

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS DE
ANAEROBIOSIS DEL AGUA MIEL DE CAFÉ EN LA FINCA
CAFETALERA EL LIMÓN DEL DISTRITO DE CHIRINOS –
CAJAMARCA, 2019”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

AUTORAS:

Bach. Diana Cecilia, Granda Granadino

Bach. Jazmin Fiorella, Martinez Torres

ASESOR:

Dr. Juan Manuel Garay Román

Jaén - Perú, Julio, 2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 25 de JUNIO del año 2020, siendo las 16:30 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. SEGUNDO SÁNCHEZ TELLO

Secretario: MG. WILFREDO RUIZ CAMACHO

Vocal: Dr. NICANOR ALVARADO CARRASCO, para evaluar la

Sustentación del Informe Final:

- Trabajo de Investigación
- Tesis
- Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

"DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS DE ANAEROBIOSIS DEL AGUA MIEL DE CAFÉ EN LA FINCA CAFETALERA EL LIMÓN DEL DISTRITO DE CHIRINOS - CAJAMARCA, 2019"

presentado por estudiante/egresado o Bachiller DIANA CECILIA GRANDA GRANADINO Y JAZMIN FIORELLA MARTINEZ TORRES de la Carrera Profesional de INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

- Aprobar
- Desaprobar
- Unanimidad
- Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|--------------|-------------------------------------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | <input type="checkbox"/> |
| b) Muy bueno | <u>16</u> 17 | <input checked="" type="checkbox"/> |
| c) Bueno | 14, 15 | <input type="checkbox"/> |
| d) Regular | 13 | <input type="checkbox"/> |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | <input type="checkbox"/> |

Siendo las 17:50 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Presidente
Dr. SEGUNDO SÁNCHEZ TELLO

Secretario
MG. WILFREDO RUIZ CAMACHO

Vocal
Dr. NICANOR ALVARADO CARRASCO



INDICE

	Pág
I. INTRODUCCIÓN.....	9
II. OBJETIVOS.....	16
2.1. Objetivo general	16
2.2. Objetivos específicos	16
III. MATERIAL Y MÉTODOS	17
3.1. Metodología	17
3.2. Población:.....	18
3.3. Muestra:.....	19
3.4. Muestreo:.....	20
3.4.1. Muestreo del agua miel:	20
3.5. Variables de estudio	23
3.6. Método, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos	24
3.6.1 Caraterización física química del agua miel:.....	24
3.6.2 Caraterización biológica del agua miel:	34
IV. RESULTADOS	35
4.1. Resultado de la conductividad eléctrica del agua miel de café	35
4.2. Resultado de la acidez del agua miel de café	36
4.3. Resultado de los sólidos totales del agua miel de café.....	36
4.4. Resultado de los sólidos suspendidos del agua miel de café	37
4.5. Resultado de los sólidos diluidos del agua miel de café.	38
4.6. Resultado del DBO (demanda bioquímica de oxígeno) del agua miel de café....	38
V. DISCUSIÓN.....	47
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
Conclusiones:	50

Recomendaciones:.....	51
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
DEDICATORIA.....	56
AGRADECIMIENTO	57
ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Valores y concentraciones para las variables	17
Tabla 2. Valores para las variables, según diseño Box – Behnken	18
Tabla 3. Coordenadas de la finca abastecedora de agua miel	19
Tabla 4. Operacionalización de variables independientes	23
Tabla 5. Operacionalización de variables dependientes	24
Tabla 6. Factores de conversión para la conductividad eléctrica	25
Tabla 7. Criterios para determinar la dilución aproximada de la muestra	30
Tabla 8. Límites máximos permisibles para cuerpos de agua	32
Tabla 9. Valores y concentraciones para las variables	33
Tabla 10. Máximo y mínimo para la optimización Box – Behnken	33
Tabla 11. Caracterización biológica del agua miel de café	34
Tabla 12. Conductividad eléctrica del agua miel de café	35
Tabla 13. Acidez del agua miel de café	36
Tabla 14. Sólidos totales del agua miel de café	37
Tabla 15. Sólidos totales suspendidos del agua miel de café	38
Tabla 16. Ingreso de datos a Statgraphics para diseño Box – Behnken	40
Tabla 17. Producción del biogás	40
Tabla 18. Efectos estimados para biogás (mL.)	41
Tabla 19. Análisis de varianza para biogás	41
Tabla 20. Coeficiente de regresión para biogás	42
Tabla 21. Matriz de correlación para los efectos estimados	43
Tabla 22. Resultados estimados para biogás	44
Tabla 23. Camino de máximo ascenso para biogás	44
Tabla 24. Determinación de los valores óptimos de las variables	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Distrito Chirinos, zona cafetalera	19
Figura 2. Producción de agua miel en la finca cafetalera	20
Figura 3. Recipientes con agua miel congelados para su análisis	21
Figura 4. Lectura de GPS	21
Figura 5. Coordenadas de la parcela en estudio.....	22
Figura 6. Medición de la conductividad eléctrica del agua miel de café	25
Figura 7. Medición del pH del agua miel de café	26
Figura 8. Secado, tara y desecado de cápsulas de evaporación	26
Figura 9. Tara del papel filtro	27
Figura 10. Instalación de una unidad de vacío para el agua miel	27
Figura 11. Preparación de la solución de alimentación	29
Figura 12. Toma de volumen de dilución para la anaerobiosis	30
Figura 13. Medición del oxígeno disuelto(OD_i) al inicio y al final (OD_f)	31
Figura 14. Sellado de dos botella (adaptadas a winkler)	31
Figura 15. Adaptación de mangueras entre las botellas del piloto	33
Figura 16. Instalación del piloto para anaerobiosis del agua miel de café	34
Figura 17. Construcción de un piloto para anaerobiosis de agua miel de café	39
Figura 18. Diagrama de Pareto estandarizada para biogás	45
Figura 19. Superficie de respuesta estimada para el biogás	46

RESUMEN

La contaminación ambiental es un tema de importancia a nivel mundial, se presenta en suelo, agua y aire. En ese sentido la presente investigación, se enfocó en la evaluación de un contaminante de quebradas o ríos como los son las aguas residuales producto de la post cosecha del café: Agua miel de café. Para tratar éste efecto, se utilizó la anaerobiosis, que consistió en descomponer el agua miel para producir biogás.

Para ello, se contó con la finca cafetalera de don José Altamirano Chinchay, caserío La Lima – distrito Chirinos – Cajamarca. En una primera etapa, se realizó la caracterización del agua miel que presentó las siguientes propiedades físico químicas: pH = 3.63, conductividad eléctrica 203 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sólidos totales = 843.34 ppm, sólidos suspendidos = 68.52 ppm, sólidos diluidos = 774.82 ppm, demanda bioquímica de oxígeno = 10267.7 ppm. Y el cociente entre el DBO / DQO oscila entre 0.61 – 0.63, lo cual indicó su biodegradabilidad por anaerobiosis, la temperatura promedio ambiental fue de 26 °C. Para ejecutar la anaerobiosis se construyó un piloto experimental, el cual sometió a una fermentación anaeróbica 13 botellas con agua miel de 3 L., las cuales desembocaron en 13 botellas de 355 ml., para medir la formación de biogás, mediante el desplazamiento de agua, se utilizó colorante azul para visualizar mejor. Los datos encontrados al cabo de 30 días y una temperatura promedio de 26 °C, permitieron determinar los valores óptimos de la anaerobiosis para ésta calidad de agua: El volumen del agua miel de café 2996.65 ml., peso de la pulpa de café 300 gr y peso de estiércol de café 198.80 gr., para la producción óptima de 327.93 ml. de biogás y 3000 ml. de biol (como fuente de fertilizante foliar). La anaerobiosis fue posible por dos medios importantes: Medio biodegradable, como los azúcares presentes en el agua miel y las bacterias metanogénicas, presentes en el estiércol de ganado vacuno. La formación de biogás fue una muestra de la transformación del agua miel en una sustancia degradada como el biol.

Palabras claves: Anaerobiosis, agua miel, café.

ABSTRACT

Environmental pollution is a topic of importance at world level, it occurs in soil, water and air. In this sense, the present research focused on the evaluation of a pollutant in streams or rivers such as wastewater from the post-harvest coffee season: Agua café de café. To treat this effect, anaerobiosis was used, which consisted of decomposing the honey water to produce biogas.

For this, there was the coffee farm of Don José Altamirano Chinchay, La Lima hamlet - Chirinos district - Cajamarca. In a first stage, the characterization of honey water was carried out, which presented the following physical-chemical properties: pH = 3.63, electrical conductivity 203 $\mu\text{S} / \text{cm}$, total solids = 843.34 ppm, suspended solids = 68.52 ppm, diluted solids = 774.82 ppm, demand oxygen biochemistry = 10267.7 ppm. And the ratio between the BOD / COD ranges from 0.61 - 0.63, which indicated its biodegradability due to anaerobiosis, the average environmental temperature was 26 ° C. To carry out the anaerobiosis, an experimental pilot was built, which subjected 13 bottles with 3 L honey water to anaerobic fermentation, which ended up in 13 355 ml bottles, to measure the formation of biogas, through the displacement of water, blue dye was used to visualize better. The data found after 30 days and an average temperature of 26 ° C, allowed determining the optimal anaerobiosis values for this water quality: The volume of the coffee honey water 2996.65 ml., Weight of the coffee pulp 300 gr and weight of coffee manure 198.80 gr., for the optimal production of 327.93 ml. of biogas and 3000 ml. of biol (as a source of foliar fertilizer). Anaerobiosis was possible by two important means: Biodegradable medium, such as the sugars present in honey water and the methanogenic bacteria, present in cattle manure. The biogas formation was a sample of the transformation of honey water into a degraded substance such as biol.

Key words: Anaerobiosis, honey water, coffee.

I. INTRODUCCIÓN

La ejecución del presente proyecto desarrolló en una finca cafetalera del distrito de Chirinos (de propiedad de José Altamirano Chinchay, caserío La Lima,) este distrito municipal es muy reconocida por su amplia producción de granos de café y por ende de sub productos que tienen la marcada tendencia a contaminar las aguas de quebradas con el agua miel de café, que se forma como resultado del despulpado del café, en la etapa de la post cosecha.

Son muchos los agricultores dedicados a la producción de café, organizacionalmente comprende a productores y organizaciones, como la Central de Productores Agrarios de Café, u otras cooperativas cafetaleras que se han formado para acopiar las cosechas de café. Actualmente, paralelamente son varias las organizaciones privadas que participan de la oferta y demanda del café, en sus diferentes tipos de post cosecha repartidas en cada uno de los distritos de la provincia de San Ignacio de Cajamarca (Chirinos 378 qq, Huarango 249 qq, La Coipa 597 qq, Namballe 469 qq, San José de Lourdes 432 qq, Tabaconas 321 qq, y San Ignacio: 474 q) Gobierno Regional de Cajamarca (2015).

De la evaluación post cosecha, osea del beneficio húmedo del café fresco se generaron contaminantes del agua, como son la pulpa y mucílago; ambos constituyen el 68 % del peso total de café fresco Olano (2017). Además, ambientalmente el gasto de agua limpia para el despulpado y lavado del café es aproximadamente 10 l H₂O / Kg. de café fresco (4 l en el despulpado y 6 litros para el lavado), esto demuestra lo que afirmó Guerrero J. (2007) que la industria agrícola es una de las más consumidoras de agua.

Parra et al., (2019), “estudió el desperdicio de alimentos al observar que tienen un alto potencial de descomposición natural para su uso en procesos biológicos como la digestión anaeróbica, conocida como la anaerobiosis, especialmente debido a su alto contenido de materia orgánica biodegradable (resultado de la descomposición natural o espontánea), como son los azúcares que contiene el principal producto post cosecha del café: agua miel. Para inocular los reactores, generalmente se usa

lodo. Idealmente, el lodo debe tener una buena sedimentación y una actividad metanogénica específica (AME), que es típica del lodo granular”.

“Sin embargo, en un contexto latinoamericano, los lodos más disponibles y accesibles son los floculantes con baja sedimentación. Aplicando la vigilancia tecnológica entre 1975 y 2017, utilizando técnicas de análisis multicriterio como el proceso de jerarquía analítica y consultando a expertos internacionales y nacionales, observó que había pocos estudios, en comparación con los estudios publicados sobre los sustratos que se centraron en mejorar la calidad del inóculo a través del acondicionamiento para mejorar sus características y maximizar la producción de biogás. Las metodologías de acondicionamiento del inóculo identificadas se agruparon en cinco categorías, siendo la estrategia principal la adición de nutrientes seguido de la digestión anaeróbica con un sustrato fácilmente degradable” Parra et al., (2019).

Castro et al. (2016), evaluó el potencial de anaerobiosis para las aguas residuales de materia orgánica combinados con estiércol de bovinos para las temperaturas de operación de 37 °C y 30 °C con estiércol pre incubado como fuente de inóculo. Los rendimientos de metano alcanzados fueron de 0,73 y 0,71 m³ CH₄/kg para las temperaturas de 37 °C y 30 °C respectivamente y un pH de 4.6. El análisis estadístico mostró que no existen diferencias significativas en la producción máxima de biogás a las diferentes temperaturas evaluadas.

Adicionalmente, se evaluó el potencial energético de las aguas residuales. La digestión anaeróbica de las aguas residuales producidas mensualmente en la planta de sacrificio porcino y bovino permitió producir 16440 m³ de CH₄. Esta cantidad, equivale a 31235 kwh de energía eléctrica (47 %) y 62500kwh (49 %) de energía térmica del consumo de una planta Castro et al.(2016).

Sarabia et al. (2017), tuvo el propósito de comparar la digestión anaerobia de lodos de aguas residuales de productos agrícolas con estiércol de borrego con la co-

digestión anaerobia y en otros casos, evaluó la co-digestión anaerobia de aguas residuales de productos agrícolas con excretas de borrego más rumen. Los resultados mostraron que el tratamiento T1 (excretas de borrego-lodos de aguas residuales), produjo una menor cantidad de biogás, 35.47 l, comparado con el tratamiento T2 (excretas de borrego-rumen) y el T3 (excretas de borrego), con 42.14 l y 43.83 l respectivamente.

Sarabia et al. (2017). El análisis estadístico de la composición de biogás mostró que los valores de CH₄ y CO₂, no fueron significativamente diferentes (P = 0.5660 y 0.2589). Los valores de sulfuro de hidrógeno (H₂S) (P = 0.0379), demostró que la concentración fue menor en el tratamiento T1 que en el tratamiento T3. Si los residuos agrícolas son utilizados apropiadamente con co-digestión anaerobia pueden ser convertidos en energía calorífica y/o energía térmica, a través de la formación de biogás, cuyo principal componente fue el metano CH₄.

Olano (2017), “realizó una investigación respecto a las aguas mieles de café, cuyo objetivo fue producir biogás a partir de aguas mieles y pulpa de café (*Coffea arabica*), que son subproductos de desecho que se generan en el beneficio húmedo del café (BHC), los que son arrojados a ecosistemas terrestres y acuáticos, sin ningún control ni tratamiento, por razones que el productor desconoce o no cuenta con alternativas, causando graves problemas a la salud de la población y contaminación del medio ambiente”.

Para ello Olano (2017), empleó biodigestores de plástico de 3 litros, para producir biogás como energía alterna sustituyente de los combustibles fósiles y del uso de leña, para las familias rurales. El biogás producido se recolectó con la técnica del desplazamiento de agua en estas botellas calibradas de 3 l cada 100 ml durante 30 días con un rango de temperatura de 17°C a 36°C. El análisis estadístico para analizar la diferencia de medias de producción de biogás entre los cuatro tratamientos fue ANOVA (análisis de varianza), usando el software SPSS (paquete estadístico para ciencias sociales).

Los resultados se expresaron como producción de biogás por tratamiento, donde la producción de biogás, estuvo en función del agua miel cuyo pH fue 3.9 y una conductividad eléctrica de 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$.. En el tratamiento 4 (pulpa de café 40%, agua miel 20% y estiércol de ganado vacuno 40%) fue 1320 ml, el tratamiento 3 (estiércol 70%, agua 30%) produjo 1711,7 ml, tratamiento 2 (estiércol 40%, agua 20%, pulpa de café 40%) produjo 500 ml y tratamiento 1 (pulpa de café 70% y agua miel 30%) produjo 250 ml de biogás Olano (2017).

“Estos resultados indican que el principal sustrato para la producción de biogás fue el estiércol de ganado vacuno. Para tratar los efluentes que genera el BHC (beneficio húmedo de café), fue necesario emplear el tratamiento 4 que contiene 40 % de pulpa de café, 40 % estiércol de ganado vacuno y 20 % de agua miel; para compensar y/o mantener la producción de biogás en menor tiempo, siempre que la mezcla a fermentar contenga estiércol de ganado vacuno y el agua se reemplace por agua miel” Olano (2017).

Campos (2016), diseñó la anaerobiosis a partir de un biodigestor tubular de polietileno para obtener biogás a partir de paja de arroz con agua del río Utcubamba, para sustituir el uso de leña de una familia promedio. Se dedicó a construir tres biodigestores experimentales para producir biogás y estimar la producción de biogás a partir de paja de arroz y agua del río Utcubamba, el experimento lo realizó bajo condiciones ambientales no controladas a un pH de 4.3 y a una proporción biomasa - agua de 1:2 (2 kg de sustrato y 4 l de agua). El volumen de biogás se obtuvo indirectamente midiendo la presión manométrica, utilizando un manómetro de tubo en U y aplicando la ley de gases ideales. Los datos se analizaron con el programa Statistics 23.0, mediante una prueba de comparación de medias.

Campos (2016), concluyó que el volumen de biogás generado es 541 ml en época seca y 534 ml en época húmeda. En base a los resultados obtenidos se diseñó un biodigestor tubular de polietileno de 5,23 m^3 (7,69 m^3 de biogás diariamente), de bajo costo (1174,90 soles), con un retorno de la inversión inicial en menos de 4 años, lo que contribuirá a sustituir el consumo de leña de una familia promedio y a reducir la contaminación ambiental generada en Bagua Grande – Amazonas.

Acarley (2018), evaluó los efluentes del beneficio húmedo del café, comúnmente conocidos como aguas mieles, los cuales son generalmente desechados al medio ambiente sin tratamiento alguno, sin observar que presentan una alta carga orgánica. En función a estos factores eligió al agua miel de café como sustrato para la producción de biogás y cuyo pH fue de 3.75 y una conductividad eléctrica de 230 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Específicamente evaluó la producción de gas metano a través del proceso de anaerobiosis, utilizando como inóculo estiércol vacuno fresco. Para esto se llevó a cabo el ensayo del potencial bioquímico del metano (PBM) utilizando básicamente un equipo manométrico de monitoreo continuo denominado OxiTop® Control. Se evaluaron dos proporciones sustrato / inóculo, trabajo con un DBO afluente de 14400 ppm obteniéndose como resultado un PBM de 481.2 ml $\text{CH}_4/\text{g SV}$ sustrato (329.0 ml $\text{CH}_4/\text{g DQO}$ sustrato) para la relación igual a 0,25 g SV sustrato/g SV inóculo y un PBM de 377.0 ml $\text{CH}_4/\text{g SV}$ sustrato (257.7 ml $\text{CH}_4/\text{g DQO}$ sustrato) para la relación igual a 0,5. El ensayo no se realizó a una temperatura controlada (promedio de 16°C) con el objetivo de simular las condiciones de campo. Con este ensayo a nivel laboratorio se demostró que las aguas mieles son un sustrato capaz de degradarse de manera anaerobia para la posterior producción de biogás.

Guardia et al. (2014), evaluó la anaerobiosis de agua miel de café, su trabajo muestra los resultados alcanzados en el proceso de digestión anaerobia de las aguas residuales del beneficiado húmedo de café. Un reactor anaerobio UASB fue operado en una etapa en condiciones controladas de temperatura mesofílica ($37\pm 1^\circ\text{C}$) y una contaminación de DBO de 8700 ppm. Se investigó el efecto de la carga orgánica volumétrica (COV) y el tiempo de retención hidráulico (TRH) sobre el proceso de digestión anaerobia de las aguas residuales del beneficiado húmedo de café. Los valores de COV considerados en el sistema UASB en una etapa variaron en un intervalo de 3,6-4,1 kg COD / $\text{m}^3\cdot\text{d}$ y los de TRH estuvieron en un intervalo de 21,1-15,5 horas. Los resultados de la valuación mostraron que el mejor funcionamiento fue alcanzado a una COV de 3,6 kg COD / $\text{m}^3\cdot\text{d}$ con un valor promedio de eficiencia de eliminación de DQO total y soluble de 77,2 % and 83,4 %, respectivamente, y un concentración de metano en el biogás de 61 %. El actual estudio demuestra que la digestión anaerobia es adecuada para tratar las aguas residuales del beneficiado húmedo de café.

Matuk et al. (1997), evaluó el impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo de café: aguas del lavado tratadas anaerobiamente y no tratadas, mucílago proveniente del despulpador mecánico y drenados de la pulpa y del mucílago obtenidos en el módulo BECOLSUB. Se utilizó el alga *Chlorella vulgaris*, el pez *Lebistes reticulatus* y el microcrustáceo *Daphnia pulex*. Inicialmente, determinó el grado de contaminación del agua miel de café en 28000 ppm de DQO para agua miel en tanque tina y un DQO de 5600 ppm para agua en tanque de lavado normal. Además determinó la CE511 (concentración efectiva media) para el alga y la CL50 (concentración letal media) para los otros dos bioindicadores. El drenado de la pulpa y del mucílago causó el mayor efecto, con una concentración efectiva media (en función de la DQO) de 495 ppm para *C. vulgaris*, una CL50 de 390 ppm para *D. pulex* y 290 ppm para *L. reticulatus*. Las aguas del lavado tratadas anaerobiamente generaron el efecto menos nocivo. *L. reticulatus* fue el organismo más sensible y se demostró que todos los efluentes del beneficio húmedo sin tratamiento pueden ser tóxicos en el ecosistema en concentraciones superiores a 300 ppm de DQO. Las aguas del lavado tratadas anaerobiamente son tóxicas en concentraciones superiores a 500 ppm. Todos los efluentes deben ser tratados antes de ser vertidos a los cuerpos de agua, inclusive aquellos provenientes del sistema modular de tratamiento anaerobio.

López (2009), “estudió el efecto que causa el vertido directo de las aguas procedentes del beneficiado húmedo del café en la calidad fisicoquímica del agua de la Subcuenca del río Jigüina, ubicada principalmente en el municipio de Jinotega, Nicaragua. El trabajo comprendió tres etapas de muestreo: diciembre del 2007 (inicios de la cosecha cafetalera), enero del 2008 (máxima producción del café o días pico) y junio del 2008 (época de invierno), para ello se seleccionaron cuatro microcuencas, en cada una de las cuales se muestrearon tres puntos, cabecera o parte alta de la misma, punto de vertido y antes del encuentro del tributario con el dren principal de la Subcuenca, con el fin de evaluar el comportamiento de los componentes de las aguas mieles en gradientes altitudinales”.

Los resultados de los indicadores fisicoquímicos demuestran una clara incidencia del vertido de las aguas mieles sin previo tratamiento en la calidad natural de las corrientes de agua superficiales de la Subcuenca del Río Jigüina. Dicho efecto se

manifiesta desde los inicios de la cosecha cafetalera en el mes de diciembre y esto se agudiza aún más en la época de máxima cosecha en el mes de enero. En este último caso los valores medios de los parámetros fisicoquímicos encontrados en las aguas son: pH 4.9, una conductividad eléctrica de 159.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, una temperatura de 25.1 $^{\circ}\text{C}$, sólidos suspensos 23.8 mg/l, turbidez 3.9 UNT, oxígeno disuelto de 7 mg/l, demanda química de oxígeno de DQO de 10429 ppm y 22118 ppm (5.3mg/l).

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Determinar los parámetros óptimos de la anaerobiosis del agua miel de café de una finca cafetalera del distrito de Chirinos – Cajamarca, 2019.

2.2. Objetivos específicos

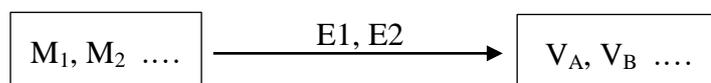
- Realizar la caracterización física química del agua miel de café – distrito de Chirinos.
- Construir un sistema de biorreactores a escala de un pequeño piloto para descomponer el agua miel de café.
- Utilizar la metodología de Box - Becken para la optimización de los parámetros de la anaerobiosis del agua miel de café.

III. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Metodología

El diseño de la investigación consistió en evaluar la descomposición del agua miel de café a través de un proceso anaeróbico denominado anaerobiosis; una evaluación de tal descomposición fue la medición de volumen de biogás que se formó en la anaerobiosis del agua miel de café.

Para ello, se construyó un piloto experimental a nivel de laboratorio (para facilidad de transporte de la producción del agua miel) para realizar la manipulación de las aguas residuales de la post cosecha de café de la finca de propiedad de José Altamirano Chinchay, caserío La Lima; Estos volúmenes residuales se formaron como resultado del despulpado del café recién cosechado. El diseño por la naturaleza del proyecto tuvo una ejecución basada en un trabajo experimental que se ejecutó a través de una técnica e instrumentos de trabajo.



$M_1, M_2 \dots$: Envases con agua miel de café.

$V_A, V_B \dots$: Volúmenes de biogás y biol en cm^3 .

E1, E2: Estimulo catalizador, microorganismos metanogénicos, procedentes del estiércol de ganado vacuno.

Los datos se ejecutaron bajo el diseño estadístico de Box – Behnken. Y para realizar la anaerobiosis se consideró utilizar las siguientes concentraciones entre las variables consignadas.

Tabla 1. Valores y concentraciones para las variables.

Grado de la concentración	Agua miel de café / H_2O	Pulpa de café	Estiércol de ganado
Máximo (+)	1 : 0	300 gr.	200 gr.
Media (0)	2 : 1	200 gr.	125 gr.
Mínimo (-)	1 : 2	100 gr.	50 gr.

Fuente: Adaptación de tesis a partir de Espinoza, F. M. (2007).

Para desarrollar el modelo Box – Behnken., se construirá una base de datos que sirvió para optimizar el proceso a través de un número representativo de muestras seleccionadas:

Tabla 2. Valores para las variables, según diseño Box – Behnken.

N° experimento	Variables		
	X ₁	X ₂	X ₃
1	-	-	0
2	+	-	0
3	-	+	0
4	+	+	0
5	-	0	-
6	+	0	-
7	-	0	+
8	+	0	+
9	0	-	-
10	0	+	-
11	0	-	+
12	0	+	+
13	0	0	0

Fuente: Espinoza, F. M. (2007).

3.2.Población:

La población estuvo constituida por parte del afluente generado por el beneficio húmedo de la post cosecha de café del distrito de Chirinos en la provincia de San Ignacio, región Cajamarca, el fundo cafetalero fue propiedad de José Altamirano Chinchay, que se ubica en el caserío La Lima, y presentó las siguientes coordenadas, geográficas:

Tabla 3. Coordenadas de la finca abastecedora de agua miel.

Puntos	X Coord	Y Coord
A ₁	733782	9414847
A ₂	733751	9414879
A ₃	733759	9414891
A ₄	733733	9414910
A ₅	733724	9414934
A ₆	733711	9414929
A ₇	733707	9414908
A ₈	733680	9414868
A ₉	733676	9414840
A ₁₀	733709	9414761
A ₁₁	733756	9414812
A ₁₂	733745	9414840

Fuente: Elaborada por las tesisistas.

3.3. Muestra:

Se realizó la geo-referenciación del fundo cafetalero. Las aguas mieles del café fueron evaluadas químicamente ex situ; de acuerdo a la necesidad del análisis químico.



Figura 1. Distrito Chirinos, zona cafetalera.

La muestra fue aquel drenaje que se recolectó de la post cosecha del café, como resultado del despulpado mecánico tradicional del café. Después del despulpado, se dejó 24 horas de fermentación del grano despulpado. En ambas actividades de produjo drenajes contaminados. Para la presente experimentación se trató el primer drenaje por ser más concentrado y por ende más contaminado.

3.4.Muestreo:

El muestreo de las aguas residuales fue realizado respetando toda la normatividad existente de ASTM (Asociación Americana de Ensayos de Materiales) que regula la forma de realizar las caracterizaciones físicas y químicas. El agua miel fue recepcionada en recipientes de plástico para su traslado a los ambientes del laboratorio de química forestal de la Universidad Nacional de Jaén. El agua miel recolectado de la post cosecha del café, fue envasado en botellas que fueron selladas en una caja de cartón para su traslado; al interior de la caja se adicionó bloque de hielo preparado con anterioridad contuvo pedazos de hielo, para minimizar que la temperatura produzcas cambios físicos, químicos y biológicos del agua miel de café.

3.4.1. Muestreo del agua miel:

La post cosecha utilizó como insumo principal el agua, para la desfragmentación del grano de café, generando la separación de la pulpa de café. El grano descubierto estuvo recubierto de una película gelatinosa de almibar de café, la cual fue eliminada con un lavado posterior al cabo de 24 horas, tiempo en que esta película es fermentada. El agua residual fue la llamada agua miel de café, que se compone de azúcares, proteínas, taninos, cafeína, entre otros. Acarley (2018).



Figura 2. Recolección de agua miel en la finca cafetalera.

El agua miel de café, se recolectó adecuadamente para su traslado al laboratorio de Jaén, para ello se refrigeró con bloques de hielo preparados en casa. El tiempo de traslado del agua miel desde la finca en La Lima hasta el laboratorio de Jaén, fue de aproximadamente de 3 horas y media. Una vez en el laboratorio, se utilizó un litro para análisis ex – situ: pH, conductividad eléctrica, sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos diluidos. Otros recipientes de agua miel continuaron en refrigeración para análisis posteriores como el DBO.



Figura 3. Recipientes con agua miel congelados para su análisis.

a.- Identificación del área de estudio

El terreno proporcionado para la investigación, tuvo una altitud de 1650 msnm, en la jurisdicción del caserío La Lima, a unos 2.8 kilómetros del distrito de Chirinos en la provincia de San Ignacio, en la región de Cajamarca. El distrito se ubicó a 2 horas y media de la provincia de Jaén. Los suelos y la capacidad de uso mayor de la tierra comprenden la Subclase Xes o la subclase C3es. El clima es muy húmedo y templado frío. El uso actual del suelo es de frente productivo de predominio de cultivos como maíz, café, entre otros. Su suelo es considerado moderadamente vulnerable y pertenece a la zona de vida bosque húmedo montano bajo tropical. Guerrero (2007).



Figura 4. Lectura de GPS.

Para la georreferenciación de la zona de estudio, fue necesario tomar puntos geográficos, para lo cual se hizo uso de un equipo GPS. Tal como evidencia a continuación.

PLANO TOPOGRÁFICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

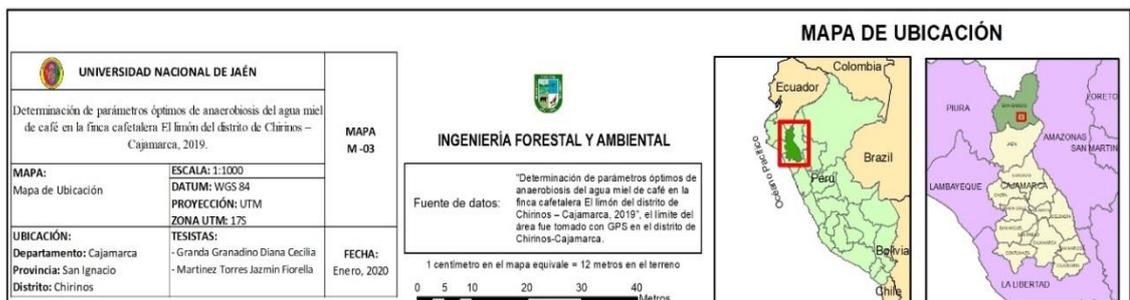
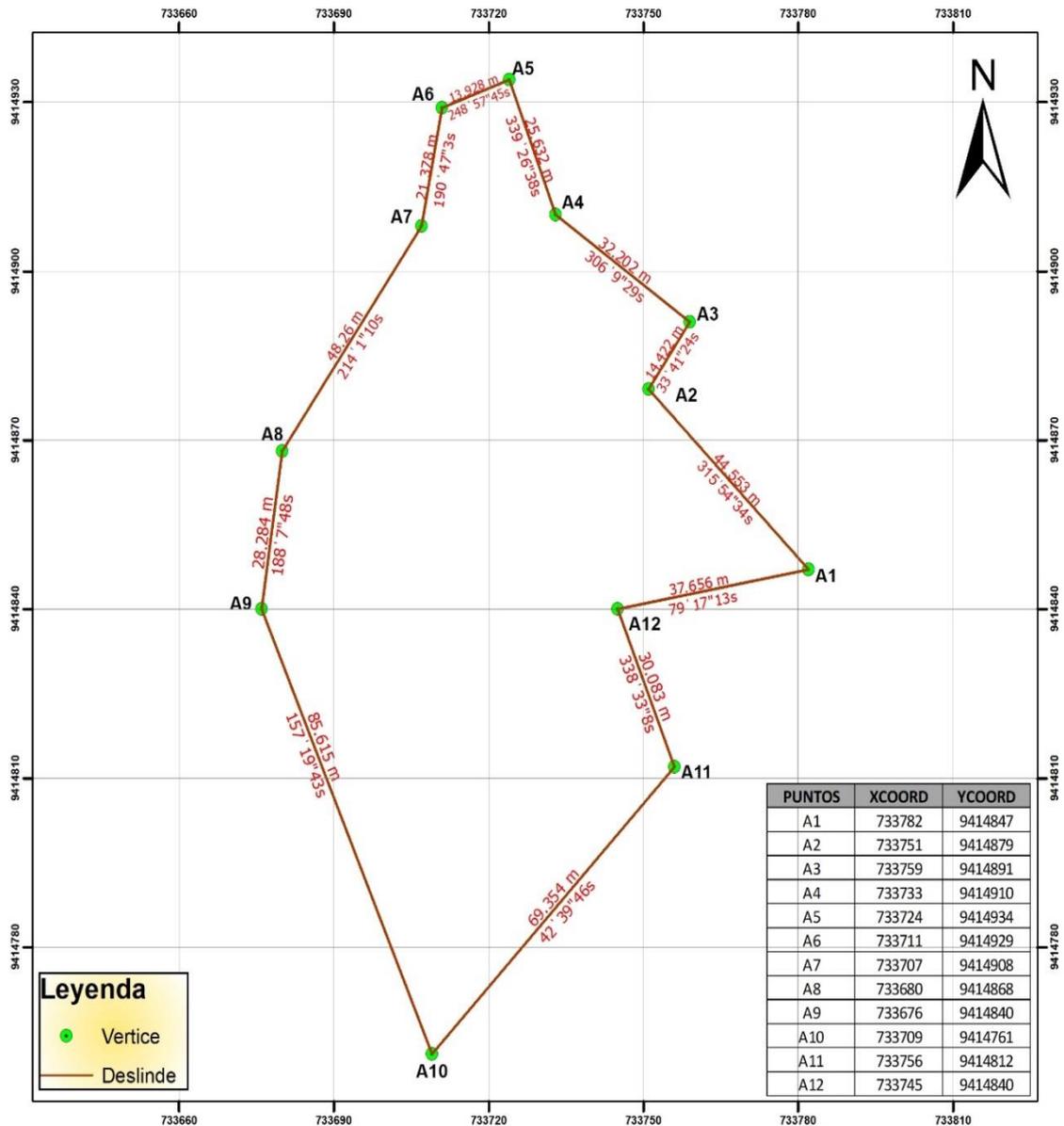


Figura 5. Coordenadas de la parcela en estudio.

3.5. Variables de estudio

Variables independientes:

- Conductividad eléctrica
- Sólidos totales
- DBO₅
- pH

Variable dependiente:

- Producción de biogás (ml)
- Producción de biol (ml)

Tabla 4. Operacionalización de variables independientes.

Variables independientes	Definición	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos de medida
- Conductividad eléctrica	Se mide como la capacidad que posee una solución o suspensión para oponerse como resistencia a la corriente eléctrica.	a).- Es función del número de iones positivos (cationes) e iones negativos (aniones).	a).- Presencia de sólidos disueltos en el agua.	a).- Número de μ Siemens/cm
- DBO ₅	La materia orgánica diluida en el agua miel de café, por lo general se debe a la presencia de azúcares disueltos.	a).- Contaminantes disueltos con alto poder de contaminación de las aguas dulces de las quebradas.	a).- DBO ₅	a).- ppm de OD.
- Concentración de sólidos totales	La presencia de sólidos disueltos y suspendidos afecta aún más la calidad de las aguas descargadas.	a).- Partículas suspendidas y diluidas en el agua miel de café.	a).- Sólidos totales	a).- mg ST. /Lt.
- Acidez	La alta concentración de iones hidrógeno genera acidez en el agua miel de café. Debido a la formación rápida de aminoácidos que aportan H ⁺	a).- Aguas ácidas.	a).- pH	a).- Concentración de H ⁺ (pH metro).

Fuente: Propuesta formulada por las tesisistas.

Tabla 5. Operacionalización de variables dependientes.

Variable dependiente	Definición	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos de medida
- Producción de biogás.	El biogás es un gas que se forma por la anaerobiosis, juntos a otros gases que se denominan biogás.	El biogás es una sustancia reducida causada por la ausencia de oxígeno en una biodegradación.	a).- Medida del volumen de biogás. b).- Medida del volumen de biol.	a).- cm ³ de biogás. b).- ml. biol.
- Producción de biol.	El biol es un abono foliar orgánico, que se obtiene de restos orgánicos de animales y vegetales.	Será obtenido a través de un proceso anaeróbico en un piloto experimental		

Fuente: Propuesta formulada por las tesisistas.

3.6. Método, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos

El método de trabajo consistió en dos líneas trabajo: Caracterización física química del agua miel y de otra parte, se ejecutó la anaerobiosis del agua miel de café. Para ambas actividades se realizaron acciones a nivel de laboratorio.

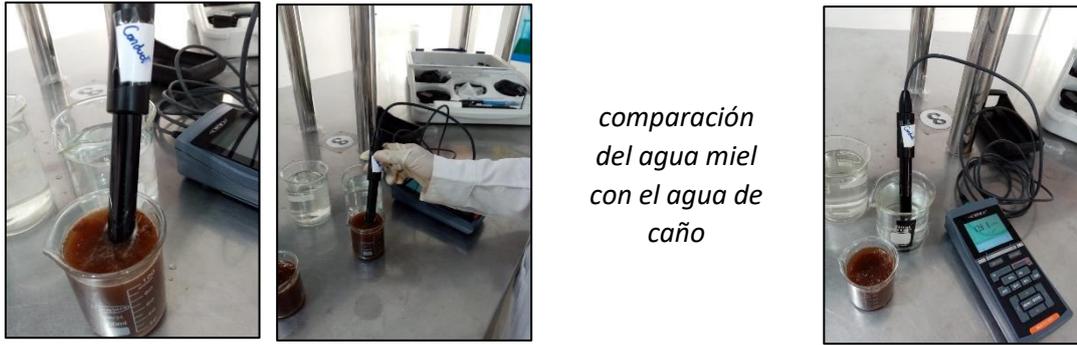
3.6.1 Caracterización física química del agua miel:

Para la caracterización física química del agua miel de café, se evaluaron las siguientes propiedades:

- Conductividad eléctrica.
- pH (acidez).
- Concentración de sólidos totales.
- Concentración de sólidos suspendidos.
- Concentración de sólidos diluidos.
- DBO (demanda bioquímica de oxígeno).
- Otras propiedades como las biológicas.

Procedimiento e instrumentos para medir la conductividad eléctrica:

Para medir la conductividad eléctrica del agua miel de café, se utilizó un instrumento de laboratorio denominado multiparámetro (por medir además, el oxígeno disuelto y el pH de una determinada solución).



*comparación
del agua miel
con el agua de
caño*

Figura 6. Medición de la conductividad eléctrica del agua miel de café.

No todos los instrumentos de medición tienen las mismas unidades se adjunta, una tabla de conversiones para su medición, para la presente investigación, se utilizaron las unidades para la conductividad eléctrica: uS/cm.

Tabla 6. Factores de conversión para la conductividad eléctrica.

Convertir	Hacia unidades de:
dS/m es igual a :	mS/cm
mS/cm es igual a:	mmho/cm
μS/cm es igual a:	μmho/cm
1000 μS/cm es igual a:	1 mS/cm
mS/cm es igual a:	10 meq/l ó 640 mg/l.

Fuente: (Ward et al., 2008).

Procedimiento e instrumentos para medir el pH (acidez):

Para medir la acidez del agua miel, se utilizó un pHmetro digital de mesa. Esta metodología midió el potencial generado (en milivots) por un electrodo indicador de membrana de vidrio, el cual internamente se comparó contra un electrodo de referencia de potencial constante e independiente del Ph. Singh y Prerna (2009).

Para lograr una medida más representativa, se dejó el electrodo en la muestra por un lapso de 15 minutos para evitar las fluctuaciones en la medida del pH. Antes de realizar la medición se realizó la calibración del pHmetro para ello, se utilizó una solución denominada Solución Buffer 4.0 (Selvamurugan et al., 2010) y agua destilada en un vaso de 100 ml.; una vez medido ese pH se calibró el instrumento de medición. De esta manera, se continuó con la medida del pH del agua miel de café, tal como se muestra a continuación:

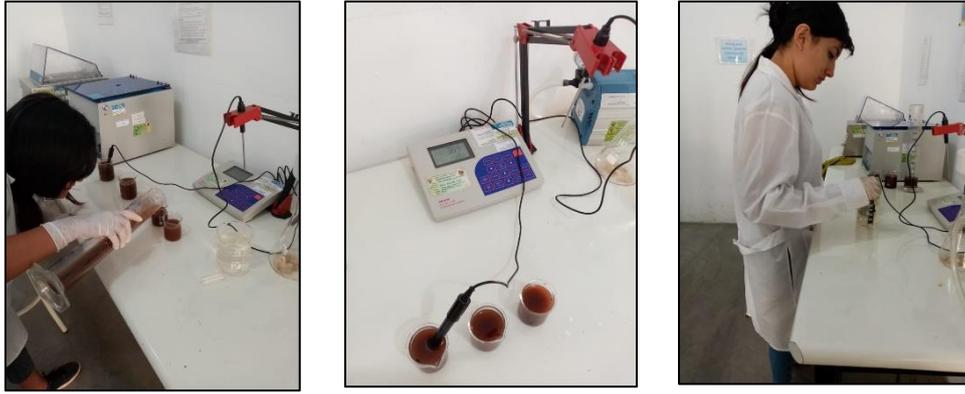


Figura 7. Medición del pH del agua miel de café.

Procedimiento e instrumentos para medir los sólidos totales (ST):

La operación consistió en medir un volumen 5 ml. del agua miel, la muestra obtenida fue el resultado de una agitación previa para homogenizar la solución de miel. A continuación, se procedió a secar tres cápsulas de evaporación en la estufa durante 30 minutos a una temperatura de 105 °C. Luego se enfriaron los crisoles en una campana de deshidratación con trazas de sulfato cúprico penta hidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) para atrapar la humedad. Arellano y Giesseman (2005). Seguidamente, se procedió a tarar (pesar) las cápsulas de evaporación en una balanza analítica.



Figura 8. Secado, tara y desecado de cápsulas de evaporación.

La diferencia de pesos en las cápsulas representó los sólidos totales del agua miel de café. Para determinar los sólidos totales (ST) se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Sólidos totales (mg/litro)} = [(B-A) \cdot 1000] / \text{Volumen de muestra (ml)}.$$

En donde:

A: Es el peso del crisol de evaporación vacío (en mg).

B: Es el peso crisol de evaporación + residuo seco (en mg).

Procedimiento e instrumentos para medir los sólidos suspendidos (SS):

Se procedió a tarar un papel filtro estandar seco (Whatman 934-AH; tamaño de retención de partículas de 1.5 μm), ésta operación se realizó en una balanza analítica con una aproximación de diez milésimas de gramo (0.0001 gr).

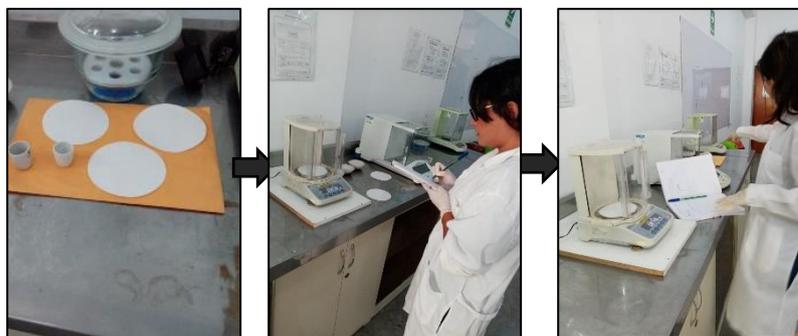


Figura 9. Tara del papel filtro.

Luego, se instaló una unidad de filtro a vacío y su correspondiente secado en una estufa hasta alcanzar los 105 °C durante unos 30 minutos. Para lo cual se procedió a medir el volumen de 5 ml. con una pipeta, la cual se derramó sobre el papel filtro para retener los sólidos suspendidos en el agua miel de café. Metcalf & Eddy (1995). Al igual que las demás operaciones; esta actividad se realizó en el laboratorio de química de la UNJ.



Figura 10. Instalación de una unidad de vacío para el agua miel.

El aumento de peso sobre el filtro seco en el horno, representó los sólidos en suspensión. Para determinar los sólidos en suspensión se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Sólidos suspendidos (mg/litro)} = [(A-B) \cdot 1000] / \text{Volumen de muestra (ml)}$$

A: Peso de residuo seco + filtro (mg)

B: Tara del filtro (mg)

Procedimiento e instrumentos para medir los sólidos diluidos (SD):

La concentración de sólidos diluidos se determinó por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos en suspensión, para ello se utilizó la siguiente fórmula:

Sólidos diluidos (mg/litro) = Sólidos totales – sólidos en suspensión.

Sólidos diluidos (mg/litro) = ST – SS.

Procedimiento para medir el DBO (demanda bioquímica de oxígeno):

Para medir la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) del agua miel, al igual que los análisis anteriores fue necesario contar con el agua miel refrigerada. Para su análisis se utilizó en método de Winkler, el cual consistió en incubar (20 °C) las muestras en recipientes color ambar que impidieron el paso de la luz, el proceso duró 5 días. Nakasima et al. (2017). Para el análisis se requirió los siguientes instrumentos:

- Equipo multiparámetro (medidor de oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y pH).
- Balanza analítica (0.0001 g).
- Botellas adaptadas al método Winkler (volumen aprox. 355 ml).
- Reactivos químicos: Cloruro de calcio dihidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Sulfato de magnesio (MgSO_4), Cloruro férrico (FeCl_3), fructosa y solución tampón de fosfato.

Inicialmente, se procedió a elaborar la 1000 ml. solución madre de alimentación para los microorganismos:

Solución de sulfato de magnesio:

Se procedió a pesar 22.5 gr de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, cantidad que se disolvió en un litro de agua destilada. De ésta solución se tomó 1 ml y se agregó a la solución madre.

Solución de cloruro de calcio dihidratado:

Se procedió a pesar 27.5 gr. de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, cantidad que se disolvió en un litro de agua destilada. De ésta solución se tomó 1 ml y se agregó a la solución madre.

Solución de cloruro férrico:

Se procedió a pesar 0.25 gr. de FeCl_3 , cantidad que se disolvió en un litro de agua destilada. De ésta solución se tomó 1 ml y se agregó a la solución madre.

Solución tampón de fosfato:

De ésta solución se tomó 1 ml y se agregó a la solución madre.

Solución de fructosa:

Se pesó 150 gr. que se disolvió en un litro de agua destilada. Y se tomó 10 ml. para la solución madre.



Figura 11. Preparación de la solución de alimentación.

A continuación, se procedió a airear la solución de alimentación con una bombilla de jebe, durante al menos 60 minutos. Seguidamente, se acondicionaron las botellas de biodigestión, para lo cual se realizó una adaptación a Winkler con botellas de vidrio corona color ambar verde para impedir el paso de la luz (así se evitó el ingreso de luz y la formación de reacciones fotolíticas que podrían alterar la composición al interior del agua miel). Silvestre et al. (2015).

Base referencial de la DQO:

Matuk et al. (1997), encontró un DQO de 5600 ppm en agua miel de café procedente de un lavado normal y un DQO de hasta 28000 ppm para agua miel de un tanque tina (es decir más concentrado).

Promedio de DQO encontrado: $(5600 + 28000)/2 = 16800$ ppm.

López (2009), encontró una DQO de 10429 ppm y 22118 ppm para agua miel vertidas directamente en las vertientes de la Subcuenca del Río Jigüina.

Promedio de DQO encontrado: $(10429 + 22118)/2 = 16273$ ppm.

En consecuencia se presume para la investigación que el DQO del agua miel tiene un DQO promedio entre 16800 ppm. y 16273 ppm.

La siguiente tabla muestra el volumen de dilución necesario para el cultivo del medio a someterse a la anaerobiosis. Para la presente investigación, se tomó el criterio de clasificar al agua miel de café como: Aguas residuales azucaradas, lácteas, cerveceras, contaminadas:

Tabla 7. Criterios para determinar la dilución aproximada de la muestra.

Tipo de muestra		Mililitros de muestra
Aguas residuales azucaradas, lácteas, cerveceras, contaminadas		0.01 – 0.1 – 0.2
Aguas residuales crudas fuertes		0,3 – 0,6 – 1,0
Aguas residuales. crudas normales		0,5 – 1,0 – 1,5
Aguas residuales (estructuras intermedias)		1,0 – 2,0 – 3,0
Aguas residuales tratadas (funcionamiento regular)		2,0 – 5,0 – 10
Aguas residuales tratadas (funcionamiento normal)		5 – 10 – 20
Residuales domésticas tratadas (excelente funcionamiento)		10 – 20 – 50
Aguas superficiales parcialmente contaminadas		5,050
Aguas superficiales no contaminadas		50 – 70 – 90 – 100

Fuente: (Guardia et al., 2014).

Por su alto contenido de sustancias orgánicas biodegradables (27 %), ver tabla N° 11. Se tomó como factor de dilución 0.1 ml. del volumen de agua miel, de forma tal, como se muestra en la siguiente figura:



Figura 12. Toma de volumen de dilución para la anaerobiosis.

Luego, se procedió a colocar el mosto preparado para la biodigestión anaeróbica, para lo cual se hizo uso de las botellas acondicionadas a Winkler de un volumen de 355 ml. Antes del sellado de las botellas de la biodigestión, se realizó la prueba del contenido de oxígeno disuelto de la solución preparada, para ello se hizo uso del equipo multiparámetro, que mediante un electrodo midió el oxígeno disuelto de la solución. La biodigestión duró exactamente cinco días a 20 °C, de allí el nombre DBO₅, el sub índice 5 significa cinco días. Castro et al. (2016).

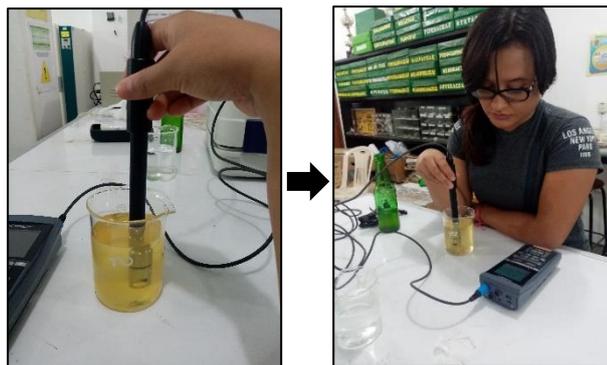


Figura 13. Medición del oxígeno disuelto (OD_i) al inicio y al final (OD_f).

Luego, se procedió al sellado de dos botellas (adaptadas a Winkler) para ser acondicionadas a 20 °C por cinco días, tal como se muestra a continuación.



Figura 14. Sellado de dos botellas (adaptadas a winkler)

Finalmente, al concluir los cinco días se volvió a medir el oxígeno disuelto, en la etapa final de la biodigestión (OD_f).

Para realizar la estimación del DBO de la muestra evaluada se aplicó la siguiente relación matemática:

$$DBO_5 \text{ (mg/l)} = \frac{OD_i - OD_f}{P}$$

Donde:

OD_i = Oxígeno disuelto inicial.

OD_f = Oxígeno disuelto final.

Por otra parte, el factor es resultado de aplicar la siguiente relación matemática:

$$P = \frac{\text{Volumen de la dilución}}{\text{Volumen de la botella adaptada a Winkler}}$$

El valor de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) fue una variable muy importante para determinar el grado de contaminación de un afluente que va a discurrir hacia una quebrada o un río. En tal sentido la normatividad para aprobar el grado de descontaminación es la que emitió el Estado Peruano: Decreto Peruano N° 003-2010-MINAM.

Tabla 8. Límites máximos permisibles para cuerpos de agua.

Parámetro	Valores	Límites máximos permisibles para efluentes vertidos a cuerpos de agua.
Aceites y grasas	mg/ml	menor a 20 mL
Coliformes fecales	NMP/100 ml	10000
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/ml	100
Demanda química de oxígeno	mg/ml	200
pH	unidad	6.5 – 8.5
Sólidos totales suspendidos	mg/ml	150
Temperatura	°C	menor a 35 °C

Fuente: MINAM. 2010.

Construcción de un sistema de biorreactores a escala de un pequeño piloto:

Se realizó mediante la adaptación de botellas de vidrio y plástico, para lo cual se procedió a medir con una probeta el volumen de cada envase para tener una aproximación más eficaz de la lectura final de la producción de biogás y biol (355 ml y 3000 ml respectivamente), Así mismo, se unieron ambas botellas mediante una manguera de PVC, por donde pasó el biogás formado. En especial se tuvo cuidado de realizar el sellado hermético en las botellas grandes que contenían el agua miel listo para su anaerobiosis. El piloto experimental, sirvió para la obtención de los valores óptimos para la anaerobiosis bacteriana más óptima. No necesariamente, los valores óptimos son los valores mayores de producción, sino aquellos que al ser aplicados producen una descomposición óptima de la materia orgánica, al utilizar insumos en cantidades menores para producir un producto óptimo. Parra et al. (2019).



Figura 15. Adaptación de mangueras entre las botellas del piloto.

Se llenaron 13 botellas de plástico con un volumen de 3000 ml para la anaerobiosis y en el mismo número de botellas de vidrio de 355 ml fueron adaptadas al interior de la tina para medir la salida de los gases (13 botellas fueron parte del diseño de Box – Behnken). Las concentraciones de cada recipiente fueron elaboradas en tres niveles: máximo (+) , media (0) y mínimo (-). Para conseguir el estímulo de la anaerobiosis se utilizó agua miel de café procedente del distrito de Chirinos, pulpa de café como medio facilitador y estiércol de ganado vacuno, como fuente de bacterias metanogénicas. El proceso de anaerobiosis duró 30 días.

Tabla 9. Valores y concentraciones para las variables.

Grado de la concentración	Agua miel de café / H₂O	Pulpa de café picada	Estiércol de ganado
Máximo (+)	3000 ml agua miel / 0 ml H ₂ O	300 gr.	200 gr.
Media (0)	2000 ml agua miel / 1000 ml H ₂ O	200 gr.	125 gr.
Mínimo (-)	1000 ml agua miel / 2000 ml H ₂ O	100 gr.	50 gr.

Fuente: Adaptación de tesis a partir de Espinoza, F. M. (2007).

La tabla de Box – Behnken, quedó expresada para la optimización de sus variables:

Tabla 10. Máximo y mínimo para la optimización Box - Behnken.

Condición	A: Agua miel de café	B: Pulpa de café	C: Estiércol de ganado
Máximo	3000 ml.	300 gr.	200 gr.
Mínimo	1000 ml.	100 gr.	50 gr.

Fuente: Adaptación de tesis.

Para apreciar el movimiento del fluido líquido se aplicó un colorante azul al agua de la tina principal. Cada una de las botellas fue numerada para medir la anaerobiosis particular que enfrentó cada una de ellas al poseer cantidades distintas de estímulo (agua miel, estiércol de ganado y pulpa de café picada).



Figura 16. Instalación del piloto para anaerobiosis del agua miel de café.

3.6.2 Caracterización biológica del agua miel:

Para conocer el carácter biológico fue complementada con trabajos de otros autores, a fin de reunir la mayor cantidad de información.

Tabla 11. Caracterización biológica del agua miel de café.

Tipo de agua	Sustancias presentes	Porcentaje (%)
Agua despulpe	Proteínas	12
	Taninos	2.4
	Ácido clorogénico	2.6
	Ácido cafeíco	0.1
	Cafeína	1.6
	Azúcares	8.3
	<i>Sub total</i>	<i>27</i>
Agua lavado	Sustancias pécticas	36
	Celulosa	46
	Azúcares	18
	<i>Total</i>	<i>100</i>

Fuente: Guerrero J. (2007).

IV. RESULTADOS

- **Objetivo general:** Determinar los parámetros óptimos de la anaerobiosis del agua miel de café de la finca cafetalera El Limón del distrito de Chirinos – Cajamarca, 2019.

Los valores óptimos son: Agua miel de café 2996.65 ml, pulpa de café 300 gr y etiórcol 198.807 gr.

- **Primer objetivo específico:** Realizar la caracterización física química del agua miel de café – distrito de Chirinos.

4.1. Resultado de la conductividad eléctrica del agua miel de café

Tabla 12. Conductividad eléctrica del agua miel de café.

Agua miel	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Muestra 1	195
Muestra 2	233
Muestra 3	181
Valor promedio	203

Fuente: Medición realizada por las tesisistas en Laboratorio Forestal.

Análisis: Las muestras a pesar de contener el agua miel producida en el mismo día. Los valores difieren probablemente por reacciones bioquímicas espontáneas que dan lugar al agotamiento de las sales disueltas al interior de la muestra. Como medida de comparación el agua de caño del laboratorio fue medido, y alcanzó una conductividad eléctrica de: 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ver gráfico N° 6). Para mejor referencia se indica que el límite máximo permisible del agua potable es 1500-1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM). Es pertinente que la conductividad eléctrica no constituye en si mismo un factor de contaminación, excepto que las sales disueltas sean sustancias tóxicas.

4.2. Resultado de la acidez del agua miel de café

Tabla 13. Acidez del agua miel de café.

Agua miel	pH
Muestra 1	3.61
Muestra 2	3.64
Muestra 3	3.66
Valor promedio	3.63

Fuente: Medición realizada por las tesisistas en Laboratorio Forestal.

Análisis: El análisis se realizó con dos instrumentos de medición: pHmetro y un equipo denominado multiparamétero. Los valores más repetidos se han incluidos en la tabla anterior a efecto de obtener un promedio de la acidez, mucho más representativa, no obstante, este valor nunca es estable, varía en el tiempo.

4.3. Resultado de los sólidos totales del agua miel de café

Se aplicó la siguiente fórmula:

Sólidos totales (mg) = (B - A) x 1000 / volumen de muestra (en ml)

A: Es el peso de la cápsula de evaporación vacío (en mg).

B: Es el peso de la cápsula de evaporación + residuo seco (en mg).

Muestra 1:

A = 68.7058 mg. (Peso de la cápsula seca en el horno)

B = 73.3200 mg. (Peso de la cápsula seca con el residuo seco, en el horno)

ST = 922.84 mg.

Muestra 2:

A = 58.8638 mg. (Peso de la cápsula seca en el horno)

B = 62.3986 mg. (Peso de la cápsula seca con el residuo seco, en el horno)

ST = 706.96 mg.

Muestra 3:

A = 61.1650 mg. (Peso de la cápsula seca en el horno)

B = 65.6662 mg. (Peso de la cápsula seca con el residuo seco, en el horno)

ST = 900.24 mg.

Tabla 14. Sólidos totales del agua miel de café.

Agua miel	Sólidos totales (ST, mg/l ó ppm)
Muestra 1	922.84
Muestra 2	706.96
Muestra 3	900.24
Valor promedio	843.34

Fuente: Medición realizada por las tesistas en Laboratorio de Química-UNJ.

4.4. Resultado de los sólidos suspendidos del agua miel de café

Sólidos suspendidos (mg sólidos) = $[(B - A) \times 1000] / \text{volumen muestra (ml)}$

A: Peso del filtro seco antes de la filtración (en mg).

B: Peso del filtro + residuo seco (en mg).

Muestra 1:

A = 0.8746 mg. (Peso del papel filtro seco en el horno)

B = 1.2181 mg. (Peso del papel filtro con el residuo seco, en el horno)

ST = 68.7 mg.

Muestra 2:

A = 0.9178 mg. (Peso del papel filtro seco en el horno)

B = 1.3124 mg. (Peso del papel filtro con el residuo seco, en el horno)

ST = 78.92 mg.

Muestra 3:

A = 0.9038 mg. (Peso del papel filtro seco en el horno)

B = 1.1935 mg. (Peso del papel filtro con el residuo seco, en el horno)

ST = 57.94 mg.

Tabla 15. Sólidos suspendidos del agua miel de café.

Agua miel	Sólidos suspendidos (SS, mg/l ó ppm)
Muestra 1	68.7
Muestra 2	78.92
Muestra 3	57.94
Valor promedio	68.52

Fuente: Medición realizada por las tesisistas en Laboratorio de Química-UNJ.

4.5. Resultado de los sólidos diluidos del agua miel de café.

Se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Sólidos diluidos (mg disueltos)} = ST - SS$$

$$\text{Sólidos diluidos (mg disueltos)} = 843.34 - 68.52$$

$$\text{Sólidos diluidos (mg disueltos)} = 774.82$$

4.6. Resultado del DBO (demanda bioquímica de oxígeno) del agua miel de café.

Se aplicó la siguiente relación matemática:

$$(\text{DBO}_5) \text{ mg/Lt} = \frac{\text{OD}_i - \text{OD}_f}{P}$$

Donde:

OD_i = Oxígeno disuelto inicial.

OD_f = Oxígeno disuelto final.

$$P = \frac{\text{Volumen de la dilución}}{\text{Volumen de la botella adaptada a Winkler}}$$

Muestra 1:

$$\text{OD}_i \text{ (Oxígeno disuelto inicial)} = 7.12$$

$$\text{OD}_f \text{ (Oxígeno disuelto final)} = 4.04$$

$$P = 0.10 \text{ ml} / 355 \text{ ml}$$

$$P = 2.816 \times 10^{-4}$$

$$(\text{DBO}_5) \text{ mg/l} = \frac{\text{OD}_i - \text{OD}_f}{P} = \frac{7.12 - 4.23}{2.816 \times 10^{-4}} = 10262.7 \text{ ppm}$$

$$(\text{DBO}_5) \text{ mg/l} = 10262.7 \text{ ppm}$$

Aplicando el cociente entre el DBO y DQO, se tiene:

$$\frac{\text{DBO}}{\text{DQO}} = \frac{10262.7 \text{ ppm.}}{16800 \text{ ppm.}} = 0.61$$

$$\frac{\text{DBO}}{\text{DQO}} = \frac{10262.7 \text{ ppm.}}{16273 \text{ ppm.}} = 0.63$$

Lo que indicó que la fracción se encuentra entre 0.4 – 0.8; lo que correspondió a aguas residuales biodegradables, según: Metcalf & Eddy, Ingeniería de Aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización. Pág. 95.

- **Segundo objetivo específico:** Construir un sistema de biorreactores a escala de un pequeño piloto para descomponer el agua miel de café.



Figura 17. Construcción de un piloto para anaerobiosis de agua miel de café.

- **Tercer objetivo específico:** Utilizar la metodología de Box - Behnken para la optimización de los parámetros de la anaerobiosis del agua miel de café.

Tabla 16. Ingreso de datos a Statgraphics para diseño Box – Behnken.

N° botella	Variables (A: agua miel; B: Pulpa de café; C: Estiércol)		
	A	B	C
1	1000	100	125
2	3000	100	125
3	1000	300	125
4	3000	300	125
5	1000	200	50
6	3000	200	50
7	1000	200	200
8	3000	200	200
9	2000	100	50
10	2000	300	50
11	2000	100	200
12	2000	300	200
13	2000	200	125

Fuente: Adaptación de la tabla N° 2, por las tesisistas a partir de Espinoza, F. M. (2007). Primer día de operación: Domingo 1° de marzo 2020; Último día de operación: Lunes 30 de marzo 2020.

Tabla 17. Producción del biogás.

N° botella	Variables (A: agua miel; B: Pulpa de café; C: Estiércol)			Producción de biogás (ml)
	A	B	C	
1	1000	100	125	196
2	3000	100	125	258
3	1000	300	125	205
4	3000	300	125	275
5	1000	200	50	168
6	3000	200	50	210
7	1000	200	200	155
8	3000	200	200	307
9	2000	100	50	217
10	2000	300	50	230
11	2000	100	200	220
12	2000	300	200	250
13	2000	200	125	208

Fuente: Realizada por las tesisistas.

Análisis estadístico: Box- Behnken

Tabla 18. Efectos estimados para biogás (ml)

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
Promedio	208.0	8.09012	
A:Agua miel de café	81.5	9.90833	1.0
B:Pulpa de café	17.25	9.90833	1.0
C:Estiércol de ganado	26.75	9.90833	1.0
AA	6.25	14.5847	1.01111
AB	4.0	14.0125	1.0
AC	55.0	14.0125	1.0
BB	44.75	14.5847	1.01111
BC	8.5	14.0125	1.0
CC	-2.25	14.5847	1.01111

Fuente: Errores estándar basados en el error total con 5 g./l. (Statgraphics)

Análisis:

El StatAdvisor muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.01111. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

Tabla 19. Análisis de varianza para biogás.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Agua miel de café	13284.5	1	13284.5	67.66	0.0004
B:Pulpa de café	595.125	1	595.125	3.03	0.1422
C:Estiércol de ganado	1431.13	1	1431.13	7.29	0.0428
AA	36.0577	1	36.0577	0.18	0.6861
AB	16.0	1	16.0	0.08	0.7867
AC	3025.0	1	3025.0	15.41	0.0111
BB	1848.52	1	1848.52	9.41	0.0278
BC	72.25	1	72.25	0.37	0.5706
CC	4.67308	1	4.67308	0.02	0.8834
Error total	981.75	5	196.35		
Total (corr.)	21294.0	14			

Fuente: Statgraphics.

Análisis:

R-cuadrada = 95.3895 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 87.0907 porciento

Error estándar del est. = 14.0125

Error absoluto medio = 6.16667

Estadístico Durbin-Watson = 1.69291 (P=0.1328)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.10388

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de biogás en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 4 efectos tienen una valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%. El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 95.3895% de la variabilidad en biogás. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 87.0907%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 14.0125. El error medio absoluto (MAE) de 6.16667 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5 %, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia: 5 %.

Tabla 20. Coeficiente de regresión para biogás.

Coeficiente	Estimado
Constante	299.667
A:Agua miel de café	-0.0215833
B:Pulpa de café	-0.919583
C:Estiércol de ganado	-0.618333
AA	0.000003125
AB	0.00002
AC	0.000366667
BB	0.0022375
BC	0.000566667
CC	-0.0002

Fuente: Statgraphics.

Análisis:

El StatAdvisor despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Biogás} = 299.667 - 0.0215833 \cdot \text{Agua miel de café} - 0.919583 \cdot \text{Pulpa de café} - 0.618333 \cdot \text{Estiércol de ganado} + 0.000003125 \cdot \text{Agua miel de café}^2 + 0.00002 \cdot \text{Agua miel de café} \cdot \text{Pulpa de café} + 0.000366667 \cdot \text{Agua miel de café} \cdot \text{Estiércol de ganado} + 0.0022375 \cdot \text{Pulpa de café}^2 + 0.000566667 \cdot \text{Pulpa de café} \cdot \text{Estiércol de ganado} - 0.0002 \cdot \text{Estiércol de ganado}^2.$$

Tabla 21. Matriz de correlación para los efectos estimados.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Promedio	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.5547	0.0000	0.0000	-0.5547	0.0000	-0.5547
A:Agua miel	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
B:Pulpa café	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
C:Estiércol	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
AA	-0.5547	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0769	0.0000	0.0769
AB	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
AC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BB	-0.5547	0.0000	0.0000	0.0000	0.0769	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0769
BC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
CC	-0.5547	0.0000	0.0000	0.0000	0.0769	0.0000	0.0000	0.0769	0.0000	1.0000

Fuente: Statgraphics.

Análisis:

La matriz de correlación muestra el grado de confusión entre los efectos. Un diseño perfectamente ortogonal mostrará una matriz diagonal con 1s en la diagonal y 0s fuera de ella. Cualquier término distinto de cero implica que los estimados de los efectos correspondientes a esa fila y columna estarán correlacionados. En este caso, hay 3 pares de efectos con interacción distinta de cero. No obstante, como ninguna es mayor o igual que 0.5, probablemente será capaz de interpretar los resultados sin mucha dificultad.

Tabla 22. Resultados estimados para biogás.

Observados	Ajustados	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Valores	Valores	para Media	para Media
196.0	186.125	154.93	217.32
258.0	263.625	232.43	294.82
205.0	199.375	168.18	230.57
275.0	284.875	253.68	316.07
168.0	183.375	152.18	214.57
210.0	209.875	178.68	241.07
155.0	155.125	123.93	186.32
307.0	291.625	260.43	322.82
217.0	211.5	180.305	242.695
230.0	220.25	189.055	251.445
220.0	229.75	198.555	260.945
250.0	255.5	224.305	286.695
208.0	208.0	187.204	228.796
208.0	208.0	187.204	228.796
208.0	208.0	187.204	228.796

Fuente: Statgraphics.

Análisis:

Esta tabla contiene información acerca de los valores de biogás generados usando el modelo ajustado. La tabla incluye:

- (1) Los valores observados de Biogás (si alguno).
- (2) El valor predicho de Biogás usando el modelo ajustado.
- (3) Intervalos de confianza del 95.0% para la respuesta media.

Cada ítem correspondió a los valores de los factores experimentales en una fila específica de su archivo de datos.

Tabla 23. Camino de máximo ascenso para biogás.

Agua miel de café ml	Pulpa de café gr	Estiércol de ganado gr	Predicción para biogás ml
2000.0	200.0	125.0	208.0
2001.0	200.021	125.025	208.047
2002.0	200.042	125.049	208.094
2003.0	200.064	125.074	208.141
2004.0	200.085	125.099	208.188
2005.0	200.106	125.124	208.235

Fuente: Statgraphics.

Análisis:

Esta tabla despliega el trayecto de máximo ascenso (o descenso). Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales.

Optimizar Respuesta

Meta: Maximizar Biogás

Valor óptimo = 327.93 ml

Tabla 24. Determinación de los valores óptimos de las variables.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Agua miel de café	1000.0	3000.0	2996.65
Pulpa de café	100.0	300.0	300.00
Estiércol de ganado	50.0	200.0	198.807

Fuente: Statgraphics.

Análisis:

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza biogás sobre la región indicada. Al aplicar los valores óptimos al modelo de la tabla N° 20, se obtiene el valor óptimo de biogás formado: 327.938 ml.

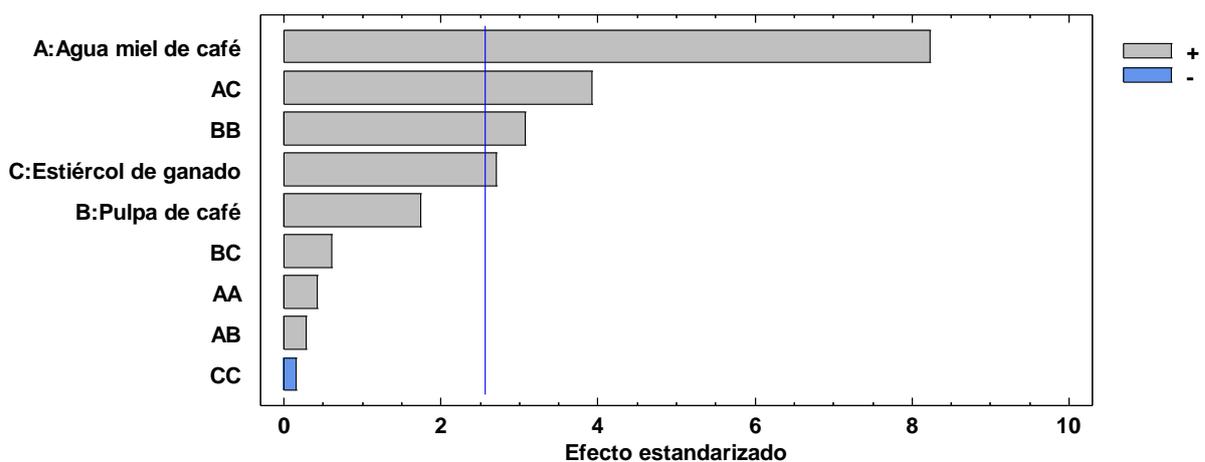


Figura 18. Diagrama de Pareto estandarizada para biogás.

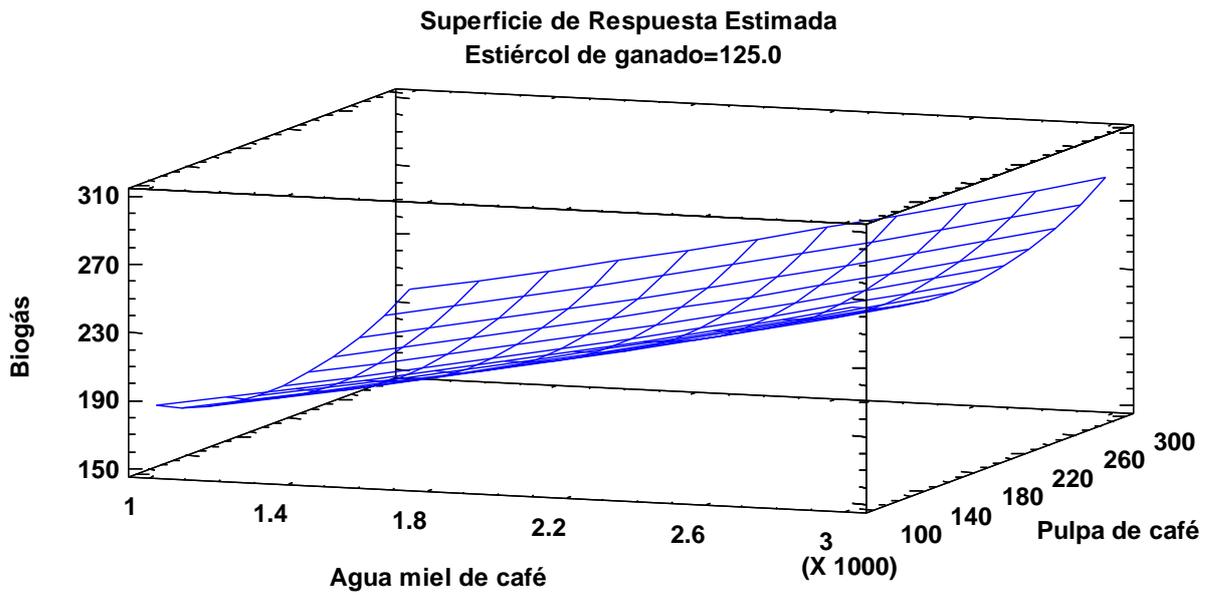


Figura 19. Superficie de respuesta estimada para el biogás.

V. DISCUSIÓN

Parra et al. (2019), sostuvo que la anaerobiosis tuvo como esencial requisito el alto contenido de materia orgánica biodegradable (resultado de la descomposición natural o espontánea), ello, explica la formación de biogás en la fermentación anaeróbica del agua miel de café, por su alto contenido de materia biodegradable (ver Tabla 11: 27 % entre proteínas, taninos, ácido clorogénico, ácido cafeíco y azúcares) Guerrero J. (2007). Sin embargo, el agua miel de café a diferencia de otras aguas residuales posee como factor negativo la acidez considerablemente baja; por ejemplo, Olano, (2017), encontró un pH de 3.9, en cambio, Acarley, (2018), determinó un pH de 3.75 en los drenajes cafetaleros, de otra forma, Campos (2016), determinó un pH de 4.3, de otro lado, López (2009) determinó un pH de 4.9 en sus aguas residuales de café. Para la presente investigación se determinó un pH de 3.63 (ver tabla N° 13); la menor acidez encontrada en el agua miel es posible que se deba a reacciones bioquímicas espontáneas de la descomposición proteínas, entre la operación de despulpado y la toma del pH en el laboratorio. Es decir, desde que se despulpó el café, se produjo una oxidación de las sustancias sensibles al sol, pudiendo dar lugar al desprendimiento de iones de $[H^+]$ que bajan más la acidez del agua miel de café.

La anaerobiosis, es sensible a la temperatura; inclusive en el frío, este fenómeno de descomposición bacteriana tiende a inhibirse. Por ello, Castro et al., (2017), operó su anaerobiosis en un margen de 30 a 37 °C; en cambio, Olano(2017), trabajó entre márgenes de 17 y 36 °C (lo cual indicó que su temperatura ambiental era fría 17 °C, y que tuvo que realizar calentamiento de la solución a descomponer), en cambio, Guardia (2014) trabajó el agua de miel de café en una anaerobiosis a una temperatura de 37 °C; paralelamente, López (2009), operó su proceso de fermentación anaeróbica a 25.1 °C; y para la presente investigación, la anaerobiosis fue trabajada a temperatura ambiental de la ciudad de Jaén, a la sombra 26 °C. A esta temperatura no se tuvo inconvenientes para descomponer el agua miel de café.

La conductividad eléctrica midió la cantidad de sales disueltas en el medio acuoso. En este sentido, López (2009), determinó una conductividad eléctrica de 159.5

$\mu\text{S/cm.}$, de otra parte, Acarley (2018), trabajó con un agua miel que tuvo una conductividad eléctrica de $230 \mu\text{S/cm}$ en cambio, Olano (2017), encontró una conductividad eléctrica de $270 \mu\text{S/cm}$. Para la presente investigación se determinó que el agua miel cuya procedencia fue el distrito de Chirinos, tuvo una conductividad eléctrica de $203 \mu\text{S/cm}$. (ver tabla N° 12). En realidad, el uso de esta variable no es determinante para la anaerobiosis, por ello fueron pocos los autores que incidieron en su evaluación. A pesar, de ello, se pudo observar que el valor hallado se encontró dentro del promedio de otras aguas mieles de café: $159.5 \mu\text{S/cm.} - 270 \mu\text{S/cm}$.

Respecto al tiempo de operación, Olano (2017), reportó haber utilizado un promedio de 30 días para su operación. Para la presente investigación también se utilizó 30 días, ello se explica que a mayores días el incremento de biogás por la descomposición anaeróbica es insignificante. Otra de las variables no evaluadas con rigurosidad fue la presencia de los sólidos totales y suspendidos, en éste sentido, López (2009) determinó la presencia de 23.8 ppm (mg/l) de sólidos en suspensión, a diferencia del agua miel de la presente investigación que determinó la presencia de 68.52 ppm y una presencia de sólidos totales determinó la presencia de 23.8 ppm (mg/l) de sólidos en suspensión, a diferencia del agua miel de la presente investigación que determinó la presencia de 68.52 ppm (ver tabla N° 15) y una presencia de sólidos totales de 843.34 ppm. (ver tabla N° 14) la diferencia entre los valores de los sólidos en suspensión se puede explicar por la mayor cantidad de agua de lavado en el primer caso y mayor concentración de los sólidos por la menor cantidad de agua de lavado.

Respecto al grado de contaminación del agua miel, Guardia (2014), determinó que la demanda bioquímica de oxígeno DBO fue de 8700 ppm, en cambio, (Acarley, (2018) trabajó con un agua miel cuya DBO fue 14400 ppm, en la presente investigación el grado de contaminación tuvo un DBO de 10262.7 ppm, lo cual significó que la contaminación se encontró dentro del promedio: 8700 ppm - 14400 ppm. En lo concerniente a la producción de biogás, Campos (2016), produjo en verano 541 ml/2 kg de sustrato, osea 270.5 ml biogás/kg de sustrato. Según Guardia

et al. (2014), el biogás que es una mezcla gaseosa que contiene en un alto porcentaje metano (CH_4), en menor proporción gases como sulfuro de hidrógeno (H_2S), dióxido de carbono (CO_2), entre otros gases en menor proporción. A diferencia de la investigación del agua miel de Chirinos que produjo 327 ml/3 kg de sustrato, catalizadas con estiércol de ganado vacuno, en este caso, Saravia et al. (2017), utilizó como medio catalizador el estiércol de borrego, por otra parte, Castro et al. (2016) utilizó estiércol de porcinos para la producción de biogás en la anaerobiosis.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- Los valores óptimos para la anaerobiosis del agua miel de café cuya procedencia fue el caserío La Lima, distrito de Chirinos fueron, el volumen del agua miel de café: 2996.65 ml, peso de la pulpa de café: 300 gr y peso de estiércol de café: 198.80 gr., para la producción óptima de 327.93 ml de biogás y 3000 ml de biol (como fuente de fertilizante foliar). Es decir, que el agua miel de café es una fuente de sustancias fácilmente biodegradables como la fermentación anaeróbica, denominada anaerobiosis.
- El agua miel de café estudiado, tuvo las siguientes características físicas químicas: pH = 3.63, conductividad eléctrica 203 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sólidos totales = 843.34 ppm, sólidos suspendidos = 68.52 ppm, sólidos diluidos = 774.82 ppm, demanda bioquímica de oxígeno = 10267.7 ppm. Y el cociente entre el DBO / DQO oscila entre 0.61 – 0.63, lo cual indicó su biodegradabilidad por anaerobiosis, la temperatura promedio fue ambiental de 26 °C.
- La construcción del piloto para descomponer el agua miel de café consistió en reunir trece envases de de volumen 3000 ml., y trece envases de vidrio de volumen de 355 mL., el proceso anaeróbico duró 30 días, al no haber mayor significancia en el incremento de los días de fermentación; al término del proceso se formó una sustancia gaseosa denominada biogás, que contuvo en su composición sustancias más simples como: CH_4 , H_2S , CO_2 , etc. Los resultados de la formación de biogás se sometió al Statgraphics.

Recomendaciones:

- Se recomienda a los comuneros del caserío La Lima en el distrito de Chirinos, el uso de ésta técnica (anaerobiosis) como una medida tecnológica fácil de aplicar que se encuentra al alcance de cualquier asociación agrícola, para tratar sus aguas residuales como el agua miel de café y así evitar la contaminación de quebradas o ríos. Todos los materiales utilizados en la presente investigación se hallaron disponibles y su costo es accesible por ser módicos.

- A la Coordinación de la carrera profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, se recomienda motivar la investigación de los tesisistas con temas relacionados a la protección del medio ambiente. Sobre todo que la investigación aborde problemas de verdadera actualidad, que existen diariamente en la actividad agrícola de la región Cajamarca, como lo fue la actividad cafetalera y su producción de efluentes contaminantes como alta cantidad de sustancias biodegradables, que al ser depositados sobre una quebrada, merman la calidad del agua.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acarley G., F. E. (2018). Evaluación de la producción de metano a partir de las aguas mieles del beneficio húmedo del café mediante digestión anaerobia. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Arellano, J. y Giesseman, B. (2005). Evaluación de una planta piloto de tratamiento de aguas residuales del procesamiento del café: características químicas. Hig. Sanid. Ambient., N° 5: 123-131, 2005.
- Castro, L. del P., Escalante, H., Gómez, O. J. y Jiménez, D. P. (2016). Análisis del potencial metanogénico y energético de las aguas residuales de una planta de sacrificio bovino mediante digestión anaeróbica. Revista DYNA Vol. 83. N° 199. Medellín. Colombia.
- Campos, C., M. (2016). Propuesta de un biodigestor tubular de polietileno para producir biogás a partir de paja de arroz y agua del río Utcubamba en la Ciudad de Bagua Grande –Amazonas. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental. UNTRM-A.
- Espinoza, F. M. (2007). Optimización múltiple del proceso de digestión anaerobia de vinazas tequileras a temperatura termofílica para la disminución de la DQO y la generación de metano. Boletín Nakari, Vol. 18, N° 3, pág. 83.
- Guardia, C. Y., Rodríguez, C. S., Jiménez, H. J., y Sánchez, G. V. (2014). Performance of a UASB reactor treating coffee wet wastewater (Digestión anaerobia, aguas residuales de café, reactor UASB). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 23, N° 2 (abril-junio, pp. 50-56), 2014.

Guerrero J. (2007). Estudio de diagnóstico y diseño de beneficios húmedos de café. IICA. Nicaragua - PROMECAFE.

Gobierno Regional de Cajamarca. (GRC). Plan estratégico Institucional – PEI 2016 - 2019.

López, C. D. (2009). Efecto del vertido directo de las aguas mieles en la calidad físico-química del agua de la Subcuenca del Río Jigüina, Jinotega. Tesis para optar el Master en Medio Ambiente y Recursos Naturales con mención en Gestión Urbana y Rural. Revista Científica-FAREM Estelí / Ciencias Ambientales.

Matuk V., V.; Puerta Q., G.I.; Rodríguez V., N. (1997). Impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo del café. Revista Cenicafe 48(4): 234-252. 1997.

Metcalf & Eddy, (1995). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. 3ª ed. Mc Graw-Hill, Madrid. Pág. 95

Ministerio del Ambiente (MINAM). 2010. Diario el Peruano. Decreto Supremo N° 003 -2010 – MINAM. (Aprobación de límites máximos permisibles para los afluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

Nakasima, M., Taboada, P., Aguilar V., Quetzalli y Velázquez L. N. (2017). Adaptación de inóculos durante el arranque de la digestión anaerobia con residuos sólidos orgánicos. Revista Información tecnológica. Vol. 28. N° 1. La Serena. Tijuana, Baja California, México.

- Parra, O. B. A., Nieto, M. M., Rivera, H. D., Manyoma V., P. C. y Torres L., P. (2019). Selección de metodologías de acondicionamiento de inóculos para la digestión anaerobia de residuos de alimentos. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. N° 92 Medellín julio / sept. 2019.
- Sarabia, M. A.; Laines, J. R., Sosa, J. A., y Escalante, E. (2017). Producción de biogás mediante codigestión anaerobia de excretas de borrego y rumen adicionadas con lodos procedentes de una planta de aguas residuales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Vol. 33. N° 1. Febrero. Tabasco. México.
- Selvamurugan, M., Doraisamy, P., Maheswari, M. y Nandakumar, N. B. (2010) High rate anaerobic treatment of coffee processing wastewater using upflow anaerobic hybrid reactor. *J. Environ. Health Sci. Eng.*, No.7: 129-136, 2010b.
- Singh, S. y Prerna, P. (2009). Review of recent advances in anaerobic packed-bed biogas reactor. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, N° 13: 1569-1575, 2009.
- Silvestre, G. A., Bonmatí y Fernández, B. (2015). Optimización de la digestión anaeróbica de lodos de depuradora a través de la codigestión con ofmsw: efecto del sistema de recolección y tamaño de partícula”, *Waste Management*, Vol. 43, págs. 137-143, septiembre de 2015.
- Olano R, E. (2017). Producción de biogás a partir de aguas mieles y pulpa de café (*Coffea arabica*) en el Distrito de Copallín, Bagua – Amazonas. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Ward, A., Hobbs, P., Holliman, P. y Jones, D. (2008). Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresour. Technol.*, N° 99: 7928-7940, 2008.

DEDICATORIA

Esta tesis esta dedicada a:

Mis padres Cirilo Granda y Marleni Granadino quienes con su amor, paciencia, esfuerzo y sacrificio en estos años, me han permitido cumplir hoy un sueño mas.

Mis hermanos Jorge y Roy por su cariño y ser mis motivos para salir adelante.

Mi abuelo Gilberto y mi abuela Agripina por estar siempre presentes y por el apoyo moral que me brindaron.

Diana Cecilia Granda Granadino

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres Irma Torres y Orlando Martinez quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mi el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios esta conmigo siempre.

A mis hermanos Juan Carlos, Marco Antonio y Orlando Jonathan, por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mi una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a mi mejor amigo Jair Mendoza, por apoyarme cuando más los necesitaba, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día.

Jazmin Fiorella Martinez Torres

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a mis docentes de la carrera profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, por sus sabios conocimientos y la paciencia para transmitirlos a sus alumnos.

Al señor propietario de la finca cafetalera, del caserío La Lima, distrito Chirinos, la cual puso a disposición para ejecutar nuestra investigación.

A nuestro compañero Brayan Vilchez por habernos acompañado en la toma de datos para nuestra investigación, y por su paciencia brindada.

A nuestro asesor el Dr. Juan Manuel Garay Román, agradecemos sus aportes de valioso interés en nuestra investigación.

Bach. Diana Cecilia

y

Bach. Jazmin Fiorella

ANEXOS

de impuestos o de derechos aduaneros de ninguna clase o denominación.

Artículo 5°.- La presente Resolución Suprema será refrendada por el Presidente del Consejo de Ministros.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN
Presidente del Consejo de Ministros

469446-6

AMBIENTE

Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

DECRETO SUPREMO
N° 003-2010-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;

Que, el numeral 32.1 del artículo 32° de la Ley General del Ambiente define al Límite Máximo Permissible - LMP, como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33° de la Ley N° 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplique el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, establece como función específica de dicho Ministerio, elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 121-2009-MINAM, se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el año fiscal 2009 que contiene dentro de su anexo la elaboración del Límite Máximo Permissible para los efluentes de Plantas de Tratamiento de aguas domésticas;

Que el artículo 14° del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) aprobado mediante Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, establece que el proceso de evaluación de impacto ambiental comprende medidas que aseguren, entre otros, el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental, los Límites Máximos Permisibles y otros parámetros y requerimientos aprobados de acuerdo a la legislación ambiental vigente; del mismo modo, en su artículo 29° el citado reglamento señala que, la modificación del estudio ambiental o la aprobación de instrumentos de gestión ambiental complementarios,

implica necesariamente y según corresponda, la actualización de los planes originalmente aprobados al emitirse la Certificación Ambiental;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del artículo 118° de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11° de la Ley N° 20158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1°.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)

Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

Artículo 2°.- Definiciones

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos:

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR):** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.

- **Límite Máximo Permissible (LMP):** Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.

- **Protocolo de Monitoreo:** Procedimientos y metodologías establecidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en coordinación con el MINAM y que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo.

Artículo 3°.- Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR

3.1 Los LMP de efluentes de PTAR que se establecen en la presente norma entran en vigencia y son de cumplimiento obligatorio a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

3.2 Los LMP aprobados mediante el presente Decreto Supremo, no serán de aplicación a las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino.

3.3. Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que no cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

3.4 Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de tres (03) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la actualización de los Planes de Manejo Ambiental de los Estudios Ambientales; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

Artículo 4°.- Programa de Monitoreo

4.1 Los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Programa de Monitoreo especificará la ubicación de los puntos de control, métodos y técnicas adecuadas; así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos.

4.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

4.3 Sólo será considerado válido el monitoreo conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual - INDECOPI.

Artículo 5°.- Resultados de monitoreo

5.1 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, por lo que los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados del monitoreo de los parámetros regulados en el Anexo de la presente norma, de conformidad con los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo aprobado por dicho Sector.

5.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento deberá elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente dentro de los primeros noventa (90) días de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR, durante el año anterior, lo cual será de acceso público a través del portal institucional de ambas entidades.

Artículo 6°.- Fiscalización y Sanción

La fiscalización del cumplimiento de los LMP y otras disposiciones aprobadas en el presente Decreto Supremo estará a cargo de la autoridad competente de fiscalización, según corresponda.

Artículo 7°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA FINAL

Única.- El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en coordinación con el MINAM, aprobará el Protocolo de Monitoreo de Efluentes de PTAR en un plazo no mayor a doce (12) meses contados a partir de la vigencia del presente dispositivo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los dieciséis días del mes de marzo del año dos mil diez.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

469446-2

Designan responsable de brindar información pública y del contenido del portal de internet institucional del Ministerio

RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 036-2010-MINAM

Lima, 16 de marzo de 2010

CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013, se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

Que, la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, cuyo Texto Único Ordenado fue aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM, tiene por finalidad promover la transparencia de los actos del Estado y regular el derecho fundamental del acceso a la información consagrado en el numeral 5 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú;

Que, el artículo 3° de la citada Ley, señala que el Estado tiene la obligación de entregar la información que demanden las personas en aplicación del principio de publicidad, para cuyo efecto se designa al funcionario responsable de entregar la información solicitada;

Que, asimismo, de acuerdo a lo previsto en el artículo 5° de la mencionada Ley, las Entidades Públicas deben identificar al funcionario responsable de la elaboración de los Portales de Internet;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 070-2008-MINAM, se designó a la señorita Cristina Miranda Beas, como funcionaria responsable de brindar información que demanden las personas, y responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet del Ministerio del Ambiente;

Que, por razones del servicio y considerando la renuncia al cargo que desempeñaba en el Ministerio del Ambiente la servidora citada en el considerando precedente, resulta necesario designar al personal responsable de brindar información en el marco de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública y responsable del Portal de Internet Institucional;

Con el visado de la Secretaría General y de la Oficina de Asesoría Jurídica; y

De conformidad con lo establecido en el Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente; el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM; y el Decreto Supremo N° 007-2008-MINAM que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Designar al abogado Hugo Milko Ortega Polar como Responsable de brindar la información pública del Ministerio del Ambiente y Responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet Institucional, de conformidad con el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM.

Artículo 2°.- Todos los órganos del Ministerio del Ambiente, bajo responsabilidad, deberán facilitar la información y/o documentación que les sea solicitada como consecuencia de lo dispuesto en el artículo precedente, dentro de los plazos establecidos en la normatividad vigente.

Artículo 3°.- Disponer que la presente Resolución se publique en el Diario Oficial El Peruano y en Portal de Internet del Ministerio del Ambiente.

Artículo 4°.- Notificar la presente Resolución a todos los órganos del Ministerio del Ambiente, al Órgano de Control Institucional y al responsable designado.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

469446-1