, siendo el más eficiente en su grupo. Asimismo, en los tratamientos T2 y T1 se alcanzaron valores cercanos de 79.801% y 78.677%, respectivamente, lo que demuestra un desempeño aceptable, aunque inferior al observado en configuraciones con mayor número de electrodos y un diámetro de MIP de 33.4 mm.

Tabla 20

Remoción promedio del parámetro sólidos suspendidos totales en el agua residual.

Tratamientos	Configuración de la Celda de Combustible Microbiana		Concentraciones de SST (mg/L)		Eficiencia de remoción %
	Numero de Electrodo de 9 cm ² de área superficial	Diámetro de Membrana de intercambio de protones	Afluente	Efluente	
T1	6	26.7		86.6	78.7
T2	11	26.7		82.1	79.8
T3	17	26.7		79.3	80.5
T4	6	33.4		84.8	79.1
T5	11	33.4	406.223	79.9	80.3
T6	17	33.4		77.8	80.9
T7	6	48.3		89.2	78.1
T8	11	48.3		84.8	79.1
T9	17	48.3		82	79.8

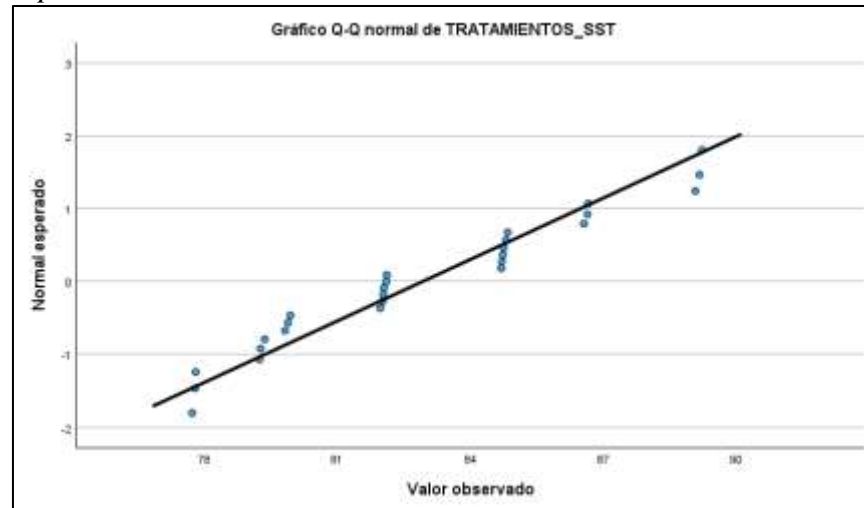
En la **Grafico 9** desarrollamos la prueba de normalidad para facilitar la confiabilidad de los datos se desarrolló la prueba de Shapiro-Wilk, ya que es ampliamente utilizada en comparación de datos de una muestra normal y de muestreos aleatorios; esta prueba estadística se desarrolló con la finalidad de evaluar la media y la desviación típica; siendo estas aplicables a muestras pequeñas menores a 50 muestreos ($n < 50$).

En la **Grafico 9** podemos observar que el P-valor en el análisis Shapiro-Wilk para la muestra del efluente en parámetros de SST luego del desarrollado del tratamiento según la configuración proporcionada, en este caso para el desarrollo del tratamiento T1 tenemos una significancia de 0.244, así también para el tratamiento T2 tenemos una significancia de 0.244, para el tratamiento T3 tenemos una significancia de 0.409, para el tratamiento T4 tenemos una significancia de 0.540, para el tratamiento T5 tenemos

una significancia de 882, para el tratamiento T6 tenemos una significancia de 290, para el tratamiento T7 tenemos una significancia de 0.695, para el tratamiento T8 tenemos una significancia de 0.704 y por último para el tratamiento T9 tenemos una significancia de 0.780; cada uno de estos valores son resultantes luego del ingreso al sistema representan valores inferiores al P-valor (0.05) siendo datos que presentan una distribución normal.

Gráfico 9

Normal P-Plot. Para determinación de parámetros de sólidos suspendidos totales del efluente después del tratamiento.



En la **Tabla 21** desarrollamos el análisis de varianza para hallar diferencias significativas entre los tratamientos y así poder identificar si existe o no diferencias significativas.

En la **Tabla 21** se presenta el análisis de la varianza realizada para la prueba estadística ANOVA de dos factores donde evaluamos el efecto del diámetro de membrana de intercambio protónico y la cantidad de electrodos aplicable a cada tratamiento. Estos factores explican las diferencias observadas en los datos a través del desarrollo de la suma de cuadrados, grados de libertad y otros indicadores estadísticos.

Según el factor obtenido de diámetro de membrana de intercambio protónico se obtuvo una suma de cuadrados de 92,952, repartida entre dos diferentes grados de libertad, el cual genera un promedio de cuadrados de 46,476 y el valor estadístico F es de 12732,669, con un nivel de significancia menor a 0.001, indicando que este factor tiene un efecto altamente significativo en la variable de análisis. Para el factor del número de electrodos aplicable a cada tratamiento se obtuvo resultados basados en la suma de cuadrados de 236,164, con 2 grados de libertad, para los resultados del promedio de cuadrados es de 118,082 y un valor de F de 32349,868, los resultados nos

brindaron un nivel de significancia menor a 0.001 confirmando que también tiene un efecto significativo en el desarrollo de los tratamientos.

Para los resultados obtenidos en el error experimental donde se dime las variaciones no explicadas por los factores, se obtiene una suma de cuadrados de 0,066 y 18 grados de libertad con un promedio de cuadrados de 0.004, con esto podemos inferir que la variación no explicada de los factores es mínima. Para el total corregido obtenemos que la suma total de sus variaciones observadas es de 329,631, con 26 grados de libertad.

En conclusión, obtenemos que ambos factores (número de electrodos aplicable y diámetro de membrana de intercambio protónico) presentan valores altos con niveles de significancia menores a 0.001, el cual nos explica que ambos factores son altamente significativos sobre la variable dependiente.

Tabla 21

Análisis de varianza en los sólidos suspendidos totales.

Origen de las Variaciones	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Promedio de los Cuadrados	F	Significancia
Diámetro de MIP	92.952	2	46.476	12732.669	0.000 < 0.001
Electrodo	236.164	2	118.082	32349.868	0.000 < 0.001
Error	0.066	18	0.004		
Total, corregido	329.631	26			

Nota. Los valores Diámetro de MIP (Diámetro de membran de intercambio de protones) y Electrodo (Numero de electrodos).

En el **Grafico 10** se aprecia los nueve tratamientos, determinando la relevancia del número de electrodos y del diámetro de la MIP en la eficiencia del proceso. En particular, los tratamientos con 17 electrodos mostraron un desempeño superior, lo cual confirma la importancia de contar con una mayor superficie activa para las reacciones electroquímicas (Xue et al., 2025).

Al analizar la MIP, se identificó que la de 33.4 mm, considerada intermedio en las configuraciones, presentó un rendimiento favorable frente a las de 26.7 mm y 48.3 mm. Esto sugiere que no siempre una mayor MIP obtiene un mejor desempeño, sino que existe un rango óptimo y la resistencia interna del sistema alcanzan un equilibrio.

Cabe destacar que, los tratamientos ninguno presentó valores que se encuentran dentro de los LMP establecidos para sus residuales.

En conclusión, los resultados permiten inducir que existe una relación estrecha entre el diámetro de la MIP y el número de electrodos utilizados. Este comportamiento coincide con lo reportado en la literatura.

De manera complementaria, Eslami et al. (2024) demostraron que el incremento del área superficial de los electrodos, junto con la selección de un diámetro de membrana proporcional a dicha superficie, permitió optimizar el desempeño de la MFC-2. En su estudio, reportaron una eficiencia de remoción del 81%, lo cual evidencia que no solo el tipo de material del electrodo a base de carbón, sino también la relación dimensional entre la membrana y la superficie activa son fundamentales en el tratamiento.

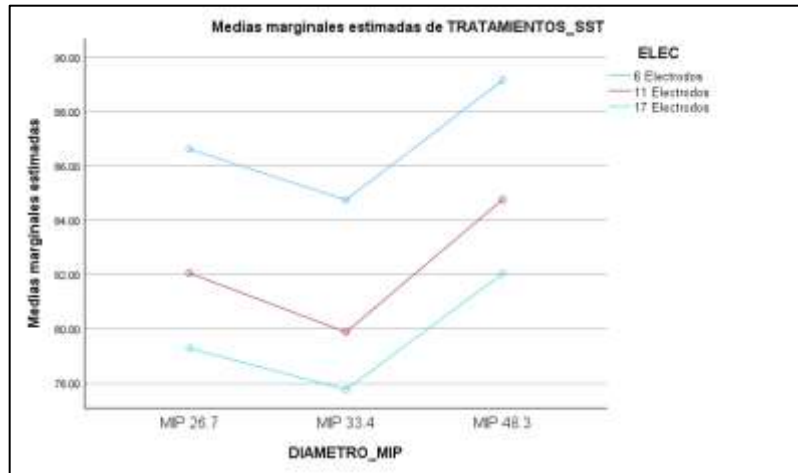
Así también tenemos a Jinisha & Regin, (2025) donde evalúa las celdas de combustible microbiana y la eliminación orgánica dentro de su tratamiento por lo que parte de su desarrollo son los SST con una eficiencia de 84% de remoción, de efluentes del lavadero de carbón en proporciones de 250 mL de agua residual, electrodos de área activa de 10 cm², en este caso se observa un mejor desarrollo por parte del tratamiento, esto principalmente se debe a la capacidad electroquímica que posee el agua residual que impulsa su mecanismo de respuesta al tratamiento (Ghasemi et al., 2024).

Por ultimo Pugazhendi et al., (2025) nos menciona en su investigación que obtuvo una remoción de 76% en SST para aguas residuales provenientes de la industria cosmética, donde utilizaron filtros de fibra de carbón con un área superficial activa de 180 cm² para volúmenes de agua residual de 1000 mL, al ser una fuente de agua residual totalmente química e inorgánica López, (2023), por lo que para su tratamiento es indispensable comprender consorcios microbianos para su tratamiento, este factor importante ya que determina el resultado del tratamiento reduciendo su capacidad de tratamiento en % menores de remoción (Páez et al., 2019).

En síntesis, tanto los resultados experimentales de este proyecto como las evidencias de la literatura coinciden en que la eficiencia de las CCM depende directamente de la interacción entre número de electrodos y diámetro de MIP, siendo necesario establecer un balance entre ambos factores para maximizar la remoción de contaminantes y asegurar la estabilidad operativa del sistema.

Gráfico 10

ANOVA de dos factores determinación del efecto de las variables en los sólidos suspendidos totales.



CONCLUSIONES

A través del desarrollo de resultados podemos concluir que en el desarrollo de tratamiento con celdas de combustible microbiana aplicable a 9 tratamientos donde se varían distintas cantidades de electrodos y diferentes diámetros de membrana de intercambio de protones para el tratamiento del agua miel del procesado y lavado de café, teniendo en cuenta las condiciones iniciales del agua residual para lo cual se tomó en cuenta las condiciones adecuadas para el sistema y el desarrollo microbiano dentro del sistema para el desarrollo del tratamiento desde la toma de muestra original y los cambios que se aplicó al agua residual antes del ingreso al sistema, siendo dentro de ello la etapa de oxidación por 24 horas y el pre tratamiento con NaOH cruciales antes del ingreso al sistema, tal y como se explicó en un inicio optimizando las condiciones adecuadas para el desarrollo del tratamiento, en cualquiera de los casos se realizó la comparación de los parámetros iniciales en las 3 etapas del pre tratamiento donde la DBO y los SST superaban los límites máximos permisibles del Procesamiento de Alimentos y Bebidas del IFC.

Para el parámetro de DBO dentro del sistema de los 9 tratamientos podemos observar un claro cambio de las condiciones del agua residual siendo el tratamiento T6 el más adecuado dentro de la remoción del parámetro DBO del sistema siendo con un porcentaje de remoción de 82.406% el que mejores resultados obtuvo en base a las configuraciones propuestas en un inicio siendo las que brindaron el resultado final dentro del desarrollo del tratamiento, de igual modo podemos observar una clara eficiencia de igual modo de los tratamientos T3, T5 y T9 siendo estos también que se encuentran dentro del rango de los límites máximos permisibles, indicando que los tratamientos menos eficientes son los T8, T7, T4, T2 y T1.

Para el parámetro SST tenemos resultados un poco diferentes ya que posterior al desarrollo del tratamiento siendo el tratamientos T6 al igual que en el anterior el tratamiento más eficientes en el desarrollo de la tesis en condiciones de remoción en porcentajes de 80.856%, posterior a este los tratamientos T3 y T5, posteriormente los tratamientos obtuvieron menor rendimiento son los tratamientos T9, T8, T7, T4, T2 y T1 es importante tomar en cuenta que en este caso para este parámetro ninguno de los tratamientos se encuentran igual o por debajo de los límites máximos permisibles.

En conclusión para el desarrollo del tratamiento de aguas residuales del despulpado y lavado de café con celdas de combustible microbiana se tiene que tener en cuenta las condiciones adecuadas para el desarrollo del sistema antes del ingreso al sistema para optimizar las condiciones iniciales del agua residual y posteriormente hacer el ingreso al sistema de celdas de combustible microbiana para posteriormente eliminar los contaminantes en parámetros de demanda bioquímica de oxígeno y solidos suspendidos totales de forma adecuada

encontrándose dentro de los límites máximos permisibles del IFC, siendo los tratamientos adecuados en el desarrollo del proyectos los tratamientos en la reducción de la DBO T6, T5 y T3 en el desarrollo del todo el proyecto y en el parámetro de SST ningún tratamiento estuvo dentro del rango aceptable.

RECOMENDACIONES

- Antes de iniciado el tratamiento prever las condiciones adecuadas del agua residual para posteriormente si es necesario optimizar ciertas condiciones que resultan eficaces para el desarrollo del agua residual dentro del sistema.
- Un factor importante dentro del procedimiento principalmente en sistemas de celdas de combustible microbiana a pequeña escala de tipo H es importante considerar en medio de burbujeo que optimice en algún modo el desarrollo en la cámara catódica.
- Conocer de antemano cada proceso del desarrollo de las celdas de combustible microbiana y los procesos que se consideran el desarrollo del sistema, y adicional considerar investigar sobre el agua residual a evaluar para mejorar el método de tratamiento a través de un buen manejo de los recursos a utilizar.
- Considerar los límites máximos permisibles para actividades agrícolas e incluir los parámetros para parámetros de demanda bioquímica de oxígeno y solidos suspendidos totales

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez Bautista, Y. V. (2020). *Generación de bioelectricidad y biodegradación de la materia orgánica en celdas de combustible microbiano (CCM) con agua residual industrial—Lima [Universidad Peruana Unión]*.
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4198>
- Bidira, F., Asmelash, Z., Kebede, S., & Bekele, A. (2022). *Phosphate and Nitrate Removal from Coffee Processing Wastewater Using a Photoelectrochemical Oxidation Process*. *Journal of Environmental and Public Health*, 2022, 4382491.
<https://doi.org/10.1155/2022/4382491>
- Biswas, A., & Chakraborty, S. (2023). *Cost benefit analysis of integrated constructed wetland microbial fuel cell system for sustainable and economic domestic wastewater treatment*. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 60, 103475.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103475>
- Cachay, J., Vargas, D., & Leyva, B. (2022). *Tratamiento de efluentes de una granja porcina mediante bioceldas para la generación de bioelectricidad*. *Agroindustrial Science*, 12(1), 59-64. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.01.07>
- Campos, R. C., Pinto, V. R. A., Melo, L. F., Rocha, S. J. S. S. da, & Coimbra, J. S. (2021). *New sustainable perspectives for “Coffee Wastewater” and other by-products: A critical review*. *Future Foods*, 4, 100058. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100058>
- Castillo Hajar, M. E. (2022). *La caficultura orgánica peruana*. 1-52.
- Castro, E. C., & Garzón, N. V. V. (2019). *Evaluación del mucílago del café (Coffea arabica L. Caturra) como potencial prebiótico en una bebida de arroz*.
https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/277
- Chirinos Málaga, C. E. (2023). *Difusión de resultados del monitoreo de la calidad del agua superficial e identificación de fuentes contaminantes relacionados con los recursos hídricos de la cuenca Perené, ambito de la ALA Perené 2023*.
- Chouhan, R. S., Gandhi, S., Verma, S. K., Jerman, I., Baker, S., & Štok, M. (2023). *Recent advancements in the development of Two-Dimensional nanostructured based anode materials for stable power density in microbial fuel cells*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 188, 113813. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113813>
- Condori Pacheco, A. E., & Torres Zamata, G. (2019). *Biodegradación de la materia orgánica y producción de Bioelectricidad en Celdas de Combustible Microbiano (CCM) a partir del agua residual doméstica – Lima [Universidad Peruana Unión]*.
<http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1655>

- Contreras, D. W. (2018). *Tratamiento de aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas filial Huancayo mediante celdas de combustible microbiana 2018*.
- Contreras, L., & Naranjo, B. (2021). *Diseño de una planta de tratamientos de agua miel de kilamupi Cafe* [Escuela Superior Politecnica de Chimborazo Sede Morona Santiago]. <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/e0752445-daae-4b8e-a0ba-bdfacbc8021/content>
- Córdova Mosquera, A., Gómez-Salcedo, Y., Riera, M. A., Rodríguez-Díaz, J. M., Pereda-Reyes, I., Córdova Mosquera, A., Gómez-Salcedo, Y., Riera, M. A., Rodríguez-Díaz, J. M., & Pereda-Reyes, I. (2019). *Influencia de los procesos oxidativos avanzados en la digestión anaerobia de aguas residuales de la insutria del cafe*. *Centro Azúcar*, 46(2), 89-100.
- Correo Noticias. (2023, septiembre 15). *Chanchamayo, la capital cafetalera del Perú celebra 46 aniversario de creación política* | Edición. Correo; NOTICIAS CORREO. <https://diariocorreo.pe/edicion/huancayo/chanchamayo-la-capital-cafetalera-del-peru-celebra-46-aniversario-de-creacion-politica-noticia/>
- Das, S., Dutta, K., Bhattacharya, S. K., & Kundu, P. P. (2018). *Polymer Electrolyte Membranes for Microbial Fuel Cells: Part B. Non-Nafion Alternative Membranes*. *En Progress and Recent Trends in Microbial Fuel Cells* (pp. 73-85). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64017-8.00005-1>
- Debajyoti, B., Riya, B., Margavelu, G., Parthasarthy, V., & Balaji, K. (2023). *Bioelectricity production and bioremediation from sugarcane industry wastewater using microbial fuel cells with activated carbon cathodes*. 1. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101052>
- Dhawle, R., Kajtazi, A., Sakellariou, M., Frontistis, Z., Lynen, F., & Mantzavinos, D. (2024). *Electrochemical oxidation of losartan on a BDD electrode: Influence of cathodes and electrolytes on the degradation kinetics and pathways*. *Water Resources and Industry*, 31, 100240. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2024.100240>
- Do, M. H., Ngo, H. H., Guo, W. S., Liu, Y., Chang, S. W., Nguyen, D. D., Nghiem, L. D., & Ni, B. J. (2018). *Challenges in the application of microbial fuel cells to wastewater treatment and energy production: A mini review*. *Science of The Total Environment*, 639, 910-920. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.136>
- Eslami, F., Yaghmaeian, K., Shokoohi, R., Sajjadipoya, R., Rahmani, A., Askarpur, H., Norouzian Baghani, A., Jafari Mansoorian, H., & Jaber Ansari, F. (2024). *Nano-pumice derived from pumice mine waste as a low-cost electrode catalyst for microbial fuel cell*

- treating edible vegetable oil refinery wastewater for bioenergy generation and reuse*. Heliyon, 10(23), e40495. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40495>
- Fernández Cortés, Y., Sotto Rodríguez, K. D., & Vargas Marín, L. A. (2020). *Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados*. 18. <https://doi.org/10.22507/pmL.v15n1a7>
- Fernandez Gutierrez, Y. M. (2019). *Comparación del biocoagulante Tamarindus indica y sulfato de aluminio, en el tratamiento de aguas residuales*. <https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/113>
- Ghasemi, S., Gheshlaghi, R., Mahdavi, M. A., & Abazarian, E. (2024). *Evaluation of low-cost carbon/metal electrodes as cathodes and anodes in sediment microbial fuel cells*. Fuel, 373, 132349. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.132349>
- Granadino, D., & Torres, J. (2020). *Determinación de parametros óptimos de anaerobiosis del agua miel de café en la finca cafetalera el limon del distrito de chirinos* [Universidad Nacional de Jaén]. <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/175>
- Hernández Sampieri, R., & Fernandez-Collado, C. F. (2014). *Metodología de la investigación* (P. Baptista Lucio, Ed.; Sexta edición). McGraw-Hill Education.
- Huamán, R. (2023). *Generación de energía eléctrica a partir de aguas residuales de la industria de cacao mediante celdas de combustible microbiana* [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2325>
- Ijanu, E. M., Kamaruddin, M. A., & Norashiddin, F. A. (2019). *Coffee processing wastewater treatment: A critical review on current treatment technologies with a proposed alternative*. Applied Water Science, 10(1), 11. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1091-9>
- INIA. (2015, abril 1). *Protocolo para la toma de suelos en el cultivo de café*. https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/701/1/Trip-2015-Protocolo_cultivo_cafe.pdf
- Jinisha, R., & Jerlin Regin, J. (2025). *Bioremediation of coal washery effluent using dual-chambered microbial fuel cell for effective pollutant removal and sustainable power generation*. Desalination and Water Treatment, 323, 101347. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.101347>
- Kahraman, H., & Akın, Y. (2024). *Recent studies on proton exchange membrane fuel cell components, review of the literature*. Energy Conversion and Management, 304, 118244. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118244>
- Khoshgoftar Manesh, M. H., Davadgaran, S., & Mousavi Rabeti, S. A. (2024a). *Experimental study of biological wastewater recovery using microbial fuel cell and application of*

- reliability and machine learning to predict the system behavior*. Energy Conversion and Management, 314, 118658. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118658>
- Kumar, T., & Jujjavarapu, S. E. (2023). *Carbon dioxide sequestration and wastewater treatment via an innovative self-sustaining algal microbial fuel cell*. Journal of Cleaner Production, 415, 137836. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137836>
- Laili, N., Indrasti, N. S., & Wahyudi, D. (2022). *Design of sustainable coffee processing wastewater treatment system using K-means clustering algorithm*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1063(1), 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1063/1/012032>
- Lyu, T., Wu, Y., Zhang, Y., Fan, W., Wu, S., Mortimer, R. J. G., & Pan, G. (2023). *Nanobubble aeration enhanced wastewater treatment and bioenergy generation in constructed wetlands coupled with microbial fuel cells*. Science of The Total Environment, 895, 165131. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165131>
- Mahurede, T. P., Chihobo, C. H., Utete, B., & Taru, P. (2023). *A review of microbial fuel cell prototypes, their efficacy in wastewater treatment and the contextual situation for Zimbabwe*. Fuel Communications, 17, 100094. <https://doi.org/10.1016/j.jfueco.2023.100094>
- Mamani, E. R. (2020). *Análisis técnico-económico en la aplicación de celdas de combustible microbiana a escala industrial para el tratamiento de aguas residuales y producción de energía eléctrica* [Universidad Científica del Sur]. <https://doi.org/10.21142/tb.2020.1574>
- Meoño, J. F. L.-, Taranco, C. G., & Olivares, Y. M. (2015). *Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú*. 2(2), 18.
- Mkilima, T., Zharkenov, Y., Utepbergenova, L., Smagulova, E., Fazylov, K., Zhumadilov, I., Kirgizbayeva, K., Baketova, A., & Abdukalikova, G. (2024). *Carwash wastewater treatment through the synergistic efficiency of microbial fuel cells and metal-organic frameworks with graphene oxide integration*. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 9, 100582. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100582>
- Montero, R. G. O. (2022). *Reducción de la materia organica utilizando una celda de combustible microbiana para el tratamiento de aguas urbanas del distrito de Chupuro*.
- Montoya, L. F. R., Deossa, G. V., & Giraldo, L. H. (2020). *Estrategias para el aprovechamiento de la pulpa de café en las fincas cafeteras del municipio de Andes, Antioquia*. Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria.
- Mulford López, J. C. (2023). *Revisión de métodos para el tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética*. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/9323>

- Nawaz, A., Ul Haq, I., Qaisar, K., Gunes, B., Raja, S. I., Mohyuddin, K., & Amin, H. (2022). *Microbial fuel cells: Insight into simultaneous wastewater treatment and bioelectricity generation*. *Process Safety and Environmental Protection*, 161, 357-373. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.03.039>
- ONU. (2023, agosto 23). *Aguas residuales / Noticias ONU*. <https://news.un.org/es/tags/aguas-residuales>
- Ordaya Montero, R. G. (2022). *Reducción de materia orgánica utilizando una celda de combustible microbiana para el tratamiento de aguas urbanas del distrito de Chupuro*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8494>
- Pacto Mundial Red Española. (s. f.). *ODS 6 Agua limpia y saneamiento* <https://www.pactomundial.org/ods/6-agua-limpia-y-saneamiento/>
- Páez, A., Lache-Muñoz, A., Medina, S., & Zapata, J. (2019). *Electric power production in a microbial fuel cell using Escherichia coli and Pseudomonas aeruginosa, synthetic wastewater as substrate, carbon cloth and graphite as electrodes, and methylene blue as mediator*. Laboratory scale. / Producción de energía eléctrica en una celda de combustible microbiana usando Escherichia coli y Pseudomonas aeruginosa, agua residual sintética como sustrato, tela de carbón y grafito como electrodos y azul de metileno como mediador. Escala laboratorio. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(6), Article 6. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-06-11>
- Paredes, C. A. M., Mendoza, B. F. R., & Moreira, S. E. G. (2018). *Digestión anaerobia de las aguas residuales de la industria del café instantáneo*. *Revista ESPAMCIENCIA*, 9(1), 23-32.
- Prathiba, S., Kumar, P. S., & Rangasamy, G. (2024). *Recent advancements on the development of microbial fuel cells: Anode modification and scale-up challenges in upgrading anode electrode*. *International Journal of Hydrogen Energy*, S0360319924005597. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.02.144>
- Pugazhendi, A., Al-Mur, B. A., & Jeyakumar, R. B. (2024). *Cosmetic industrial wastewater treatment and bioelectricity production in upflow microbial fuel cell (UMFC) using extremophilic bacterial consortium*. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 105438. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2024.105438>
- Radeef, A. Y., & Najim, A. A. (2024). *Microbial fuel cell: The renewable and sustainable magical system for wastewater treatment and bioenergy recovery*. *Energy* 360, 1, 100001. <https://doi.org/10.1016/j.energ.2024.100001>
- Revelo, D. M., Hurtado, N. H., & Ruiz, J. O. (2013). *Celdas de combustible microbiana (CCMS): un reto para la remoción de materia orgánica y la generación de energía*

- eléctrica*. Información tecnológica, 24(6), 17-28. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000600004>
- Rezaei, A., Karami, Z., Feli, F., & Aber, S. (2023). *Oxygen reduction reaction enhancement in microbial fuel cell cathode using cesium phosphomolybdate electrocatalyst*. *Fuel*, 352, 129040. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.129040>
- Risco, A. A. (2020). Clasificación de las Investigaciones.
- Ruiz-Nájera, R. E., Medina-Meléndez, J. A., Carmona-de La Torre, J., Rincón-Enriquez, G., Sánchez-Yáñez, J. M., & Raj-Aryal, D. (2021). *Efecto de la disposición de los residuos resultantes del beneficiado húmedo del café sobre las características físicas y química del agua de corriente natural*. *Revista Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.884>
- Santillan, B., & Alvarez, A. (2018). *Celdas de combustible microbiano acoplado a un reactor anaerobio de flujo ascendente de lecho fijo y fotocátalisis heterogéneo para el tratamiento de aguas mieles*. *Revista ECIPeru*, 49-58. <https://doi.org/10.33017/RevECIPeru2017.0005/>
- Sorgato, A. C., Jeremias, T. C., Lobo, F. L., & Lapolli, F. R. (2023). *Microbial fuel cell: Interplay of energy production, wastewater treatment, toxicity assessment with hydraulic retention time*. *Environmental Research*, 231, 116159. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116159>
- Tanaka, F., Xie, L., Ishii, Y., Kawasaki, S., & Yoshida, N. (2024). Anode biomass rather than soluble organic matter is fuel for electricity production in microbial fuel cell at longer hydraulic retention time. *Journal of Cleaner Production*, 439, 140544. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140544>
- Torres-Valenzuela, L. S., Sanín-Villarrea, A., Arango-Ramírez, A., & Serna-Jiménez, J. A. (2019). *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café*. *Revista ION*, 32(2), 59-66. <https://doi.org/10.18273/revion.v32n2-2019006>
- Wu, S., He, W., Yang, W., Ye, Y., Huang, X., & Logan, B. E. (2017). *Combined carbon mesh and small graphite fiber brush anodes to enhance and stabilize power generation in microbial fuel cells treating domestic wastewater*. *Journal of Power Sources*, 356, 348-355. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.01.041>
- Xue, W., Aung, A. P. P., Guerrero-Cruz, S., Xiao, K., He, Y., Anal, A. K., & Tabucanon, A. S. (2025). *An innovative application of osmotic microbial fuel cell (OsMFC) for enhanced activated sludge thickening and stabilization with bioelectricity generation*. *Water Research*, 275, 123199. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.123199>

Yarlequé, P. C. L. (2018). *Tratamiento de aguas residuales para el caserío Villa Palambra*
[Universidad de Piura].
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3636/ING_605.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

TITULO: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAFÉ (*Coffea*) MEDIANTE CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANA DE LA PLANTA DEL ANEXO CERRO EL PICAFLOR 2023

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	COMAVARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general		NIVEL, TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
¿Cuál es la efectividad del tratamiento de las aguas residuales del desulpado y lavado de café (<i>Coffea</i>) con celdas de combustible microbiana para el Anexo Cerro el Picaflor 2024?	Evaluar la efectividad del tratamiento de las aguas residuales del desulpado y lavado de café (<i>Coffea</i>) con celdas de combustible microbiana en el Anexo Cerro el Picaflor 2024	La efectividad del tratamiento T6 de las aguas residuales de café permiten la mejora de los parámetros de Solidos en Suspensión Totales y Demanda Bioquímica de Oxígeno porque no superan los Límites Máximos Permisibles del Procesamiento de Alimentos y Bebidas del IFC	VARIABLE INDEPENDIENTE Dimensiones: VI1. Cantidad de electrodos en las cámaras de las Celdas de Combustible Microbiana. VI2. Diámetro de la Membrana de intercambio Protónico	Tipo de investigación: Aplicada Nivel de investigación: Aplicativo Diseño Diseño de bloques completamente al azar POBLACIÓN Y MUESTRA Población: Las aguas residuales del desulpado y lavado de café del anexo Cerro el Picaflor. Muestra: 379 litros de agua residual del desulpado y lavado de café. N° de tratamientos: 9 tratamientos
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas		TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
¿Cuáles son los parámetros físico-químicos iniciales de las aguas residuales del desulpado y lavado de café provenientes del Anexo Cerro el Picaflor?	Determinar los parámetros físico-químicos iniciales de las aguas residuales del desulpado y lavado de café provenientes del Anexo Cerro el Picaflor	Los parámetros fisicoquímicos iniciales de las aguas residuales de café (<i>Coffea arabica spp</i>) analizados superan los Límites Máximos Permisibles del Procesamiento de Alimentos y Bebidas del IFC en los parámetros de Solidos en Suspensión Totales y Demanda Bioquímica de Oxígeno por lo que requieren un tratamiento con Celdas de Combustible Microbiana	Indicador: VII. N° de electrodos VI2. Diámetro del MIP Unidad de Medida: VII. Unidad VI2. mm	Técnica de recopilación de datos: Método de proceso de filtración, Método de Incubación ANALISIS DE DATOS Análisis de datos: OE1: Para comparar los parámetros iniciales con los Límites Máximos Permisibles del Procesamiento de Alimentos y Bebidas del IFC se aplicará la prueba de T de Student según la distribución de datos OE2: Para comparar las pruebas de hipótesis de utilizará la prueba de ANOVA, por el análisis de los 9 tratamientos OE3: Para comparar las pruebas de hipótesis de utilizará la prueba de ANOVA, por el análisis de los 9 tratamientos
¿Cuál es el efecto de la cantidad de electrodos y diámetro de Membran de Intercambio de Protones en la reducción del DBO en el tratamiento de aguas residuales del desulpado y lavado de café con Celdas de Combustible Microbiana?	Determinar el efecto de la cantidad de electrodos y diámetro de Membran de Intercambio de Protones en la reducción del DBO en el tratamiento de aguas residuales del desulpado y lavado de café con Celdas de Combustible Microbiana.	Existe efecto de la cantidad de electrodos y diámetro de Membran de Intercambio de Protones en la reducción del DBO en el tratamiento de aguas residuales del desulpado y lavado de café con Celdas de Combustible Microbiana.	VARIABLE DEPENDIENTE VD. Reducción de parámetros físicos y químicos de las aguas residuales de café Dimensiones VD. Parámetro físico y químico	
¿Cuál es el efecto de la cantidad de electrodos y diámetro de Membran de Intercambio de Protones en la reducción del SST en el tratamiento de aguas residuales del desulpado y lavado de café con Celdas de Combustible Microbiana?	¿Determinar el efecto de la cantidad de electrodos y diámetro de Membran de Intercambio de Protones en la reducción del SST en el tratamiento de aguas residuales del desulpado y lavado de café con Celdas de Combustible Microbiana?	Existe efecto de la cantidad de electrodos y diámetro de Membran de Intercambio de Protones en la reducción del SST en el tratamiento de aguas residuales del desulpado y lavado de café con Celdas de Combustible Microbiana.	Indicadores VD. Solidos en Suspensión Totales y Demanda Bioquímica de Oxígeno Unidad de Medida VD. mg/l y mg/l	

Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para el procesamiento de alimentos y bebidas

Introducción

Las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad son documentos de referencia técnica que contienen ejemplos generales y específicos de la práctica internacional recomendada para la industria en cuestión¹. Cuando uno o más miembros del Grupo del Banco Mundial participan en un proyecto, estas Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad se aplican con arreglo a los requisitos de sus respectivas políticas y normas. Las presentes guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para este sector de la industria deben usarse junto con el documento que contiene las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**, en el que se ofrece orientación a los usuarios respecto de cuestiones generales sobre la materia que pueden aplicarse potencialmente a todos los sectores industriales. Los proyectos más complejos podrían requerir el uso de múltiples guías para distintos sectores de la industria. Para una lista completa de guías sobre los distintos sectores de la industria, visitar: www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuideLines

Las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad contienen los niveles y los indicadores de desempeño que generalmente pueden lograrse en instalaciones nuevas, con la tecnología

existente y a costos razonables. En lo que respecta a la posibilidad de aplicar estas guías a instalaciones ya existentes, podría ser necesario establecer metas específicas del lugar así como un calendario adecuado para alcanzarlas. La aplicación de las guías debe adaptarse a los peligros y riesgos establecidos para cada proyecto sobre la base de los resultados de una evaluación ambiental en la que se tengan en cuenta las variables específicas del emplazamiento, tales como las circunstancias del país receptor, la capacidad de asimilación del medio ambiente y otros factores relativos al proyecto. La aplicabilidad de las recomendaciones técnicas específicas se basará en el criterio profesional de individuos calificados y con experiencia. Cuando la normativa del país anfitrión difiera de los niveles y medidas presentados en las guías sobre medio ambiente, salud y seguridad, los proyectos deberán cumplir las más estrictas. Cuando, en vista de las circunstancias específicas de cada proyecto, se considere necesario aplicar medidas o niveles menos exigentes que aquéllos proporcionados por estas Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad, será necesario aportar una justificación exhaustiva y detallada de las alternativas propuestas como parte de la evaluación ambiental en un sector concreto. Esta justificación debería demostrar que los niveles de desempeño escogidos garantizan la protección de la salud y el medio ambiente.

Aplicabilidad

Las presentes guías se refieren al procesamiento de la materia prima de la carne², verduras y frutas para transformarla en

¹ Definida como el ejercicio de la aptitud profesional, la diligencia, la prudencia y la previsión que podrían esperarse razonablemente de profesionales idóneos y con experiencia que realizan el mismo tipo de actividades en circunstancias iguales o semejantes en el ámbito mundial. Las circunstancias que los profesionales idóneos y con experiencia pueden encontrar al evaluar el amplio espectro de técnicas de prevención y control de la contaminación a disposición de un proyecto pueden incluir, sin que la mención sea limitativa, diversos grados de degradación ambiental y de capacidad de asimilación del medio ambiente, así como diversos niveles de factibilidad financiera y técnica.

² La carne incluye la carne de res, el cerdo y las aves de corral.

alimentos y bebidas de valor agregado³ para consumo humano. Las actividades de sacrificio y procesamiento de la carne y las aves de corral, desde la recepción de los animales hasta que las carcasas están listas para la venta o para su posterior procesamiento, se describen en las guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para el procesamiento de la carne y en las guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para el procesamiento de las aves de corral. Este documento está dividido en las siguientes secciones:

- Sección 1.0: Manejo e impactos específicos de la industria
- Sección 2.0: Indicadores y seguimiento del desempeño
- Sección 3.0: Referencias y fuentes adicionales
- Anexo A: Descripción general de las actividades de la industria

³ Incluye solamente la fabricación de bebidas no fermentadas. La fabricación de la cerveza se describe en las guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para las Fábricas de Cerveza.

1.0 Manejo e impactos específicos de la industria

La siguiente sección contiene una síntesis de las cuestiones relativas al medio ambiente, la salud y la seguridad asociadas con el procesamiento de alimentos y bebidas que tienen lugar durante la fase operacional, así como recomendaciones para su manejo. Por otra parte, en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se ofrecen recomendaciones sobre la gestión de las cuestiones de este tipo que son comunes a la mayoría de los grandes establecimientos industriales durante las etapas de construcción y de desmantelamiento.

1.1 Medio ambiente

Las herramientas básicas para manejar los impactos a la vez que se optimiza el uso del agua, la energía y los recursos y se mejoran las prácticas de trabajo implican la adopción de las buenas prácticas específicas del sector, los sistemas de gestión de calidad (incluida la serie de ISO 9000 e ISO 22000), los sistemas de gestión de riesgos (por ejemplo, Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control, HACCP) y las normas de gestión ambiental (por ejemplo, ISO 14000).⁴

Los problemas ambientales relacionados con las instalaciones de procesamiento de alimentos y bebidas son fundamentalmente los siguientes:

- Residuos sólidos
- Aguas residuales
- Consumo de energía

⁴ El objetivo del HACCP es la identificación y manejo sistemático de los riesgos asociados con la producción y distribución de productos alimenticios. La ISO 22000:2005 cubre los requisitos para un sistema de gestión de la seguridad alimentaria en el que una organización de la cadena alimentaria demuestra su capacidad para controlar los impactos de seguridad alimentaria y garantizar la inocuidad de los alimentos para consumo humano. La serie ISO 9000 es una norma internacional para la certificación de los sistemas de fabricación y gestión de calidad, la ISO 14001 es una norma internacional para la certificación de los sistemas de gestión ambiental.

- Emisiones a la atmósfera

Residuos sólidos

Dependiendo de las materias primas, las actividades de procesamiento de alimentos y bebidas pueden generar un volumen considerable de residuos sólidos orgánicos y putrescibles consistentes en materiales no comestibles y productos desechados durante la clasificación, selección y demás procesos de producción⁵. Cuando la materia prima consiste en productos cármicos, los residuos sólidos generados durante el procesamiento incluyen materiales orgánicos que pueden afectar de forma significativa a la seguridad alimentaria debido a la proliferación de microorganismos patógenos⁶.

Las medidas recomendadas para prevenir y controlar la generación de residuos sólidos incluyen:

- Minimizar el tiempo de almacenamiento de las existencias de materias primas para reducir las pérdidas resultantes de la putrefacción
- Supervisar y regular los sistemas de refrigeración y frío durante las actividades de almacenamiento y procesamiento para minimizar la pérdida de producto, optimizar el consumo de energía y prevenir los olores
- Estudiar la posibilidad de utilizar técnicas de cerramiento para minimizar los daños a las materias primas almacenadas en el exterior

⁵ Por ejemplo, los champiñones tienen una tasa de desperdicio baja (aproximadamente, 3-5 por ciento), mientras que la tasa de desperdicio del procesamiento del maíz es muy superior (alrededor del 50-60 por ciento). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 2004. Grupo de Trabajo para la Producción más Limpia en la Industria Alimentaria. Nota informativa 3: Colección sobre elaboración de alimentos. Procesamiento de alimentos y bebidas.

⁶ La proporción de subproductos de origen animal en las actividades de procesamiento de los alimentos en relación con el peso de la carcasa oscila entre aproximadamente entre el 8 y 16,5 por ciento para el cerdo, del 7 a 8 por ciento para aves de corral y el 12 por ciento para la carne de res. Comisión de la Unión Europea (UE). 2006. Dirección General del Centro Común de Investigación (CCI), Instituto de Prospectiva Tecnológica. Prevención y control integrados de la contaminación. Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para la industria de alimentos, bebidas y leche.

- Supervisar y optimizar la productividad del proceso, por ejemplo durante las actividades de selección o corte manual, e incentivar a los empleados más productivos para que capaciten a otros en el procesamiento eficiente.
- Limpiar, separar y clasificar productos alimenticios crudos en una fase inicial (por ejemplo en la explotación agrícola o ganadera) para reducir los residuos orgánicos y productos que incumplan las normas en las instalaciones de procesamiento
- Contener los residuos sólidos en estado seco y estudiar la posibilidad de eliminarlos mediante el compostaje y / o uso para el mejoramiento del suelo
- Los detritos / suelo orgánico e inorgánico, la materia sólida orgánica y los efluentes líquidos (incluidos los lodos procedentes del tratamiento de aguas residuales) generados por la implementación de estrategias de prevención de residuos se reciclarán para mejorar el suelo (sobre la base de una evaluación de los impactos potenciales en el suelo y los recursos hídricos) u otros usos beneficiosos tales como la producción de energía
- Recoger y reutilizar las materias primas descartadas para fabricar otros productos⁷
- Disponer de contenedores a prueba de fugas para los residuos sólidos y líquidos recogidos
- Segregar los subproductos individuales entre sí y de los residuos para maximizar su aprovechamiento y minimizar los residuos.

⁷ Los productos secundarios incluyen confituras y productos cortados tales como la ensalada de col, el chucrut, las mondas de la naranja para uso como suplemento de fibra dietética; la pulpa de la patata para la producción de biocombustible; los restos de la cebolla para la producción de aceite de cebolla, fructooligosacáridos, polisacáridos pécticos y fiebra dietética baja en lignina; los residuos animales para la producción de piensos para consumo animal cumpliendo estrictamente los criterios de bioseguridad; y el uso de los huesos, la grasa y otros subproductos de la carne como materia prima para pegamentos, detergentes, gelatina y otros materiales.

Aguas residuales

Aguas residuales de procesos industriales

Las corrientes de efluentes generadas durante el procesamiento de alimentos y bebidas pueden presentar elevadas demandas biológica (DBO) y química (DQO) de oxígeno debido a la entrada de residuos orgánicos en la corriente de aguas residuales y al uso de sustancias químicas y detergentes en distintos procesos, incluido el de limpieza (ver más adelante). Además, los efluentes pueden contener bacterias patógenas, residuos de plaguicidas, sólidos en suspensión y disueltos tales como fibras y partículas del suelo, nutrientes y microbios, y un pH variable. La carga de efluentes debe reducirse impidiendo la entrada innecesaria de materias primas, productos intermedios orgánicos, productos, subproductos y residuos en el sistema de aguas residuales, como describe la sección sobre residuos sólidos.

Tratamiento de aguas residuales de procesos

Las técnicas empleadas para tratar las aguas residuales de procesos industriales en este sector incluyen filtros de grasa, desespumadores o separadores de aceite/agua para separar los sólidos flotantes; la equalización de flujo y carga; la sedimentación dirigida a la reducción de los sólidos en suspensión mediante el empleo de clarificadores; el tratamiento biológico, normalmente aerobio, para reducir la materia orgánica soluble (DBO); la eliminación de nutrientes biológicos para reducir el nitrógeno y el fósforo; la cloración de los efluentes siempre que sea necesario realizar la desinfección; la deshidratación y eliminación de residuos; en algunos casos, podrá procederse al compostaje o aplicar en el terreno residuos de aguas residuales previamente tratadas y de calidad aceptable. Puede ser necesario implementar controles de ingeniería adicionales para contener y neutralizar los olores molestos.

En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se explica la gestión de aguas residuales industriales y se ofrecen ejemplos de enfoques para su tratamiento. Mediante el uso de estas tecnologías y técnicas recomendadas para la gestión de aguas residuales, los establecimientos deberían cumplir con los valores para la descarga de aguas residuales que se indican en el cuadro correspondiente de la Sección 2 del presente documento para la industria gráfica.

Consumo de agua y otras corrientes de aguas residuales

En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se dan orientaciones sobre el manejo de aguas residuales no contaminadas procedentes de operaciones de servicios públicos, aguas pluviales no contaminadas y aguas de alcantarillado. Las corrientes contaminadas deberían desviarse hacia el sistema de tratamiento de aguas residuales de procesos industriales. Las actividades de procesamiento de alimentos y bebidas (por ejemplo el lavado, el transporte interno de materias primas empleando agua, la refrigeración de los alimentos blanqueados y los equipos de limpieza en general) pueden llegar a consumir grandes cantidades de agua⁴. Además de las recomendaciones sobre conservación del agua incluidas en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**, las medidas específicas de la industria incluyen:

- Minimizar el agua que se consume durante los procesos de producción:
 - Optimizar los sistemas de transporte del producto para reducir el contacto de la materia prima y el

producto con el agua, utilizando por ejemplo sistemas de transporte en seco en vez de húmedos. Optimizar las operaciones en la línea de proceso para evitar los vertidos de materias primas y agua, reduciendo así la necesidad de tratar las aguas residuales y el consumo de energía asociado con dicho tratamiento

- Utilizar métodos secos, como los clasificadores neumáticos, los separadores magnéticos o la vibración en lugar de los dispositivos de tamizado y filtrado para la limpieza primaria de materias primas robustas con un bajo contenido en humedad
- Siempre que sea factible, emplear un proceso continuo / por lotes de vapor o de mondado cáustico en seco para las actividades de pelado, o bien estudiar la posibilidad de emplear el pelado cáustico en seco
- Minimizar la tasa de suministro de reposición a los depósitos de desbordamiento continuo, canales, etc.
- Utilizar grifos con válvulas de cierre automático y boquillas optimizadas de agua a alta presión,
- Emplear técnicas de lavado a contracorriente para el lavado primario de las materias primas
- Implementar equipos de limpieza en seco utilizando un rascador o escoba antes de limpiar con agua.
- Minimizar el transporte en húmedo (bombeo) de residuos
- Reutilizar el máximo posible las corrientes de agua en los procesos de producción, evitando a la vez contaminar el agua o comprometer la seguridad alimentaria:
 - Separar y recircular el agua de refrigeración de las corrientes de aguas de proceso y aguas residuales. Recircular y reutilizar el agua de descongelación en un circuito cerrado siempre que esta práctica no comprometa la seguridad alimentaria
 - Recircular el agua de reducción empleada en la transferencia de productos vegetales siempre que

⁴ La demanda de agua en el procesamiento de la carne tiene orígenes diversos y, dependiendo de la operación concreta, puede incluir la descongelación de materiales congelados, equipos continuos, lavado y desinfección de botas, mandiles e indumentaria, así como la generación de vapor y calor de proceso y los procesos de refrigeración.

dicha práctica no comprometa la seguridad alimentaria

- Reutilizar el condensado como agua de suministro de caldera. El condensado también puede emplearse como agente de riego para la supresión de polvo o el lavado general de la fábrica (por ejemplo para limpiar el suelo).
 - Siempre que sea factible, reciclar el agua de lavado de baja calidad y reutilizarla en el lavado primario de las materias primas o para su transporte en húmedo
 - Estudiar las oportunidades para recoger y emplear las aguas pluviales cumpliendo con los requisitos de seguridad alimentaria
- Revisar las líneas de proceso y las operaciones para identificar las oportunidades para reducir la carga del efluente minimizando el contacto con el agua en cada etapa del proceso y evitando la contaminación del agua y la necesidad de tratamientos posteriores, incluyendo:
 - La utilización de métodos en seco (por ejemplo vibración o chorros de aire) para limpiar las materias primas
 - Instalar redes para reducir o evitar la introducción de materiales sólidos en el sistema de drenaje de las aguas residuales Instalar bandejas para atrapar los residuos procedentes de las operaciones de molidura y jugos / productos en los transportadores
 - Llevar a cabo pruebas periódicas para garantizar la integridad de los depósitos de almacenamiento a granel para productos y residuos
 - Proporcionar contención secundaria para los tanques de almacenamiento y de proceso para contener los vertidos
 - Adoptar los métodos de mejores prácticas para la limpieza de las instalaciones, empleando para ello

sistemas manuales o automatizados de Limpieza In Situ (CIP, por sus siglas en inglés)⁹ y sustancias químicas y / o detergentes aprobados cuyo impacto ambiental sea mínimo y cuyo uso sea compatible con los procesos subsiguientes de tratamiento de aguas residuales.

Consumo de energía

Las actividades de procesamiento de los alimentos y las bebidas pueden consumir una elevada cantidad de energía térmica para el calentamiento, enfriamiento y refrigeración de proceso. Además de las recomendaciones para la conservación de energía descritas en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**, se recomiendan las siguientes medidas específicas del sector¹⁰:

- Implementar medidas operativas, de mantenimiento y servicio:
 - Aislar las salas/zonas de refrigeración y utilizar puertas y esclusas de cierre automático
 - Aislar las salas / áreas refrigeradas
- Optimizar los procesos de planta para mejorar la eficiencia energética:
 - Utilizar la producción combinada de calor y electricidad (PCCE), especialmente en aquellas plantas que presenten una elevada demanda de calor y electricidad durante más de 5000 horas/año
 - Siempre que sea posible, reducir el tamaño de las salas de refrigeración, aunque teniendo en cuenta en todo momento la seguridad alimentaria
 - Diseñar el plano de la planta de modo que se reduzcan las distancias de bombeo y transporte en cintas transportadoras

⁹ Los sistemas automatizados de CIP reducen el consumo de sustancias químicas, agua y energía y facilitan la recuperación del agua de aclarado, pero pueden resultar inadecuados en ciertas aplicaciones.
¹⁰ CE (2006).

- Garantizar la limpieza periódica de las incrustaciones en las superficies de transferencia de calor, como por ejemplo en el proceso de esterilización, para garantizar una eficiencia óptima
- Evitar la refrigeración de frutas, verduras y subproductos destinados para consumo animal mediante el almacenamiento en el exterior en zonas cubiertas o en contenedores, siempre que lo permitan las condiciones climáticas y el diseño de la planta
- Emplear la refrigeración previa a altas temperaturas antes de recurrir a la refrigeración y la congelación, por ejemplo, después de blanquear estos productos previamente refrigerados pasándolos por agua fría antes de congelarlos. Esta opción resulta especialmente eficaz en términos de costos cuando se utiliza la congelación con nitrógeno líquido.
- Recuperar energía a partir de los procesos térmicos siempre que sea posible. Las oportunidades de recuperación de calor pueden incluir por ejemplo¹¹:
 - La recuperación de calor procedente de hornos, secadores, evaporadores, pasteurizadores y esterilizadores
 - Maximizar la eficiencia de la regeneración en pasteurizadores de placa de intercambio de calor (es posible alcanzar hasta un 94 por ciento en términos de eficiencia de regeneración)
 - Recuperar el calor procedente del vapor condensado para las operaciones de blanqueado y peladura al vapor antes de su descarga
 - Emplear evaporadores multifecto en aplicaciones de evaporador a gran escala.

Emisiones a la atmósfera

Los principales contaminantes del aire resultantes de las operaciones de procesamiento de alimentos y bebidas consisten en la materia en partículas (MP) y olores. La MP puede originarse durante la manipulación, reducción y deshidratación de sólidos. Los olores pueden generarse durante ciertas etapas del procesamiento térmico, como la peladura al vapor, la deshidratación y la acción de los microbios en los residuos sólidos almacenados. Durante el procesamiento de la carne, las actividades de cocción y ahumado también pueden generar olores¹².

Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** describen el manejo de las emisiones a la atmósfera a partir de fuentes de combustión empleadas para la generación de electricidad.

Material particulado

Las técnicas recomendadas para prevenir y controlar las emisiones de material particulado incluyen¹³:

- Cubrir contenedores, depósitos y montones, especialmente en el exterior
- Cerrar silos y contenedores usados para el almacenamiento a granel de polvos y finos
- Cuando no sea factible cerrarlos, se emplearán pulverizadores, cortavientos, barrido, riego y otras técnicas de gestión de montones para suprimir el polvo presente
- Utilizar transportadores cerrados equipados con filtros para limpiar el aire de transporte antes de su vertido
- Utilizar colectores centrifugos y, cuando fuera necesario, filtros textiles para eliminar el polvo presente en el aire de escape

¹¹ CE (2006).

¹² CE (2006).

¹³ En base a la Environment Agency. 2003. Environment and Heritage Service. Guidance for the Food and Drink Sector. Sector Guidance Note IPPC S6.20.

- Eliminar el material particulado de la corriente de gas empleando colectores centrifugos en seco, lavadores venturi, precipitadores electrostáticos (PES) o sistemas de filtro en seco cuando sea necesario.

Olores

Las técnicas recomendadas para prevenir y controlar las emisiones de olor de fuentes puntuales incluyen:

- Utilizar conductos de escape de acuerdo con las buenas prácticas de ingeniería (BPI) descritas en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**
- Cuando la planta se encuentre próxima a zonas residenciales, estudiar la posibilidad de utilizar lavadores húmedos para eliminar las emisiones de olor. Los lavadores húmedos se utilizan para eliminar olores con elevada afinidad al agua, como el amoníaco emitido durante el proceso de reconversión
- Durante el aprovisionamiento de sistemas de emisiones a la atmósfera para las unidades de ahumado, la mejor práctica consiste en instalar sistemas integrados que combinen la limpieza del aire con la incineración y la recuperación de calor. Dichos sistemas son muy eficaces para reducir las emisiones de olor y para la eficiencia de la producción / energía
- Recircular los gases de escape procedentes de las operaciones de fritura y cocción por el quemador

Las técnicas recomendadas para prevenir y controlar las emisiones fugitivas de olor incluyen:

- Minimizar la duración del almacenamiento de residuos sólidos para evitar la putrefacción
- Operar las instalaciones en condiciones de vacío parcial para prevenir las emisiones fugitivas de olor

- Inspeccionar de forma periódica los equipos de refrigeración y congelación para supervisar la pérdida de refrigerantes

1.2 Higiene y seguridad en el trabajo

Las cuestiones relativas a la higiene y la seguridad en el trabajo durante la operación, construcción y desmantelamiento de las plantas de procesamiento de alimentos y bebidas se describen en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**. Los riesgos durante la fase operativa incluyen:

- Riesgos físicos
- Exposición al ruido
- Riesgos biológicos
- Riesgos de origen químico
- Exposición al frío y al calor

Riesgos físicos

Los riesgos físicos incluyen la exposición al riesgo de caídas al mismo nivel a causa de superficies resbaladizas, el uso de maquinaria y herramientas y los choques con vehículos de transporte interno tales como carretillas elevadoras y contenedores. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen recomendaciones sobre las condiciones generales en el trabajo, incluido el diseño y el mantenimiento dirigidos a evitar los resbalones y las caídas en las superficies destinadas al trabajo y el tránsito. A continuación se enumeran las recomendaciones específicas del sector:

- Mantener las superficies transitadas y de trabajo limpias y secas evitando los vertidos originados por el diseño y la operación de los equipos, y proporcionando a los trabajadores calzado antideslizante cuando sea necesario
- Controlar los riesgos ocupacionales mediante la implementación de controles de ingeniería. Abordar los riesgos residuales basándose en sondeos sobre higiene y

seguridad y proporcionar a los trabajadores capacitación sobre el uso y mantenimiento adecuados de dispositivos de seguridad (incluido el correcto uso de los dispositivos de seguridad de la maquinaria) y equipos de protección personal (EPP), como equipos de protección de los oídos y guantes, mandiles, etc. para evitar cortes, amputaciones y otros traumas provocados por instrumentos afilados

- Garantizar que el diseño del proceso reduce las posibilidades de que ciertas actividades del proceso crucen las vías transitadas, evitando así las colisiones y las caídas
- Delimitar los corredores destinados al transporte y las zonas de trabajo y garantizar la adecuada colocación de barandillas en plataformas, escalerillas y escaleras
- Evitar la entrada de agua
- Poner a tierra todos los equipos e instalaciones eléctricos
- Elaborar planes de emergencia y capacitar al personal para las situaciones de emergencia

Levantamiento de peso, tareas repetitivas y lesiones posturales en el trabajo

Las actividades de procesamiento de alimentos y bebidas pueden acarrear una serie de situaciones en las que los trabajadores se vean expuestos al levantamiento y transporte de peso, las labores repetitivas y las lesiones posturales en el trabajo. Estas lesiones pueden ser el resultado del levantamiento de pesos pesados y las labores repetitivas, incluida la operación de máquinas de corte y envasado al vacío y las posturas deficientes en el trabajo provocadas por unas estaciones de trabajo y un diseño de las actividades de proceso inadecuados. Las medidas de gestión recomendadas para reducir este tipo de lesiones se presentan en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

Exposición al ruido

Una serie de operaciones en las unidades de procesamiento de alimentos y bebidas generan niveles considerables de ruido, como por ejemplo la planta de enlatado, las máquinas de embotellado, los transportadores y las aplicaciones de blanqueado. En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se ofrecen recomendaciones para prevenir y controlar la exposición de los trabajadores al ruido.

Riesgos biológicos

La exposición a los agentes biológicos y microbiológicos puede estar relacionada con la inhalación e ingestión de polvo y aerosoles. El polvo procedente de los ingredientes empleados en el procesamiento de alimentos y bebidas y los elevados niveles de humedad pueden provocar irritaciones cutáneas y otras reacciones alérgicas.

Las recomendaciones para prevenir y controlar la exposición a los riesgos biológicos específicos del procesamiento de alimentos y bebidas incluyen:

- Evitar las actividades que generen polvo y aerosoles (por ejemplo el uso de aire comprimido o agua a alta presión para limpiar) y, en caso de ser inevitables, proporcionar una ventilación adecuada en las zonas cerradas o semicerradas para reducir o eliminar la exposición al polvo y los aerosoles
- Instalar sistemas de ventilación de gases de escape equipados con filtros y/o colectores centrifugos, etc. en las fuentes de polvo
- Proporcionar a los trabajadores los EPP adecuados para cada actividad de proceso, por ejemplo máscaras y guantes
- Garantizar la separación física de las instalaciones de trabajo y descanso para preservar la higiene personal de los trabajadores

Riesgos de origen químico

La exposición a las sustancias químicas (incluidos los gases y los vapores) suele estar relacionada con las actividades de manipulación de sustancias químicas durante las operaciones de limpieza y desinfección de las zonas de proceso, además del mantenimiento de los sistemas de calefacción (aceites térmicos) y refrigeración (amoníaco). En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se ofrecen recomendaciones para prevenir y controlar la exposición a las sustancias químicas.

Las plantas de procesamiento de alimentos y bebidas suelen disponer de grandes sistemas de refrigeración que a menudo utilizan amoníaco como refrigerante principal y que pueden emplear glicoles o breas como refrigerantes secundarios. El amoníaco es una sustancia tóxica y puede formar mezclas explosivas en contacto con el aire. Se tendrán en cuenta las guías sobre el uso seguro del amoníaco y otros refrigerantes disponibles en las instituciones profesionales de refrigeración¹⁴.

Calor y frío

El procesamiento de alimentos y bebidas puede generar condiciones cambiantes de temperatura debido a actividades como el tratamiento con calor, la refrigeración y la congelación. Los trabajadores podrían estar expuestos al calor procedente de los procesos de peladura al vapor, pasteurización y enlatado y a bajas temperaturas en las zonas / salas refrigeradas. La dosificación de la radiación para prolongar la vida en almacenamiento de frutas y verduras se supervisará para prevenir la exposición ocupacional a la radiación. En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se ofrecen recomendaciones para prevenir y controlar la exposición al frío, al calor y a la radiación.

¹⁴ Ver el Institute of Refrigeration (IOR) para unas guías sobre el diseño seguro de los sistemas de amoníaco y otros métodos de refrigeración, así como el manejo seguro del amoníaco. Ver también la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).

1.3 Higiene y seguridad en la comunidad

Las consecuencias que la construcción, la operación y el desmantelamiento de las instalaciones de procesamiento de alimentos y bebidas pueden acarrear para la higiene y seguridad en la comunidad son comunes a la mayoría de los establecimientos industriales, y se explican en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**. Las cuestiones específicas de la industria que pueden afectar potencialmente a la comunidad son aquellas vinculadas a la higiene y la seguridad alimentaria.

Higiene del proceso, los equipos y el personal

El diseño de la planta de procesamiento se organizará de tal modo que se garantice el traspaso de los productos de las zonas "sucias" a las "limpias" para impedir que vuelvan a contaminarse. El tránsito de los empleados en las instalaciones deberá realizarse en dirección opuesta al flujo de los productos (es decir, de las zonas "limpias" a las "sucias"). Las actividades de limpieza durante el procesamiento dependerán de la producción y sistemas de procesamiento en particular. La limpieza y desinfección diaria deberían consistir en:

- Garantizar la correcta ubicación de los equipos para su limpieza
- Retirar los residuos sólidos
- Aclarado previo con agua
- Aplicación de detergente(s)
- Aclarado
- Desinfección
- Aclarado posterior
- Tratamiento posterior

El personal se formará en cuestiones relacionadas con seguridad alimentaria y cumplirá los procedimientos

establecidos para el lavado de manos, la indumentaria de trabajo (ropa, calzado, guantes y cobertura del cabello) y para el manejo de lesiones y enfermedades.

Impacto y gestión de la seguridad alimentaria

La retirada de un producto alimenticio debido a la existencia de productos contaminados o adulterados puede perjudicar a empresas que son en principio viables. Cuando la empresa pueda asociar sus productos con números de lote específicos, la retirada consistirá en retirar todos los alimentos asociados con unos números de lote en concreto. Gracias a la implementación de programas de seguridad de producto, las empresas pueden protegerse frente a la adulteración, contaminación e impactos de la retirada de alimentos.

Por consiguiente, el procesamiento de alimentos y bebidas debería ajustarse a la normativa sobre seguridad alimentaria reconocida a escala internacional y cumplir con los principios de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (HACCP)¹⁵ y el *Codex Alimentarius* de la FAO/OMS¹⁶.

El *Codex Alimentarius* proporciona las normas oficiales actuales para una gama de productos específicos generados por el sector de procesamiento de alimentos y bebidas, incluidos los productos alimenticios enlatados, ultracongelados y frescos. Además, el *Codex Alimentarius* proporciona normas oficiales actuales para las fases generales y específicas de fabricación en el proceso de producción, como son los Principios Generales de Higiene Alimentaria, el Código Internacional Recomendado de Prácticas de Higiene para los alimentos y bebidas enlatados y el Código Internacional de Prácticas para el envasado y transporte de alimentos frescos tropicales y bebidas. En general, se recomiendan entre otros los siguientes principios de seguridad alimentaria:

- Mantener de forma rigurosa la cadena del frío y otros procesos de preservación
- Institucionalizar plenamente los prerrequisitos del HACCP y Procedimientos Operacionales Estándar, incluidos:
 - Saneamiento
 - Buenas prácticas de fabricación (BPF)
 - Control de plagas
 - Control de sustancias químicas
 - Control de los alérgenos
 - Higiene y educación del personal
 - Mecanismo de reclamaciones de clientes
 - Rastreabilidad y reutilización

2.0 Indicadores y seguimiento del desempeño

2.1 Medio ambiente

Guías sobre emisiones y efluentes

El Cuadro 1 contiene las guías sobre efluentes para el sector. Las cantidades correspondientes a las emisiones y efluentes de los procesos industriales en este sector son indicativas de las prácticas internacionales recomendadas para la industria, reflejadas en las normas correspondientes de los países que cuentan con marcos normativos reconocidos. Dichas cantidades pueden alcanzarse en condiciones normales de funcionamiento de instalaciones adecuadamente diseñadas y utilizadas mediante la aplicación de las técnicas de prevención y control de la contaminación que se han analizado en las secciones anteriores de este documento. Estos niveles se deben lograr, sin dilución, al menos el 95% del tiempo que opera la planta o unidad, calculado como proporción de las horas de operación anuales. El incumplimiento de estos niveles debido a las condiciones de determinados proyectos locales se debe justificar en la evaluación ambiental correspondiente.

¹⁵ Organización Internacional para la Estandarización (ISO) (2005).

¹⁶ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Organización Mundial de la Salud (OMS) (1962-2005).

Las guías sobre efluentes se aplican a los vertidos directos de efluentes tratados a aguas superficiales de uso general. Los niveles de vertido específicos del emplazamiento pueden establecerse basándose en los requisitos definidos para los sistemas de tratamiento y recogida de aguas de alcantarillado público o, si se vierten directamente a las aguas superficiales, basándose en la clasificación del uso del agua receptora que se describe en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

Las principales emisiones asociadas con las actividades de procesamiento de alimentos son los materiales particulados (MP) y el olor. El MP y las emisiones de olor de fuentes puntuales tales como los sistemas de ventilación de gases de escape y las unidades de ahumado se liberarán a la atmósfera mediante chimeneas diseñadas en base a las BPI. Las emisiones de MP procedentes de las unidades de ahumado no deberían exceder normalmente los 50 mg/Nm³. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen orientaciones sobre las emisiones asociadas con actividades de producción de energía eléctrica y vapor generadas por una fuente de combustión con capacidad igual o inferior a 50 megavatios térmicos, mientras que las guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para energía térmica contienen disposiciones sobre las emisiones generadas por una fuente de energía más grande. En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se proporciona orientación sobre cuestiones ambientales teniendo en cuenta la carga total de emisiones.

Cuadro 1. Niveles de efluentes para el procesamiento de alimentos y bebidas

Contaminantes	Unidades	Valor Indicativo
pH	pH	6 – 9
DBO ₅	mg/l	50

DQO	mg/l	250
Nitrógeno total	mg/l	10
Fósforo total	mg/l	2
Aceite y grasa	mg/l	10
Sólidos en suspensión totales	mg/l	50
Aumento de temperatura	°C	<3 ^b
Bacterias coliformes totales	MPN ^a / 100 ml	400
Ingredientes activos / Antibióticos	A determinar en cada caso	
Notas:		
^a NMP = Número Más Probable		
^b Al borde de una zona de mezcla científicamente establecida que toma en cuenta la calidad del agua ambiente, el uso del agua receptora, los receptores potenciales y la capacidad de asimilación.		

Cuadro 2: Generación de residuos en el sector de procesamiento de alimentos y bebidas

Residuos sólidos producidos por tonelada de producto	Unidad	Valor de referencia de la industria
Maíz	Kg	40
Guisantes	Kg	40
Patatas	Kg	40
Brécol	Kg	200
Zanahorias	Kg	200
Fresas	Kg	60
Manzanas	Kg	90
Melocotones	Kg	180

Uso de recursos y generación de desechos

Los cuadros 2 y 3 contienen ejemplos de indicadores de consumo de recursos para la energía, el agua, los materiales y los residuos en este sector. Los valores de referencia de la industria se consignan únicamente para fines comparativos, y cada proyecto debería tener como objetivo lograr mejoras continuas en estas áreas.

Seguimiento ambiental

Se llevarán a cabo programas de seguimiento ambiental para este sector en todas aquellas actividades identificadas por su potencial impacto significativo en el medio ambiente, durante las operaciones normales y en condiciones alteradas. Las actividades de seguimiento ambiental se basarán en indicadores directos e indirectos de emisiones, efluentes y uso de recursos aplicables al proyecto concreto.

La frecuencia del seguimiento debería permitir obtener datos representativos sobre los parámetros objeto del seguimiento. El seguimiento deberá recaer en individuos capacitados, quienes deberán aplicar los procedimientos de seguimiento y registro y utilizar un equipo adecuadamente calibrado y mantenido. Los datos de seguimiento se analizarán y revisarán con regularidad, y se compararán con las normas vigentes para así adoptar las medidas correctivas necesarias. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen orientaciones adicionales sobre los métodos de muestreo y análisis de emisiones y efluentes.

2.2 Higiene y seguridad en el trabajo

Guía sobre higiene y seguridad en el trabajo

Para evaluar el desempeño en materia de higiene y seguridad en el trabajo deben utilizarse las guías sobre exposición que se publican en el ámbito internacional, entre ellas: guías sobre la concentración máxima admisible de exposición profesional (TLV®) y los índices biológicos de exposición (BEIs®) publicados por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)¹⁷, la Guía de bolsillo sobre riesgos químicos publicada por el Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo de los Estados Unidos (NIOSH)¹⁸, los

Cuadro 3. Consumo de recursos y energía en el procesamiento de alimentos y bebidas

Residuos por unidad de producto	Unidad	Valor de referencia de la industria
Consumo de electricidad ^a		
Clasificación de verduras (zanahorias)	kWh/t verduras congeladas	8
Peladura cáustica de verduras		2
Peladura al vapor de verduras		3,5
Lavado de verduras (zanahorias)		2,5
Procesamiento mecánico previo a la congelación (zanahorias en tacos)		2,5
Blanqueo en tambor en la congelación de verduras		0,5 - 1,3
Refrigeración de las verduras con agua a contracorriente		0,5 - 1,3
Blanqueador continuo con refrigerador de agua		2 - 9
Blanqueador continuo con refrigeración de aire		7 - 30
Consumo de agua		
Fruta enlatada	m ³ /ton	2,5-4,0
Verduras enlatadas		3,5-6,0
Verduras congeladas		5,0 - 8,5
Zumos de fruta		6,5
Confituras		6,0
Procesamiento de patata: ^b		4,5 - 9,0
Rango Bien gestionado		5,1
Jamón cocido ^b		4 - 18
Jamón curado ^b		2 - 20
Salchichas, jamón, bacon, etc. ^b		10 - 20

NOTAS

^a Cuadros 3.31 - 3.39. Comisión Europea. PCIC. Documento de Referencia sobre MTD en las industrias de la alimentación, la bebida y la leche. P. 169 - 177.

^b Cuadro 3.20: Consumo de agua en algunos procesos en el sector de los alimentos y bebidas. Comisión Europea. PCIC. Documento de Referencia sobre MTD en las Industrias de la Alimentación, la Bebida y la Leche, p. 162.

límites permisibles de exposición publicados por la Administración de Seguridad e Higiene en el Trabajo de los

¹⁷ Disponibles en: <http://www.acgih.org/TLV/> y <http://www.acgih.org/store/>

¹⁸ Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

Estados Unidos (OSHA)¹⁹, los valores límite indicativos de exposición profesional publicados por los Estados miembros de la Unión Europea²⁰ u otras fuentes similares.

Tasas de accidentes y letalidad

Deben adoptarse medidas para reducir a cero el número de accidentes entre los trabajadores del proyecto (ya sean empleados directos o personal subcontratado), especialmente los accidentes que pueden causar la pérdida de horas de trabajo, diversos niveles de discapacidad e incluso la muerte. Como punto de referencia para evaluar las tasas del proyecto puede utilizarse el desempeño de instalaciones en este sector en países desarrollados, que se obtiene consultando las fuentes publicadas (por ejemplo, a través de la Oficina de Estadísticas Laborales de los Estados Unidos y el Comité Ejecutivo de Salud y Seguridad del Reino Unido)²¹.

Seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo

Es preciso realizar un seguimiento de los riesgos que pueden correr los trabajadores en el entorno laboral del proyecto concreto. Las actividades de seguimiento deben ser diseñadas y realizadas por profesionales acreditados²² como parte de un programa de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo. En las instalaciones, además, debe llevarse un registro de los accidentes y enfermedades laborales, así como de los sucesos y accidentes peligrosos. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen orientaciones adicionales sobre los programas de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo.

¹⁹ Disponibles en: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992

²⁰ Disponibles en: http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/bel/

²¹ Disponibles en: <http://www.bls.gov/iif/> y <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>

²² Los profesionales acreditados pueden incluir a higienistas industriales certificados, higienistas ocupacionales diplomados o profesionales de la seguridad certificados o su equivalente.

Anexo 3. Cantidad de agua residual litro por saco

$$C_{\text{agua residual}} \frac{\text{litro}}{\text{saco}} = P \times l_{\text{agua residual}} \frac{\text{litro}}{\text{kg}}$$

Donde:

$$C_{\text{agua residual}} \frac{\text{litro}}{\text{saco}} = \text{Cantidad de agua residual en litros} * \text{saco de café}$$

$$P = \text{Peso del café en kg}$$

$$l_{\text{agua residual}} \frac{\text{litro}}{\text{kg}} = \text{Litros de agua residual} * \text{kg de grano de café}$$

Remplazamos:

$$C_{\text{agua residual}} \frac{\text{litro}}{\text{saco}} = P \times l_{\text{agua residual}} \frac{\text{litro}}{\text{kg}}$$

$$9.6 \times 20 = 192 \text{ litros de agua residual por saco}$$

Según el cálculo desarrollado podemos decir que la cantidad de agua residual provenientes del lavado y despulpado de café es de aproximadamente 192 litros de agua residual por saco de café.

$$l_{\text{agua residual}} \frac{\text{litro}}{\text{productor de café}} = C_{\text{agua residual}} \frac{\text{litro}}{\text{saco}} \times N^{\circ} \text{sacos}$$

Donde:

$$l_{\text{agua residual}} \frac{\text{litro}}{\text{productor de café}} = \text{Litros de agua residual} * \text{productor de café}$$

$$C_{\text{agua residual}} \frac{\text{litro}}{\text{saco}} = \text{Cantidad de agua residual en litros} * \text{saco de café}$$

$$N^{\circ} \text{sacos} = \text{Numero de sacos promedio}$$

Remplazamos:

$$l_{\text{agua residual}} \frac{\text{litro}}{\text{productor de café}} = C_{\text{agua residual}} \frac{\text{litro}}{\text{saco}} \times N^{\circ} \text{sacos}$$

$$192 \times 160 = 30720 \text{ litros de agua residual}$$

Anexo 4. Volumen total de agua residual de población

$$V_{total\ de\ agua\ residual} = N^{\circ}_p \times P_{prom.\ de\ caf\acute{e}} \times V_{agua\ residual*kg} \times T_{temporada}$$

Donde:

$$V_{total\ de\ agua\ residual} = \text{Volumen total de agua residual}$$

$$N^{\circ}_p = \text{Numero de productores}$$

$$P_{prom.\ de\ caf\acute{e}} = \text{Producci3n promedio de cafe * productor}$$

$$l_{agua\ residual/kg} = \text{Volumen de agua residual * kg de cafe}$$

$$T_{temporada} = \text{Duraci3n de la temporada de caf\acute{e}}$$

Remplazamos:

$$V_{total\ de\ agua\ residual} = N^{\circ}_p \times P_{prom.\ de\ caf\acute{e}} \times V_{agua\ residual*kg} \times T_{temporada}$$

$$V_{total\ de\ agua\ residual} = 40 \times 35 \times 20 \times 1202$$

$$V_{total\ de\ agua\ residual} = 33\ 656\ 000$$

Anexo 5. Poblaci3n finita para toma de muestra

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{(N - 1) \times E^2 + Z^2 \times p \times q}$$

Donde:

n = Tama\~no de muestra

N = Tama\~no de poblaci3n

Z = Valor de la distribuci3n normal

p = Proporci3n esperada de la poblaci3n

q = (1-p)

E = Margen de error

Resoluci3n:

$$n = \frac{33\ 656\ 000 \times 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}{(33\ 656\ 000 - 1) \times 0.05^2 + 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra

N = 30720

Z = 1.96

p = 0.5

q = 0.5

E = 0.05

$$\frac{33\ 656\ 000 \times 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}{(33\ 656\ 000 - 1) \times 0.05^2 + 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5} = 384.15886998669$$

Anexo 5. Información Adicional del Proyecto

Figura 20

Toma de muestra del residual del lavado y despulpado de café.



Figura 21

Análisis toma de muestra SST de muestras iniciales.



Figura 22

Proceso de formación de MIP para los tratamientos.



Figura 23

Formación del electrodo de carbón y unión al cable de cobre.



Figura 24

Término del diseño de las CCM para el proceso de tratamiento.



Figura 25

Etapa preliminar antes del inicio del tratamiento.



Figura 26

Desarrollo de los tratamientos luego de las 72 horas.



Figura 27

Toma de muestra de los tratamientos.



Figura 28

Análisis de laboratorio particular Grupo Jhac.



Anexo 6. Resultados de tratamientos

Tabla 22

Resultados del parámetro DBO en el agua residual para los 9 tratamientos.

Parámetros	Und	Numero de Electrodo de 9 cm² de área superficial	Diámetro de Membrana de intercambio de protones	Afluente DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno	% de remoción de contaminante DBO	
T1.1	mg/L	6	26.7	251,907	59,855	76,239	
T1.2	mg/L				59,787	76,266	
T1.3	mg/L				59,799	76,261	
T2.1	mg/L	11			52,925	78,990	
T2.2	mg/L				52,922	78,992	
T2.3	mg/L				52,857	79,017	
T3.1	mg/L	17			48,094	80,908	
T3.2	mg/L				48,038	80,930	
T3.3	mg/L				48,026	80,935	
T4.1	mg/L	6	33.4		57,455	77,192	
T4.2	mg/L				57,509	77,171	
T4.3	mg/L				57,441	77,198	
T5.1	mg/L	11			49,523	80,341	
T5.2	mg/L				49,479	80,358	
T5.3	mg/L				49,526	80,339	
T6.1	mg/L	17			44,346	82,396	
T6.2	mg/L				44,334	82,400	
T6.3	mg/L				44,282	82,421	
T7.1	mg/L	6			48.3	65,129	74,146
T7.2	mg/L					65,143	74,140
T7.3	mg/L					65,049	74,177
T8.1	mg/L	11				57,516	77,168
T8.2	mg/L					57,439	77,198
T8.3	mg/L					57,506	77,172
T9.1	mg/L	17				49,547	80,331
T9.2	mg/L					49,462	80,365
T9.3	mg/L					49,525	80,340

Tabla 23*Resultados del parámetro SST en el agua residual para los 9 tratamientos.*

Parámetros	Und	Numero de Electrodos de 9 cm ² de área superficial	Diámetro de Membrana de intercambio de protones	Afluente SST	Solidos Suspendedos Totales	% de remoción de contaminante SST
T1.1	mg/L	6	26.7	406,223	86,655	78,668
T1.2	mg/L				86,642	78,671
T1.3	mg/L				86,561	78,691
T2.1	mg/L	11			82,112	79,786
T2.2	mg/L				82,018	79,810
T2.3	mg/L				82,031	79,806
T3.1	mg/L	17			79,236	80,495
T3.2	mg/L				79,263	80,488
T3.3	mg/L				79,357	80,465
T4.1	mg/L	6	84,800		79,125	
T4.2	mg/L		84,733		79,141	
T4.3	mg/L		84,706		79,148	
T5.1	mg/L	11	79,814		80,352	
T5.2	mg/L		79,935		80,322	
T5.3	mg/L		79,881		80,336	
T6.1	mg/L	17	77,797		80,849	
T6.2	mg/L		77,784		80,852	
T6.3	mg/L		77,717		80,868	
T7.1	mg/L	6	89,222		78,036	
T7.2	mg/L		89,075		78,072	
T7.3	mg/L		89,169		78,049	
T8.1	mg/L	11	84,841		79,115	
T8.2	mg/L		84,747		79,138	
T8.3	mg/L		84,693		79,151	
T9.1	mg/L	17	82,099		79,790	
T9.2	mg/L		81,964		79,823	
T9.3	mg/L		82,045		79,803	

Anexo 7. Análisis de laboratorio particular Grupo Jhacc

Figura 29

Análisis de laboratorio Experimento.



GRUPO JHACC
SERVICIOS GENERALES - ÁREA DE LABORATORIO AMBIENTAL

INFORME DE ENSAYO N° 1-0057/24

Pág. 1/1

CLIENTE / RAZÓN SOCIAL	: Isaac Anthony Churamp Rosales
DIRECCIÓN	: Anexo Cerro Picozor
SOLICITADO POR	: Isaac Anthony Churamp Rosales
REFERENCIA	: PROYECTO "Tratamiento de aguas residuales del despulpa y lavado de café (COFFEA) mediante células de combustible microbiana para Anexo Cerro El Picozor - 2024"
PRODUCTO	: Agua Residual Industrial
MATRIZ	: Agua Residual Industrial
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS	: Distrito de Perene
MUESTREO POR	: El cliente
NÚMERO DE MUESTRAS	: 6
FECHA DE MUESTREO	: 3/09/2024 y 4/09/2024
FECHA DE RECEPCIÓN	: 5/09/2024
FECHA DE ANÁLISIS	: 5/09/2024
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	: Los resultados de análisis se aplican a la muestra tal como se recibió.



MÉTODOLOGÍAS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	L.C.	UNIDADES
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	SAE WW-APHA-AWWAWEF Pam 52-10 B, 24th Ed. 2002	±0	mg/L

RESULTADOS DE ANÁLISIS

PRODUCTO DECLARADO	Agua Residual Industrial					
	Agua Residual Industrial					
MATRIZ	Agua Residual Industrial					
FECHA DE MUESTREO	3/09/2024	3/09/2024	3/09/2024	4/09/2024	4/09/2024	4/09/2024
HORA DE MUESTREO	11:30am	11:32am	11:54am	11:40am	11:43am	11:46am
COORDENADAS UTM WGS 84	N	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-
ALTITUD (mnm)	-	-	-	-	-	-
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	REFRIGERADA					
CÓDIGO DEL CLIENTE	AR1	AR2	AR3	OR1	OR2	OR3
CÓDIGO DEL LABORATORIO	MA24-142	MA24-143	MA24-144	MA24-145	MA24-146	MA24-147
ENSAYO	DBO5 (5 días a 20°C)					
UNIDADES	mg/L					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	455,491	455,03	455,541	197,315	197,588	197,452

Huancayo, 19 de Setiembre de 2024



Wladimir M. Espinoza Choaca
SUPERVISOR DE LABORATORIO

El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, así como la utilización de los datos de este informe para fines distintos a los que se autorizó.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

***EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE**



056 928 662 - 071 719 625
054 410 149 - 047 879 574



administracion@grupojhacc.com
grupojhaccsa@gmail.com



Jr. Santa Rosa, N° 1361 - El Tambo
Huancayo - Junín - Perú

Figura 30

Análisis de laboratorio Experimento.

INFORME DE ENSAYO N° 1-0060/24

Pág 1/1

CLIENTE / RAZON SOCIAL : Isaac Anthony Churampi Rozales
DIRECCIÓN : Anexo Cerro Piscofor
SOLICITADO POR : Isaac Anthony Churampi Rozales
REFERENCIA : PROYECTO "Tratamiento de aguas residuales del despalpado y lavado de café (COFFEA) mediante celdas de combustible microbiana para Anexo Cerro El Piscofor - 2024"
PRODUCTO : Agua Residual Industrial
MATRIZ : Agua Residual Industrial
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Distrito de Parera
MUESTREO POR : El cliente
NÚMERO DE MUESTRAS : 3
FECHA DE MUESTREO : 4/9/2024
FECHA DE RECEPCIÓN : 5/9/2024
FECHA DE ANÁLISIS : 5/9/2024
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : Los resultados de análisis se aplican a la muestra tal como se recibió



MÉTODOLOGÍAS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	L.C.	UNIDADES
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	SM/WW-APHA-AWWA/WEF Part 5210 B, 24th Ed. 2023	20	mg/L

L.C. Límite de aceptación

RESULTADOS DE ANÁLISIS

PRODUCTO DECLARADO	Agua Residual Industrial		
MATRIZ	Agua Residual Industrial		
FECHA DE MUESTREO	4/9/2024	4/9/2024	4/9/2024
HORA DE MUESTREO	2.37pm	2.36pm	2.37pm
COORDENADAS UTM WGS 84	N E	- -	- -
ALTITUD (metros)	-	-	-
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	REFRIGERADA		
CÓDIGO DEL CLIENTE	ARPTN-1	ARPTN-2	ARPTN-3
CÓDIGO DEL LABORATORIO	MA24-189	MA24-189	MA24-189
ENSAYO	UNIDADES	RESULTADOS	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	252.12	251.781
			251.802

NOTA: El resultado de muestra analizada según muestra a menos de 100mg/L

Huancayo, 19 de Setiembre de 2024


WILMAR H. ESPINOZA CIENCA
 SUPERVISOR DE LABORATORIO


El informe de ensayo es válido solo si se realiza para las muestras referidas en el presente informe.
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL GRUPO JHACC.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una verificación de conformidad con normas de producto o como certificación del estado de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

***EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE**



 954 988 682 - 071 716 825
 954 416 149 - 947 819 574

 administracion@grupojhacc.com
grupojhacc@sigmal.com


 J. Santa Rosa, N° 1361 - El Tambo
 Huancayo - Junín - Perú

Figura 31

Análisis de laboratorio Experimento.

INFORME DE ENSAYO N° 1-0062/24

Pág. 10

CLIENTE / RAZÓN SOCIAL	: Isaac Anthony Churampi Rozales
DIRECCIÓN	: Anexo Cerro Picozor
SOLICITADO POR	: Isaac Anthony Churampi Rozales
REFERENCIA	: PROYECTO "Tratamiento de aguas residuales del despalpado y lavado de café (COFFEA) mediante células de combustible microbiana para Anexo Cerro El Picozor - 2024"
PRODUCTO	: Agua Residual Industrial
MATRIZ	: Agua Residual Industrial
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS	: Distrito de Perene
MUESTREO POR	: El cliente
NÚMERO DE MUESTRAS	: 27
FECHA DE MUESTREO	: 7/09/2024
FECHA DE RECEPCIÓN	: 5/09/2024
FECHA DE ANÁLISIS	: 5/09/2024
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	: Los resultados de análisis se aplican a la muestra tal como se recibió



MÉTODOLOGÍAS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	L.C.	UNIDADES
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	SMENV-APHA-AMWA/51 Part 5110 B, 24th Ed. 2022	2.0	mg/L

RESULTADOS DE ANÁLISIS

PRODUCTO DECLARADO	Agua Residual Industrial							
MATRIZ	Agua Residual Industrial							
FECHA DE MUESTREO	7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024
HORA DE MUESTREO	2:42pm	2:28pm	4:02pm	2:47pm	2:37pm	4:04pm	2:52pm	
COORDENADAS UTM WGS 84	N	-	-	-	-	-	-	-
ALTITUD (metros)	E	-	-	-	-	-	-	-
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	REFRIGERADA							
CÓDIGO DEL CLIENTE	T1.1	T1.2	T1.3	T1.1	T1.2	T1.3	T1.1	T1.1
CÓDIGO DEL LABORATORIO	MA24-158	MA24-162	MA24-161	MA24-162	MA24-162	MA24-164	MA24-164	MA24-168
ENSAYO	UNIDADES	RESULTADOS						
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	55.855	55.787	55.759	52.525	52.522	52.557	48.094

PRODUCTO DECLARADO	Agua Residual Industrial							
MATRIZ	Agua Residual Industrial							
FECHA DE MUESTREO	7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024
HORA DE MUESTREO	2:34pm	4:14pm	2:07pm	2:38pm	4:13pm	2:13pm	2:42pm	
COORDENADAS UTM WGS 84	N	-	-	-	-	-	-	-
ALTITUD (metros)	E	-	-	-	-	-	-	-
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	REFRIGERADA							
CÓDIGO DEL CLIENTE	T1.2	T1.3	T4.1	T4.2	T4.3	T5.1	T1.2	
CÓDIGO DEL LABORATORIO	MA24-164	MA24-167	MA24-168	MA24-169	MA24-170	MA24-171	MA24-172	
ENSAYO	UNIDADES	RESULTADOS						
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	48.038	48.026	57.455	57.509	57.441	49.523	49.478

Huancayo, 23 de Setiembre de 2024


Wilmar M. Espinoza Chaves
 JEFE JEFE DE LABORATORIO

El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.
 Prohíbese la reproducción total o parcial de este informe, así como la utilización de los resultados de análisis en el LABORATORIO DE ANALISIS AMBIENTAL GRUPO JHACC.
 Los resultados de los análisis no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados de registro de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-01

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE



954 908 002 - 971 710 825
954 416 149 - 947 879 574

administracion@grupojhacc.com
grupojhaccsa@kymail.com

Jr. Santa Rosa, N° 1001 - El Tambo
Huancayo - Junín - Perú

Figura 32

Análisis de laboratorio Experimento.

INFORME DE ENSAYO N° 1-0062/24

Pág. 22

CLIENTE / RAZÓN SOCIAL	: Isaac Anthony Churampi Rozales
DIRECCIÓN	: Anexo Cerro Piscofor
SOLICITADO POR	: Isaac Anthony Churampi Rozales
REFERENCIA	: PROYECTO "Tratamiento de aguas residuales del despulpa de lavado de café (COFFEA) mediante células de combustible microbiana para Anexo Cerro El Piscofor - 2024"
PRODUCTO	: Agua Residual Industrial
MATRIZ	: Agua Residual Industrial
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS	: Distrito de Perena
MUESTREO POR	: El cliente
NÚMERO DE MUESTRAS	: 27
FECHA DE MUESTREO	: 7/09/2024
FECHA DE RECEPCIÓN	: 8/09/2024
FECHA DE ANÁLISIS	: 9/09/2024
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	: Los resultados de análisis se aplican a la muestra tal como se recibió.



MÉTODOLOGÍAS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	L.C.	UNIDADES
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	SMEWW/APHA/ASTM/ISOE Part 5210 B, 24th Ed. 2023	±0	mg/L

RESULTADOS DE ANÁLISIS

PRODUCTO DECLARADO		Agua Residual Industrial						
MATRIZ		Agua Residual Industrial						
FECHA DE MUESTREO		7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024
HORA DE MUESTREO		4:17pm	3:15pm	3:46pm	4:20pm	3:18pm	3:50pm	4:24pm
COORDENADAS UTM WGS 84		-	-	-	-	-	-	-
ALTITUD (metros)		-	-	-	-	-	-	-
CONDICIÓN DE LA MUESTRA		REFRIGERADA						
CÓDIGO DEL CLIENTE		TA.3	TA.1	TA.2	TA.3	TA.1	TA.2	TA.3
CÓDIGO DEL LABORATORIO		MA24-173	MA24-174	MA24-175	MA24-176	MA24-177	MA24-178	MA24-179
ENSAYO	UNIDADES	RESULTADOS						
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	40.526	44.345	44.334	44.282	65.120	65.143	65.049

PRODUCTO DECLARADO		Agua Residual Industrial					
MATRIZ		Agua Residual Industrial					
FECHA DE MUESTREO		7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024	7/09/2024
HORA DE MUESTREO		3:23pm	3:54pm	4:28pm	3:23pm	3:58pm	4:32pm
COORDENADAS UTM WGS 84		-	-	-	-	-	-
ALTITUD (metros)		-	-	-	-	-	-
CONDICIÓN DE LA MUESTRA		REFRIGERADA					
CÓDIGO DEL CLIENTE		TA.1	TA.2	TA.3	TA.1	TA.2	TA.3
CÓDIGO DEL LABORATORIO		MA24-180	MA24-181	MA24-182	MA24-183	MA24-184	MA24-185
ENSAYO	UNIDADES	RESULTADOS					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	57.516	57.439	57.500	49.547	49.462	49.525

Huancayo, 23 de Setiembre de 2024


GRUPO JHACC
 WILSON M. ESPINOZA CARRERA
 SUPERVISOR DE LABORATORIO

El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.
 Prohíbese la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización expresa del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL GRUPO JHACC.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como evidencia del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-03

***EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE**



956 888 882 - 971 718 825
954 416 149 - 947 879 574

administracion@grupojhacc.com
grupojhaccso@gmail.com

Jr. Santa Rosa, N° 1001 - El Tirolito
Huancayo - Junín - Perú