

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES ÁCIDAS PARA MITIGAR EL IMPACTO NEGATIVO SOBRE
EL TERRENO DE UNA EMPRESA PRODUCTORA DE ALIMENTO
BALANCEADO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR
PAOLA KATHERINE BENAVIDES SANCHEZ**

**ASESOR
DIANA PECHE CIEZA**
<https://orcid.org/0000-0002-1787-9758>

Chiclayo, 2021

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES ÁCIDAS PARA MITIGAR EL IMPACTO
NEGATIVO SOBRE EL TERRENO DE UNA EMPRESA
PRODUCTORA DE ALIMENTO BALANCEADO**

PRESENTADA POR:

PAOLA KATHERINE BENAVIDES SANCHEZ

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO INDUSTRIAL

APROBADA POR

María Luisa Espinoza García Urrutia

PRESIDENTE

María Raquel Maxe Malca

SECRETARIO

Diana Peche Cieza

VOCAL

DEDICATORIA

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la oportunidad de culminar mis estudios universitarios.

A mis padres, hermana y amigos, por su apoyo incondicional

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermana por su apoyo incondicional, a mi asesora por su tiempo, experiencia y apoyo para el desarrollo de esta tesis.

Resumen

La empresa productora de alimento balanceado se encuentra ubicada en Motupe y se encarga de dar tratamiento a los residuos provenientes de una cervecera. Se realizó un análisis fisicoquímico del agua residual, cuyos parámetros fueron: 3 400 mg/l de DBO, 6 200 mg/l de DQO, 25 mg/l de SST, 52 mg/l de aceites y grasas y un pH de 4,5; con ayuda de la matriz de valorización de impactos se determinó que los principales impactos negativo eran provocados de forma directa o indirecta por la generación y vertimiento de aguas ácidas sin tratamiento en un terreno agrícola. El diseño del sistema de tratamiento comprende a la neutralización como tratamiento primario, con el fin de adecuar el pH antes de dar un tratamiento biológico. El sistema de tratamiento secundario se eligió mediante el método de factores ponderados, siendo el filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) el de mayor puntaje. Los parámetros del agua tratada después de las etapas anteriormente mencionadas fueron 13,93 mg/l de DBO; 36,16 mg/l de DQO; 0,57 mg/l de SST y un pH de 6; ajustándose al DS N° 015-2015-MINAM. Obteniendo también 8 508,42 kg/lodo por cada 35 448,90 litros de agua tratada, además de 31,55 m³ de metano por la misma cantidad tratada. Finalmente, la inversión requerida para el sistema de tratamiento es de S/. 40 101,85; el análisis beneficio costo logró determinar que en el periodo analizado de cinco años se obtiene una ganancia de S/. 0,57 por cada sol invertido; empezando a generar ganancias desde el cuarto año. Por la parte ambiental, mediante el tratamiento de agua ácida los impactos de calidad de agua, suelo, flora, fauna y alteración paisajística son mitigados; además se ve un impacto ligeramente negativo en la calidad del aire por la obtención de metano; la cual puede convertirse en biogás y los lodos obtenidos pueden tratarse para producir abono.

PALABRAS CLAVE: Aguas residuales, Impacto Ambiental, FAFA, Reutilización.

Abstract

The balanced feed production company is located in Motupe and is in charge of treating waste from a brewery. A physicochemical analysis of the residual water was carried out, the parameters of which were: 3 400 mg/l BOD; 6 200 mg/l COD; 25 mg/l TSS; 52 mg/l of oils and fats and a pH of 4,5. With the help of the impact assessment matrix, it was determined that the main negative impacts were caused directly or indirectly by the generation and discharge of acidic water without treatment on agricultural land. The design of the treatment system includes neutralization as the primary treatment, in order to adjust to adjust the pH before giving a biological treatment. The secondary treatment system was chosen using the weighted factor method, with the upward flow anaerobic filter (UFAF) being the one with the highest score. The parameters of the treated water after the aforementioned steps were 13,93 mg/l BOD; 36,16 mg/l COD; 0,57 mg/l SST and a pH of 6; conforming to Supreme Decree No. 015-2015-MINAM. Also obtaining 8 508,42 kg/sludge for every 35 448,90 liters of treated water, in addition to 31,55 m³ of methane for the same amount treated. Finally, the investment required for the treatment system is S/. 40 101,85; the cost-benefit analysis was able to determine that in the analyzed five-year period a profit of S/. 0,57 for each sun invested; starting to generate profits from the fourth year. On the environmental side, through the treatment of acid water, the impacts on water quality, soil, flora, fauna and landscape are mitigated; In addition, there is a slightly negative impact on air quality due to the obtaining of methane; which can be converted into biogas and the sludge obtained can be treated to produce fertilizer.

KEYWORDS: Wastewater, Environmental Impact, UFAF, Reuse.

Índice

Resumen	5
Abstract	6
Índice	7
I. INTRODUCCIÓN	13
II. MARCO TEÓRICO	15
2.1. Antecedentes del problema	15
2.2. Fundamentos teóricos	19
2.2.1. La industria cervecera.....	19
2.2.2. Residuos generados por la industria cervecera	20
2.2.2.1. Afrecho	20
2.2.2.2. Lodos de filtración	20
2.2.2.3. Aguas residuales del proceso	20
2.2.2.4. Aguas residuales	20
2.2.3. Parámetros de calidad de agua	21
2.2.3.1. pH	21
2.2.3.2. Temperatura	22
2.2.3.3. Demanda Biológica de Oxígeno	22
2.2.3.4. Demanda Química de Oxígeno	22
2.2.3.5. Sólidos suspendidos totales	23
2.2.3.6. Conductividad eléctrica	23
2.2.3.7. Aceites y grasas	23
2.2.4. Límites Máximos Permisibles en Aguas Residuales.....	23
2.2.4.1. Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE	23
2.2.4.2. Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM	26
2.2.5. Sistemas de tratamiento de aguas industriales ácidas	28
2.2.5.1. Biorreactor de membrana (MBR)	28
2.2.5.2. Reactor Anaerobio de Lecho Fluidizado (AFBR)	29
2.2.5.3. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente	30
2.2.5.4. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)	32
2.2.5.5. Ósmosis Inversa	32
2.2.6. Requisitos de un muestreo confiable	33
2.2.7. Estudio de Impacto Ambiental.....	34
2.2.7.1. Clasificación de los impactos	34
2.2.7.2. Matriz de aspectos e impactos	34
2.2.7.3. Valorización de impactos	35

2.2.7.4. Hojas de campo	37
III. RESULTADOS	39
3.1. Análisis Físicoquímico de aguas residuales	39
3.1.1. La empresa	39
3.1.2. Proceso productivo de obtención de levadura en polvo	41
3.1.3. Parámetros evaluados en el proceso	44
3.1.4. Características físicoquímicas del agua	46
3.1.4.1. Toma de muestras de agua en la empresa	46
3.2. Evaluación de impacto ambiental en las condiciones actuales de la empresa	47
3.2.1. Aspectos e impactos por actividad	47
3.2.2. Matriz de valorización de impactos	49
3.2.3. Hojas de campo	51
3.3. Elaborar la propuesta de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales ácidas para reutilización	60
3.3.1. Sistema de tratamiento de aguas residuales.....	60
3.3.1.1. Tratamiento primario	60
3.3.1.2. Tratamiento secundario	60
3.3.2. Elección del sistema de tratamiento	60
3.3.2.1. Comparación de los sistemas de tratamiento propuestos	60
3.3.2.2. Ponderación	62
3.3.3. Diseño del sistema de tratamiento de aguas ácidas.....	67
3.3.3.1. Pronóstico de aguas residuales de la empresa	67
3.3.3.2. Balance de materia	70
3.3.3.3. Comparación de parámetros finales con DS N° 015-2015-MINAM	78
3.3.3.4. Consideraciones y dimensionamiento del sistema de tratamiento	78
3.3.4. Distribución de planta de acuerdo al método Guerchet.....	84
3.3.5. Tiempo de retención hidráulica del sistema de tratamiento	86
3.3.6. Eficiencia del sistema de tratamiento	87
3.4. Análisis costo-beneficio y ambiental de la propuesta	87
3.4.1. Costo de inversión de la propuesta del sistema de tratamiento de aguas residuales ácidas	88
3.4.1.1. Inversiones tangibles	88
3.4.1.2. Inversión intangible	90
3.4.2. Beneficios obtenidos a partir del sistema de tratamiento de aguas ácidas	91
3.4.2.1. Ahorro de sanciones y multas	91
3.4.2.2. Ahorro de costo por consumo de agua de riego	92
3.4.3. Costo - Beneficio de la propuesta	93
3.4.4. Identificación del Impacto Ambiental de la empresa después de la propuesta ..	94

IV. CONCLUSIONES	99
V. RECOMENDACIONES.....	100
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
VII. ANEXOS.....	105

Lista de Tablas

Tabla 1. Producción de la industria cervecera periodo 2007-2012.....	19
Tabla 2. Parámetros de calidad de agua.....	21
Tabla 3. Límite máximo permisible de efluentes para alcantarillado de las actividades de cemento, cerveza, papel y curtiembre	24
Tabla 4. Límite máximo permisible de efluentes para aguas superficiales de las actividades de cemento, cerveza, papel y curtiembre	25
Tabla 5. Categorías determinadas en Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.....	26
Tabla 6. Categoría 3: Parámetros para riego de vegetales de tallo bajo y alto	28
Tabla 7. Tiempo de retención hidráulica de un RAFA.....	31
Tabla 8. Formato de la matriz de aspectos e impactos	35
Tabla 9. Valorización de impactos	Error! Bookmark not defined.
Tabla 10. Matriz de valorización de impactos ambientales.....	37
Tabla 11. Plantas de producción, productos y producción en el año 2020.....	39
Tabla 12. Resumen de compra de levadura disuelta en agua en el 2020	40
Tabla 13. Resumen de ventas de levadura en polvo en el año 2020	41
Tabla 14. Rendimiento mensual de levadura en polvo en el año 2020	44
Tabla 15. Condiciones de entrada y salida de la levadura disuelta en agua	45
Tabla 16. Comparación de parámetros de entrada con el Decreto Supremo	45
Tabla 17. Comparación de análisis físico químico de la muestra del agua residual ácida con el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.....	46
Tabla 18. Aspectos e impactos por actividad.....	48
Tabla 19. Matriz de valorización de impactos de la empresa productora de alimento balanceado.....	49
Tabla 20. Codificación de la matriz de valorización de impactos	49
Tabla 21. Codificación de impactos ambientales	51
Tabla 22. Posibles tratamientos de aguas ácidas para la empresa productora de levadura en polvo	Error! Bookmark not defined.
Tabla 23. Factores ponderados.....	63
Tabla 24. Leyenda	63
Tabla 25. Escala de valores.....	64
Tabla 26. Selección del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	65
Tabla 27. Agua residual generada en el periodo 2016 – 2020.....	69

Tabla 28. Proyección del efluente en los próximos 5 años.....	70
Tabla 29. Comparación del agua tratada con el DS N° 015-2015-MINAM	78
Tabla 30. Porcentaje de remoción de los parámetros evaluados.....	78
Tabla 31. Cuadro resumen de las dimensiones del FAFA, por cada cámara	82
Tabla 32. Método Guerchet para el dimensionamiento del sistema de tratamiento	85
Tabla 33. Inversión en movimiento de tierras.....	88
Tabla 34. Inversión de obras en concreto armado	89
Tabla 35. Inversión total de las obras de ingeniería	89
Tabla 36. Inversión para maquinaria y equipo	89
Tabla 37. Inversión para accesorios	90
Tabla 38. Inversión tangible	90
Tabla 39. Inversión intangible	91
Tabla 40. Inversión total para la propuesta.....	91
Tabla 41. Sanciones y multas según infracción	92
Tabla 42. Costo Beneficio de la propuesta	94
Tabla 43. Aspectos e impactos por actividad después de la propuesta	95
Tabla 44. Matriz de valorización de impactos después de la propuesta.....	97
Tabla 45. Codificación de colores después de la propuesta	97

Lista de figuras

Figura 1. Biorreactor de Membrana	29
Figura 2. Reactor Anaerobio de Lecho Fluidizado	30
Figura 3. Esquema del RAFA	31
Figura 4. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.....	32
Figura 5. Osmosis Inversa	33
Figura 6. Formato de la hoja de campo	38
Figura 7. Diagrama de Flujo del proceso productivo de	43
Figura 8. Crema de levadura seca	43
Figura 9. Hoja de campo 01	52
Figura 10. Hoja de campo 02.....	53
Figura 11. Hoja de campo 03.....	54
Figura 12. Hoja de campo 04.....	55
Figura 13. Hoja de campo 05.....	56
Figura 14. Hoja de campo 06.....	57
Figura 15. Hoja de campo 07.....	58
Figura 16. Hoja de campo 08.....	59
Figura 17. Comportamiento trimestral de las aguas residuales generadas	68
Figura 18. Balance de materia, neutralización	72
Figura 19. Balance de materia, filtración 1	73
Figura 20. Balance de materia, filtración 2.....	74
Figura 21. Balance de materia, filtración 3.....	76
Figura 22. Fosas de sedimentación.....	79
Figura 23. Crema de levadura	79
Figura 24. Vista transversal de un FAFA con falso fondo	81
Figura 25. Esquema de una cámara del FAFA	83

I. INTRODUCCIÓN

En el 2016 el Perú tuvo 14 967,86 hm³/año de agua disponible para el uso consuntivo del país, de los cuales se destinaron 58,27 hm³/año a la industria [1]. Además, se conoce que se generan 2 217 946 m³/día de aguas residuales las cuales son descargadas a la red de alcantarillado de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento, y solo el 32% de estas recibe tratamiento [2]. Teniendo como resultados la acidificación de aguas superficiales, daño a los árboles, la vegetación y la salud de las personas, además de tener efectos corrosivos en metales y piedras.

La industria cervecera genera diferentes residuos: bagazo, afrecho húmedo, lodos de filtración, papel, cartón, aguas residuales, entre otros. Siendo las aguas residuales las de mayor desperdicio, estas se obtienen a partir del proceso productivo de la cerveza, así como de la limpieza de las instalaciones y equipo. Estas aguas son caracterizadas por contener un pH ligeramente ácido y una carga orgánica considerable, aunque fácilmente biodegradable; además de su elevado contenido de nitrógeno debido a la presencia de levadura [3]. De acuerdo al Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE indica que los límites máximos permisibles para los efluentes de una industria cervecera deben presentar un pH de 6-9, una temperatura de 35 °C, 3 mg/l de aceites y grasas, DBO de 30 mg/l y un DQO de 50 mg/l [4]. Asimismo, el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM establece que el agua usada para riego y bebida de animales debe cumplir con un pH entre 6 – 8,5, DBO de 15 mg/l y DQO de 40 mg/l [5].

Además, la Autoridad Nacional del Agua por ser el ente rector del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos ejerce su jurisdicción administrativa exclusiva en materia de aguas al aplicar sanciones y multas. Las multas que impone el ente rector se dividen en leves (0,5 – 2 UIT), graves (2 – 5 UIT) y muy graves (5 a 10 000 UIT) [6].

La empresa en la que se desarrolló la presente investigación se encarga de dar tratamiento a algunos de los residuos generados por una industria cervecera, con el fin de convertirlo en alimento balanceado para ganado; los cuales son obtenidos mediante procesos de neutralización y secado. De ello se obtienen tres productos: levadura en polvo (comercializada como alimento balanceado), afrecho seco y tierra de diatomea.

En el año 2018 la empresa tuvo un ingreso total de 11 654,44 toneladas de levadura disuelta en agua, la cual presentó un pH promedio de 5,83 y un rango de temperatura variante entre

26°C y 33°C, no cumpliendo con lo dispuesto por el DS N° 003-2002-PRODUCE.

Dentro del proceso de tratamiento de levadura de cerveza, la etapa de sedimentado es la más importante debido a que en ella se separa la levadura del agua. En el periodo analizado la levadura presentó un rendimiento de 9%, lo que quiere decir que se elimina un 91% de agua en un terreno agrícola, sin ningún tratamiento. El agua de salida del proceso tuvo un pH de 4,33 por ende, la empresa estaría infringiendo con lo establecido por el Ministerio del Ambiente y debería hacerse acreedora de una multa de 2 a 5 UIT, valoradas en S/. 8 400 y S/. 21 000.

Frente a lo descrito anteriormente, surge la pregunta: ¿El tratamiento de aguas residuales ácidas permitirá mitigar el impacto negativo sobre el terreno de una empresa productora de alimento balanceado?

Para darle solución a esto se planteó el siguiente objetivo general: Proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales ácidas para mitigar el impacto negativo sobre el terreno de una empresa productora de alimento balanceado; para lograrlo se plantearon los siguientes objetivos específicos: Análisis físico- químico de aguas residuales, evaluación del impacto ambiental en las condiciones actuales, elaborar la propuesta de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales ácidas para su reutilización y por último análisis costo-beneficio y ambiental de la propuesta.

El que la empresa productora de alimento balanceado cuente con un sistema de tratamiento de aguas residuales ácidas representa la preocupación y compromiso que la empresa tiene con el medio ambiente. Además de crear un cierre de ciclo puesto que después de darle tratamiento a las aguas residuales estas serán usadas para el fertirriego.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

La investigación de Herrera y Bernal “Procesamiento de cerveza: tratamiento de aguas residuales” [7] realiza una revisión bibliográfica recopilando los diferentes tipos de tratamientos aplicados a los efluentes de seis cerveceras de diferentes partes del mundo, con el fin de determinar cuáles son los mejores sistemas de tratamiento en todos los niveles (primario, secundario y terciario) para estos efluentes, basándose en los porcentajes de remoción de carga orgánica, si la tecnología es fácil de conseguir y el factor económico. Los rangos de la caracterización fisicoquímica del agua residual de cervecería oscilan entre 3 -12 para el pH, Temperatura de 18 – 40 °C, 2 000 – 6 000 mg/l de DQO, 1 200 – 3 600 mg/l de BDO y Sólidos Suspendidos Totales 2 901 – 3 000 mg/l. La primera planta de tratamiento analizado consta de filtro de rejillas, laguna anaerobia y aerobia, y ozonificador, que mostró una remoción de sólidos de 98%, DBO de 91%, DQO de 77%, no genera subproductos y el agua puede ser reutilizada en el proceso productivo. La segunda planta solo consta de un biorreactor de membrana fluidizada anaeróbica, los porcentajes de remoción fueron SST 70%, DBO 75%, DQO 99% y genera biomasa. La tercera planta hace uso de una pila de combustible microbiana para dar tratamiento, los porcentajes de reducción fueron SST 86,3%, DQO 87,6% y se obtuvo energía eléctrica como subproducto. El cuarto sistema fue un reactor UASB, los porcentajes de reducción fueron DBO 80,21%, DQO 78,97% y se obtiene biogás que contiene 60 – 70% metano. La quinta planta combina un sistema de reactor anaerobio y lodos activados, en este estudio no se realizó la medición del DBO ni a la entrada ni a la salida del sistema, la reducción fue de 89% en los SST, 98% DQO. El último sistema analizado fue el de tanque aerobio combinado con un UASB logrando una reducción de 89% de SST, 89% DBO, 89% DQO y se obtuvo biogás. De acuerdo con la revisión realizada se concluye que para tratamiento primario es mejor realizar una neutralización del pH si se requiere y hace uso de un coagulante que permita la separación sólido-líquido del efluente. Para el tratamiento secundario se recomiendan los sistemas anaerobios debido a sus características como bajo requerimiento energético, remociones de carga orgánica superiores a 80%, necesidades de operación y manteniendo sencillas y sobre todo por la posibilidad de generación de energía en forma de biogás. Por otro lado, recomienda que si el efluente a tratar presenta DBO y DQO elevado se recomienda un tratamiento terciario por membranas de diferentes tamaños de poros.

Fernández et al. [8] en su investigación “Economía Circular e innovación en el tratamiento de aguas residuales de la industria cervecera” tuvo como objetivo darle tratamiento a los efluentes de la empresa cervecera Mahou San Miguel, España, por medio de tres sistemas de tratamiento de aguas residuales a fin de evitar generar residuos o desechos y que estos puedan ser reinsertados dentro del proceso productivo o alcancen los parámetros establecidos por la Unión Europea para ser usados como nuevos productos que causen un impacto mínimo en el medio ambiente. El efluente para tratar tuvo un caudal de 250 m³/h, un pH ligeramente ácido, elevada carga orgánica y nutrientes (especialmente fósforo y nitrógeno) y una alta concentración de sólidos en suspensión. Al iniciar se dio un tratamiento primario de electrocoagulación, el dispositivo está compuesto por varios módulos de electrodos en línea paralelos entre sí; el electrodo negativo (cátodo) está diseñado en acero inoxidable y el electrodo positivo (ánodo de sacrificio) está fabricado con pellets de viruta de aluminio compactada como materia prima, procedentes del reciclaje como envases y latas sustituyendo así al coagulante químico comúnmente utilizado, obteniendo un caudal de 10 m³/h y con unas tasas de eliminación de fósforo del 58%, nitrógeno 40% y un 70% de sólidos en suspensión, la cual pasa formar parte del fango que puede ser utilizado como fertilizante rico en fósforo y nitrógeno, y produciendo hidrógeno electroquímicamente tratado que puede ser revalorizado como fuente de energía dentro de las instalaciones. El tratamiento secundario utilizado es un reactor anaerobio de lecho fluidizado, utilizando de relleno carbón activado, en el que los microorganismos anaerobios crean una biopelícula que degrada a los contaminantes existentes en el efluente a tratar. De este proceso también se obtiene metano, el cual puede ser utilizado en las calderas del centro de producción. Este sistema elimina hasta un 90% del DBO, 95% DQO y un 80% de los nutrientes contenidos en el efluente de la electrocoagulación. Finalmente se incluye un tratamiento terciario basado en una unidad de ultrafiltración y desinfección UV para cumplir los requerimientos de reutilización y/o vertido cero. El costo del sistema es de 973 408 euros.

Según Ashraf et al. [9] en su investigación “Wastewater treatment and resource recovery technologies in the brewery industry: Current trends and emerging practices” la cervecería es una industria de uso intensivo de agua en la que el flujo de residuos consiste principalmente en aguas residuales que se originan en el procesamiento y la limpieza de equipos. Una gran cantidad de estas aguas residuales se vierte directamente en los cuerpos de agua, lo que provoca la contaminación de las aguas superficiales, lo que a su vez es desastroso para la salud humana y el medio ambiente. Esta revisión tuvo como objetivo recomendar el tratamiento de efluentes

y la gestión residuales para una industria cervecera a través de una revisión sistemática de la literatura sobre las diferentes operaciones y procesos de las unidades industriales y los flujos de residuos, centrándose en las tendencias actuales y las prácticas emergentes. En el proceso de malteado, se propuso tratar el agua de remojo y el condensado de las etapas de horneado con un reactor de digestión anaeróbica para eliminar los orgánicos mientras se produce el metano, luego reutilizar el agua tratada para reducir la cantidad de agua de remojo fresca requerida. En el proceso de elaboración, se propuso tratar las aguas residuales con un sistema de manto de lodo anaeróbico de flujo ascendente (UASB) para producir biogás, seguido de un biorreactor de membrana aeróbica (MBR) para pulir el efluente y posiblemente eliminar nutrientes como nitrógeno y fósforo. El efluente de MBR puede luego pasar a través de un sistema de ósmosis inversa (OI) para reutilizar el agua. Durante el proceso de manejo de lodos, se propuso recolectar el agua de las etapas de espesamiento, deshidratación y secado, y precipitar la estruvita (mineral con alto contenido de fosforo) como producto y reducir la carga de nutrientes que regresa al sistema de tratamiento de aguas residuales. Alternativamente, después de la precipitación de estruvita, el agua puede pasar a través de un sistema de ósmosis inversa para recuperar algo de agua para su reutilización. Los estudios futuros deben centrarse en tecnologías emergentes de recuperación de recursos aplicadas a un nivel semiindustrial con evaluaciones tecnológicas y económicas detalladas. Además, se deben promover acciones sostenibles en varios niveles de la industria con el fin de sugerir políticas y tecnologías que eviten un mayor deterioro del medio ambiente.

El artículo de Martins et al. "Treatment and Energy Valorisation of an Agro-Industrial Effluent in Upflow Anaerobic Sludge Reactor (UASB)" [10], evaluó el desempeño de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) a escala laboratorio para el tratamiento de efluentes de una empresa productora de castaña dulce. El reactor fue construido a partir de tubos PVC con diámetro de 10 cm y volumen de 16 litros, como inóculo se utilizaron 6,2 litros de lodos del digester anaeróbico de la estación depuradora de aguas residuales. El reactor fue alimentado con efluentes agroindustriales durante 25 semanas y operado en condiciones mesófilas (temperatura 30 – 40 °C). Se probaron diferentes valores para el tiempo de retención hidráulica (TRH): 2,41 días de la semana 1 a 16; 1,33 días de la semana 17 a 23; 0,66 días de la semana 24 a 25. El efluente tratado poseía un pH de 5.6 – 8; 2 600 mg/l, 2 650 mg/l y 3 850 mg/l de DBO; 1 900 mg/l, 2 050 mg/l, 2 120 mg/l de DQO y 850 mg/l, 870 mg/l y 1 000 mg/l de SST para TRH de 0,66, 1,33 y 2,41 días, respectivamente. Se inició neutralizando el fluido ingresante con carbonato de calcio para mantener el pH en un rango de 6,5 – 8,2; la eficiencia

media de eliminación de DQO alcanzó valores del 69%, 82% y 75%, respectivamente, y simultáneamente la eficiencia de eliminación de DBO asociada fue del 84%, 91% y 70%. En cuanto a los sólidos suspendidos totales, los valores de eliminación fueron del 78%, 94% y 63%. Además, se obtuvieron altas tasas de producción de metano, entre 2500 y 4800 l de metano/kg de DQO eliminado al día. Para todos los tiempos de retención hidráulica probados, se registraron altas concentraciones de metano en el biogás: 60%, 70% y 75% para TRH de 0,66, 1,33 y 2,41 días, respectivamente. Se concluyó que los mejores valores satisfactorios de remoción de DQO, DBO y SST para el THR de 1,33. Además, hubo recuperación de energía para el efluente, asociado a la producción de metano durante largos períodos de operación, alcanzando alrededor de 35 l/d.

La investigación de Irnaning et al. "Full Scale Application of Integrated Upflow Anaerobic Filter (UAF) - Constructed Wetland (CWs) in Small Scale Batik Industry Wastewater Treatment" [11], tuvo como objetivo evaluar el desempeño y eficacia de la DQO y la reducción del pH en la aplicación del filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA), como tratamiento secundario, combinado con la tecnología de Humedales Artificiales (HA), tratamiento terciario, utilizando plantas de *Heliconia* sp, *Typha latifolia* y *Cyperus papyrus* en condiciones reales de una planta de tratamiento de aguas residuales de una pequeña industria de batik. Para llevar a cabo la experiencia se tomaron dos muestras, una cuando había una alta producción del efluente y la segunda cuando la producción era menor. Los efluentes tratados tuvieron las siguientes características: pH 9,1 – 8,5, temperatura de 29°C, SST de 2 461 mg/l y 815 mg/l, DBO de 1 105 mg/l y 762,5 mg/l, DQO de 7 858 mg/l y 4 466 mg/l, aceites y grasas de 2,50 mg/l y 1,40 mg/l. El FAFA tuvo una capacidad de 24 m³, estuvo repartido en seis compartimentos iguales utilizando plástico como medio filtrante desde el compartimento n°2 al n°5 y las cámaras n°1 y n°6 no tuvieron filtros; además se tuvo como inóculo lodos provenientes de una industria de tofu. El humedal artificial tuvo lugar en una cámara contigua al FAFA a modo de tratamiento complementario. Este estudio mostró que la tecnología FAFA por sí sola fue capaz de reducir la DQO en 79,26% en promedio mientras que en los humedales artificiales es 41,1%. Por otro lado, el pH al salir del FAFA fue de 7,4 y 8,1 y su TRH fue de 1,5 días; el pH resultante del sistema CW está entre 7,5 y 7,8; la integración de la tecnología FAFA - HA tuvo un rendimiento de 85% y un THR total de 2 días.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. La industria cervecera

Se espera que el uso global anual de agua de la industria cervecera aumente de 725 millones de litros en 1 995 a 1 170 millones de litros en 2 025, lo que representa el 25% del uso total de agua en todo el mundo. [12].

El proceso de elaboración requiere una gran cantidad de agua, por lo que, por cada litro de cerveza producido, se generan de 3 a 15 litros de aguas residuales, lo que significa que un vaso de cerveza (250 ml) contiene 75 litros de agua [13], es decir que alrededor del 89% de este producto es agua. [14].

En el mercado peruano podemos encontrar una gran variedad de bebidas, alcohólicas y no alcohólicas, que se han consolidado en los gustos de los consumidores.

Tabla 1. Producción de la industria cervecera periodo 2007-2012
(miles de litros)

PRODUCTO	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Alcohol etílico rectificado	20 544	25 210	23 119	20 048	20 465	26 540
Ron	-	-	-	-	-	-
Vinos y espumantes	6 785	8 449	7 701	9 794	9 619	9 999
Piscos	1 090	1 497	1 394	1 332	1 327	1 908
Cerveza blanca	1 037 053	1 182 817	1 169 677	1 230 335	1 305 390	1 364 318
Cerveza negra	-	-	-	-	-	-
Bebidas gaseosas con dulce	1 314 089	1 469 304	1 556 885	1 665 268	1 707 456	1 666 795
Bebidas gaseosas sin dulce	41 231	39 641	36 884	32 925	36 774	36 106
Agua embotellada de mesa	171 369	221 666	259 073	316 463	388 336	514 842
Agua (Botellones)	30 475	30 842	37 577	38 168	45 141	37 966
TOTALES	2 622 636	2 979 426	3 092 310	3 314 333	3 514 509	3 658 474

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas e Informática, 2012 [15]

Elaboración: INEI

De acuerdo con los datos recopilados por el INEI, la bebida más consumida por los peruanos son las gaseosas con azúcar ocupando el 42% del mercado en el 2012 seguida por la cerveza

blanca con un 37% equivalente a 1 364 318 miles de litros en el mismo año; siendo a su vez la bebida alcohólica más consumida en el país. De hecho, para el año 2015 se determinó que en el Perú se consumen 44,5 litros per capita de cerveza al año [16].

2.2.2. Residuos generados por la industria cervecera

2.2.2.1. Afrecho

El afrecho constituye el 80% del volumen de la malta, es el restante seco extraído esta. Debe considerársele como subproducto debido a que tiene altas porciones de proteína cruda y energía; adecuada para la ingesta de alimentos de aves, cerdos, vacas, entre otros. [17]

2.2.2.2. Lodos de filtración

Son obtenidas a partir del uso de tierra de diatomeas como material filtrante del mosto, a la vez que asegura la transparencia y brillantez a la cerveza. Este residuo es usado principalmente a forma de fertilizante y pesticida natural no tóxico. [18]

2.2.2.3. Aguas residuales del proceso

La mayor parte de las aguas residuales provienen de la limpieza del equipo y las instalaciones, la cual es necesaria para prevenir la formación de montículos de sales de calcio, magnesio, proteína y levaduras. En menor medida se obtiene agua residual proveniente de la producción de cerveza [3]; la cual contiene restos de levadura cuatro veces mayor que al iniciar el proceso, y son descartadas mientras están disueltas en el agua. La levadura de cervecería proviene de la separación de la cerveza después de la fermentación de la malta, esta levadura es rica en proteínas altamente digeribles (46%), así como un adecuado perfil de aminoácidos esenciales, por lo que constituye una buena fuente proteica para aves y ganado [19].

2.2.2.4. Aguas residuales

Definida por la OEFA como agua cuyas propiedades originales han sido alteradas por la actividad humana y que, por su calidad de agua, requiere de un pretratamiento antes de ser reutilizada, vertida a un cuerpo de agua natural o a un sistema de alcantarillado. [2].

Gran parte de esta agua se descarga en los arroyos sin tratamiento previo y se filtra en los acuíferos, contaminando los recursos de agua subterránea [20].

2.2.3. Parámetros de calidad de agua

De acuerdo con DIGESA los parámetros se seleccionan en función a las actividades antropogénicas, fuentes contaminantes y teniendo en cuenta la clasificación de los recursos hídricos del país [21].

Tabla 2. Parámetros de calidad de agua

GRUPOS	PARÁMETROS
Parámetros de medición en campo	pH, Temperatura, conductividad, oxígeno disuelto Físicos: turbiedad, sólidos totales y sólidos suspendidos
Parámetros determinados en laboratorio	Iones principales: Nitratos, Sulfato, Fosfato, cianuro, WAD y libre, cloruros, nitritos, dureza total y cálcica, alcalinidad) Metales: Ba, Cd, Cr, Pb, Zn, Mn, Fe, Cu, Hg, y As) Coliformes totales
Parámetros biológicos	Coliformes termotolerantes Fitoplantación Parásitos
Parámetros orgánicos (dependerá de las actividades y usos que tenga el cuerpo de agua)	Parásitos y grasas Hidrocarburos totales de petróleo DBO ₅

Fuente: Dirección General de Salud Ambiental, 2007

Elaboración: DIGESA

Los parámetros mostrados en la tabla 2 establecen indicadores cuya funcionalidad posibilita examinar de manera persistente las variaciones de la calidad del agua, considerando los puntos sanitarios y ecológicos a fin de elegir las actividades de control que se requieran.

2.2.3.1. pH

Indica el número de iones de hidrógeno libres en una sustancia, recalcando que:

- pH > 7: baja concentración de iones H⁺, considerado básico
- pH < 7: acidificación del medio

La acidez de las aguas residuales que provienen de las industrias se debe a la disociación de compuestos orgánicos e inorgánicos; los principales ácidos presentes son: Sulfúrico, clorhídrico, nítrico, fosfórico. [22]

La alcalinidad de las aguas residuales es debida a los compuestos que al disociarse en agua dan lugar a iones OH; y principalmente por la presencia de amoniacos y sosas. [22]

2.2.3.2. Temperatura

La temperatura determina la cantidad de calor en el cuerpo y, al aumentarla, aumenta la solubilidad de las sales, lo que puede cambiar su conductividad eléctrica y su pH. Es el responsable de la regulación de los procesos naturales en el medio acuático. La temperatura del agua utilizada para fines recreativos no debe exceder los 30°C, como en el caso del agua para servicio público [22].

2.2.3.3. Demanda Biológica de Oxígeno

Indica la cantidad de oxígeno que los microorganismos de una muestra necesitan para degradar el material orgánico presente en ella mediante procesos anaerobios; para obtener el resultado de este parámetro se necesitan cinco días de incubación, convirtiéndolo en un método valido de estudio para determinar el estado o la calidad del agua de ríos, lagos, lagunas o efluentes. Cabe recalcar que los valores superiores a 10 mg/l reflejan aguas muy contaminadas e inferiores a 3 mg/l corresponden a aguas limpias. [22]

2.2.3.4. Demanda Química de Oxígeno

Este parámetro mide la cantidad de oxígeno requerida para lograr la oxidación química de materia orgánica para convertirla en CO₂ y H₂O, ya sea que la muestra contenga material biodegradable y no biodegradable. Los resultados se conocen en menos de 3 horas y la mayoría del agua proveniente de las plantas industriales tienen una DQO entre 50 a 2 000 mgO₂/l, pero puede llegar a 5 000 según el tipo de industria. [22]

Dependiendo de la relación entre DBO y DQO se puede decir que:

- DBO/DQO < 0,2: Los vertidos de naturaleza inorgánica poco biodegradables, siendo convenientes tratamientos fisicoquímicos.
- DBO/DQO > 0,4: Se consideran biodegradables
- DBO/DQO > 0,65: Los vertidos pueden considerarse orgánicos y muy biodegradables; resultan adecuados los tratamientos biológicos.

2.2.3.5. Sólidos suspendidos totales

Señala la proporción de material particulado, elementos orgánicos e inorgánicos suspendidos en una corriente de agua superficial o residual; una alta acumulación de ellas llega a reducir el oxígeno disuelto, limitando el desarrollo de la vida acuática perjudicando la calidad del agua para consumo humano.

Determinado por medio de un estudio gravimétrico tradicional, con base en la retención de las partículas con un filtro de porosidad determinado. Las concentraciones de SST que corresponden a las aguas residuales industriales generalmente alternan entre 40 a 200 mg/l, la ley exige que los valores para el cauce receptor se encuentren entre 80 a 300 mg/l. [22]

2.2.3.6. Conductividad eléctrica

Indica la presencia de iones en el agua, a fin de medir la capacidad de esta para conducir electricidad. Tanto la dureza como la conductividad reflejan el grado de mineralización (sales disueltas) de las aguas y su productividad potencial. [22]

2.2.3.7. Aceites y grasas

Son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen vegetal y animal e hidrocarburos del petróleo, que provocan una lenta descomposición y formación de películas que impiden la re-aireación y oxidación de las aguas superficiales, limitando así su proceso de autodepuración. La ley generalmente estipula un valor máximo de emisión de 20 a 40 mg/l. [22]

2.2.4. Límites Máximos Permisibles en Aguas Residuales

2.2.4.1. Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE

En esta norma se **Aprueban límites máximos permisibles y valores referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel**, aplicables a todas las empresas nacionales o extranjeras, empresas públicas o privadas cuyos establecimientos existentes o cotizados se realicen actividades de producción en el país [4] (Tablas 3 y 4).

Tabla 3. Límite máximo permisible de efluentes para alcantarillado de las actividades de cemento, cerveza, papel y curtiembre

PARÁMETROS	CEMENTO		CERVEZA		PAPEL		CURTIEMBRE	
	En curso	Nueva	En curso	Nueva	En curso	Nueva	En curso	Nueva
pH	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	---	6-9
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	100	50	500	350	1000	500	---	500
Aceites y grasas (mg/l)	---	---	20	15	100	50	100	50
DBO ₅ (mg/l)	---	---	1000	500	---	500	---	500
DQO ₅ (mg/l)	---	---	1500	1000	---	1000	---	1500
Sulfuros (mg/l)	---	---	---	---	---	---	---	3
Cromo VI (mg/l)	---	---	---	---	---	---	---	0,4
Cromo Total (mg/l)	---	---	---	---	---	---	---	2
N-NH ₄ (mg/l)	---	---	---	---	---	---	---	30
Coliformes Fecales NMP/100ml	---	---	---	---	---	---	---	---

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2002

Elaboración: MINAM

Tabla 4. Límite máximo permisible de efluentes para aguas superficiales de las actividades de cemento, cerveza, papel y curtiembre

PARÁMETROS	CEMENTO		CERVEZA		PAPEL		CURTIEMBRE	
	En curso	Nueva	En curso	Nueva	En curso	Nueva	En curso	Nueva
pH	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	50	30	50	30	100	30	50	30
Aceites y grasas (mg/L)	---	---	5	3	20	10	25	20
DBO ₅ (mg/L)	---	---	50	30	---	30	50	30
DQO ₅ (mg/L)	---	---	250	50	---	50	250	50
Sulfuros (mg/L)	---	---	---	---	---	---	1	0,5
Cromo VI (mg/L)	---	---	---	---	---	---	0,3	0,3
Cromo Total (mg/L)	---	---	---	---	---	---	2,5	0,5
N-NH ₄ (mg/L)	---	---	---	---	---	---	4 000	1 000
Coliformes Fecales NMP/100ml	---	---	---	---	---	---	20	10

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2002

Elaboración: MINAM

2.2.4.2. Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM

En este decreto de **Modificación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua**, aprobados por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, se precisan las categorías de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para el agua [5], descritas en la siguiente tabla.

Tabla 5. Categorías determinadas en Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	SUBCATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
Categoría 1-A	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable	A1	Agua que puede ser potabilizada con desinfección
		A2	Agua que puede ser potabilizada con tratamiento convencional
		A3	Agua que puede ser potabilizada con tratamiento avanzado
Categoría 1-B	Aguas superficiales destinadas a recreación	B1	Contacto primario
		B2	Contacto secundario
Categoría 2: Actividades de extracción y cultivo marino costeras y continentales	Agua de mar	C1	Extracción y cultivo de moluscos bivalvos
		C2	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas
		C3	Otras actividades
		C4	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	Parámetros para riego de vegetales Parámetros para bebida de animales	D1	Riego de cultivos de tallo alto y bajo
		D2	Bebida de animales
Categoría 4	Conservación del Ambiente Acuático	E1	Lagunas y lagos
		E2: Ríos	Ríos de costa y sierra Ríos de selva
		E3: Ecosistemas marino costeras	Estuarios Marinos

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2015

Elaboración: MINAM

Como se denota en la tabla 5, dentro de la categoría 3, correspondiente al riego de vegetales y bebida de animales, se tiene a dos subcategorías las cuales son descritas por El Peruano de la siguiente manera:

A. Subcategoría D1: Riego de vegetales

En esta subcategoría se hallan las aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, dependiendo de elementos como el tipo de riego, la clase de consumo usado y los probables procesos industriales o de transformación a los que logren ser sometidos los productos agrícolas tienen la posibilidad de ser empleados como:

- **Agua para riego no restringido**

Esta clase de riego se refiere a que la calidad del agua permite que esta se utilice en el riego de cultivos de consumo crudo, árboles y arbustos, parques públicos, campos deportivos; o cualquier otro tipo de cultivo.

- **Agua para riego restringido**

La calidad de estas aguas permite que sean utilizadas para el riego de cultivos de consumo cocido, cultivos de tallo alto (siempre que el agua no entre en contacto con el fruto), cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados; cultivos industriales no comestibles, y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares.

B. Subcategoría D2: Bebida de animales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno, equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos [23]. Adicional a ello el MINAM dictaminó los parámetros para el riego de vegetales de tallo alto y bajo (Tabla 06)

Tabla 6. Categoría 3: Parámetros para riego de vegetales de tallo bajo y alto

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Físicos - Químicos		
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	40
Temperatura	°C	Δ 3
Nitratos	mg/l	100
Oxígeno disuelto	mg/l	4
pH	mg/l	6-8,5
Aceites y grasas	mg/l	5
Orgánicos		
Aluminio	mg/l	5
Hierro	mg/l	5
Plomo	mg/l	0,05
Cobre	mg/l	0,2

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2015

Elaboración: MINAM

2.2.5. Sistemas de tratamiento de aguas industriales ácidas

Una de las primordiales fuentes de contaminación al medio ambiente son las aguas ácidas, es gracias a ello que tienen que ser tratadas de una manera correcta y apropiada.

Antes de dar el tratamiento químico o biológico al agua residual primero se debe corregir la desmesurada alcalinidad o acidez del agua. El tener un pH bastante elevado o bajo puede llegar a obstaculizar la acción depuradora hecha por los microorganismos; es por esto que lo ideal para la actividad biológica es un pH entre 5 y 8,5 [24].

2.2.5.1. Biorreactor de membrana (MBR)

Una membrana, en lo que respecta al tratamiento de agua y de aguas residuales, es simplemente un material que permite que algunos componentes físicos, químicos, o biológicos puedan pasar más fácilmente a través de ella que otros. Es decir, permite el paso del agua tratada por medio de una membrana, separando de ella los componentes innecesarios. El grado de selectividad depende del tamaño de poro de la membrana. [25]

El MBR consta de dos componentes combinados en uno: por un lado, un biorreactor para biofiltración y por otro lado, una separación física de biomasa y agua gracias a un sistema de filtración directamente a las membranas de agua [26]. Reemplazando así tres procesos

individuales de los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales (sedimentación primaria, sistema de lodos activados y desinfección), solo requiere el mantenimiento de la etapa de detección inicial para reducir los efectos adversos del daño de la membrana. Sin embargo, en comparación con los sistemas de tratamiento secundario convencionales, MBR está algo limitado por: [25]

- Una mayor complejidad del proceso
- Necesita equipos más caros y costos operativos más altos
- Mayor dirección de formación de espuma, mayores requisitos de aireación para procesos biológicos y deposición de películas/control de incrustaciones
- Producción de un lodo más difícil de deshidratar, y en general una mayor sensibilidad a los pulsos de cargas.

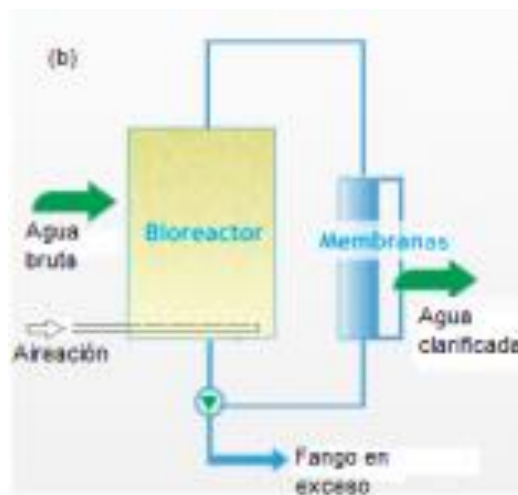


Figura 1. Biorreactor de Membrana

Fuente: Google

2.2.5.2. Reactor Anaerobio de Lecho Fluidizado (AFBR)

Constan de un tubo cilíndrico relleno con un soporte inerte o lecho de partículas sólidas de pequeño tamaño, que por lo general es carbón activado, arena u otro material. Éste, retiene la biomasa microbiana que crece a su alrededor formando una biopelícula degradando al contaminante. A través del lecho, el agua residual tratada circula, de forma incremental, a la velocidad requerida para producir el líquido. Sin embargo es obligado el uso de la recirculación de efluente por medio de bombas para mantener expandido el lecho. [27] [28]

El sistema AFBR incorpora un proceso para separar y eliminar el exceso de sólidos biológicos, adaptándose mejor al tratamiento de agua de alta concentración (2 100 mg/l a 80 000 mg/l de DQO) y también es capaz de lograr concentraciones de efluentes relativamente bajas (tan bajas como 35 mg/l de DQO soluble después de la eliminación biológica de sólidos en algunos sistemas). [27]

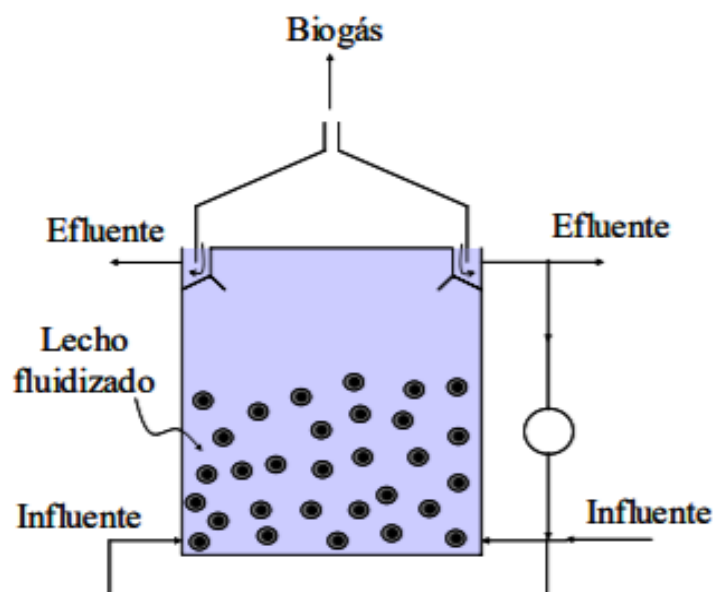


Figura 2. Reactor Anaerobio de Lecho Fluidizado

Fuente: Google

Los AFBR no han sido muy aplicados a escala real debido a que son considerados muy complejos para su operación, como lo es el controlar la velocidad del flujo que se aplica, ya que si este aumenta mucho puede causar un lavado de la masa bacteriana. Así mismo, la producción de biogás en un determinado momento puede inducir al fraccionamiento del lecho y cuando ocurre un aumento en la velocidad de formación del gas, la expansión de la capa gaseosa puede disminuir significativamente [29].

2.2.5.3. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente

Según con Arana [24] los reactores anaeróbicos de flujo ascendente, RAFA o UASB por sus siglas en inglés, son tanques cerrados, en los que las aguas residuales ingresan desde la parte inferior del reactor y a medida que ascienden se van filtrando por medio del lodo floculante o granular que hay en el interior. De este proceso también se obtiene biogás, debido a que existe

una degradación anaeróbica de los sustratos orgánicos.

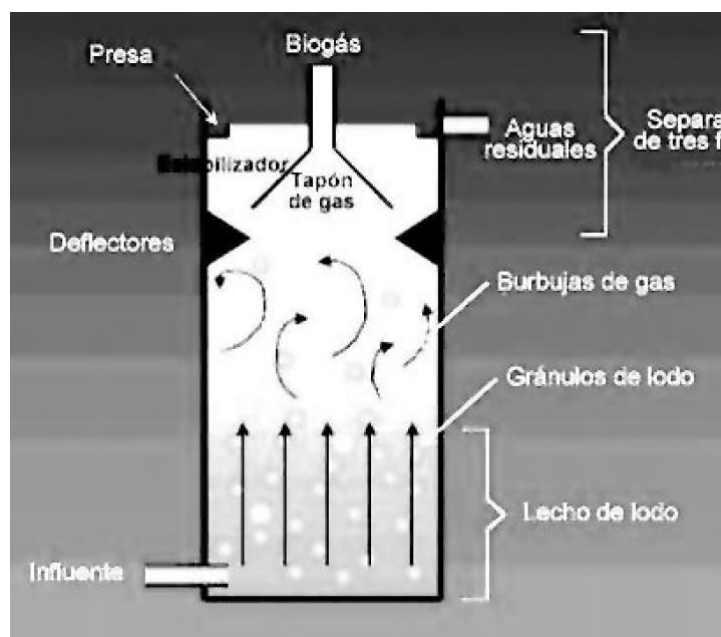


Figura 3. Esquema del RAFA

Fuente: Programa Train-Sea-Coast GPA.

Los costos por operación y mantenimiento de un RAFA oscilan entre 18 750 a 20 000 dólares americanos al año. Este sistema puede llegar a tratar el agua residual en horas, debido a que puede ocupar dimensiones de hasta 3 hectáreas de ancho y 4 metros de alto.

Tabla 7. Tiempo de retención hidráulica de un RAFA

TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL (°C)	TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (DÍAS)
16 – 19	10 – 14
22 – 26	7 – 9
> 26	6 – 8

Fuente: Tchobanoglous et al., 2003

En contraste, Tchobanoglous et al. [30] realizaron un estudio en el que señalan la influencia de la temperatura del lugar con respecto al tiempo de retención hidráulica, comprobando que a mayor temperatura menos días de espera el tratamiento del agua.

2.2.5.4. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)

Tilley et al. [31] indican que el FAFA es un biorreactor estacionario que actúa como un filtro, cuando el agua residual fluye, las partículas quedan atrapadas y la materia orgánica se descompone por la biomasa adherida al medio filtrante. Los materiales filtrantes más usados son la grava, piedras quebradas, carboncillo, o piezas de plástico. Este sistema utiliza un tanque de sedimentación seguido de una o más cámaras de filtración. Generalmente el TRH es de 0,5 y 1,5 días; las variación de esta se debe a la carga orgánica presente en el efluente a tratar.

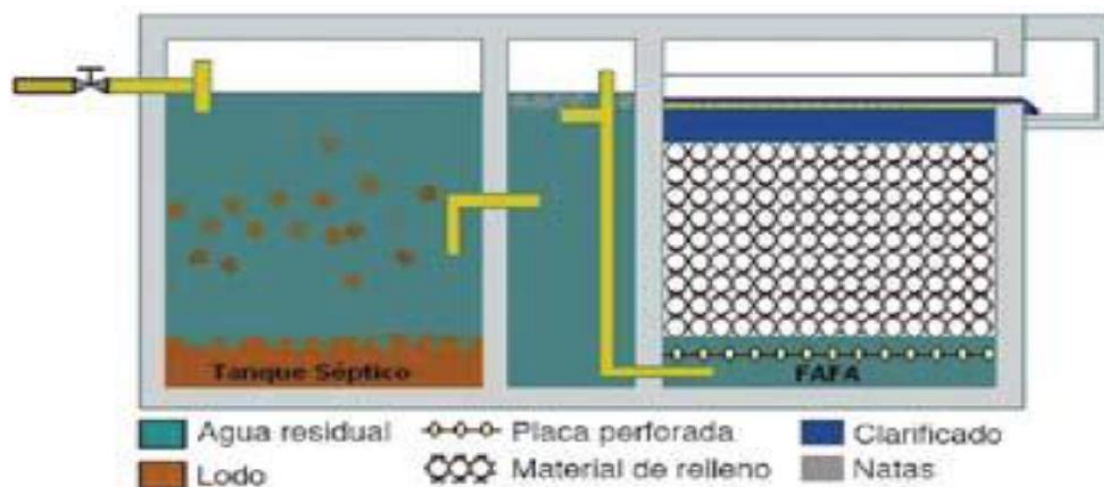


Figura 4. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

Fuente: Google

Este sistema es adecuado para lugares que disponen de poco terreno ya que el depósito suele instalarse bajo tierra y requiere poco espacio. Se pueden instalar en todas las condiciones climáticas, siendo menos efectivos en climas fríos [31].

2.2.5.5. Ósmosis Inversa

Ortega [32] indicó que la ósmosis sucede cuando dos fluidos de distinta densidad se encuentran espaciados por una membrana semipermeable existiendo además una discrepancia de presión entre los dos fluidos. Para nivelar esta presión, un líquido menos denso cruzará la membrana posibilitando la permeación, removiendo a su vez los contaminantes de las aguas residuales. Para que la ósmosis inversa funcione, se hace uso de una bomba eléctrica que aumente la presión en el lado de la membrana donde se encuentra el agua a tratar. Comparte el principio de filtración por membrana que el biorreactor, y en ambos casos el agua tratada puede

ser reutilizada en el proceso productivo industrial, siendo usado principalmente en plantas de tratamiento para potabilizar agua en zonas donde el agua dulce escasea [25].

Para este sistema se necesita un pretratamiento con filtros mecánicos o químicos, que eviten la formación de incrustaciones que provocarían fallas en la membrana. [33]

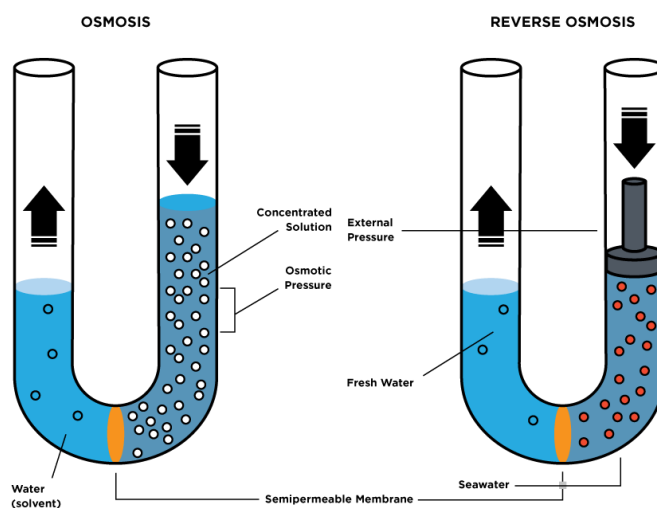


Figura 5. Ósmosis Inversa

Fuente: Google

2.2.6. Requisitos de un muestreo confiable

De acuerdo con el MINSA [21] se sigue el siguiente procedimiento para determinar la naturaleza del efluente:

1. Una vez ubicado en el lugar donde se tomó la muestra, se debe descargar y ubicar correctamente los equipos a utilizar, en este caso cronómetro, termómetro, recipientes y tarros.
2. Etiquetar los tarros para lograr reconocer correctamente las muestras.
3. Medir la temperatura usando un termómetro y un recipiente de vidrio.
4. Medir el caudal por el procedimiento volumétrico manual, utilizando el cronómetro y un recipiente (balde) previamente adecuado para una correcta medición.
5. Tomar las muestras y llenar en frascos de vidrio de 1 litro en su totalidad para evitar en lo posible que quede aire dentro de los mismos.
6. Asegurar las muestras con cinta adhesiva en las tapas y se ubicaron en un cooler para

mantener las muestras a baja temperatura, hasta ser transportadas al laboratorio donde fueron analizadas.

2.2.7. Estudio de Impacto Ambiental

El MINAM [34], lo define como el estudio que tiene la evaluación y exposición de los aspectos fisicoquímicos, naturales, biológicos, socio – económicos y culturales en la zona de dominio del proyecto, a fin de precisar las circunstancias existentes y capacidades del medio, examinar la naturaleza y magnitud del proyecto, calculando y prediciendo los efectos de su realización; señalando las medidas de prevención y control de la contaminación para lograr un desarrollo armónico entre las actividades que desarrolla el hombre y el ambiente.

2.2.7.1. Clasificación de los impactos

Los impactos ambientales son clasificados de la siguiente forma [35]:

- Positivos y negativos, el primero mejora el medio ambiente y el segundo lo descompone.
- Temporal; de duración determinada; permanente, período típico de actividad.
- El efecto directo evidente sobre el entorno y el efecto indirecto de algún daño combinado con otras causas.
- Los Manejables son lugares donde podemos decidir cuándo y cómo influir, mientras que los Inmanejables son parte integral del proceso y nos impiden interactuar.

2.2.7.2. Matriz de aspectos e impactos

Los aspectos ambientales son los elementos que interactúan con el medio ambiente, son resultantes de una actividad, producto o servicio de una organización; dicha interacción provoca un impacto ambiental, es decir puede alterar o modificar el ambiente del lugar en el que se realizan. A resumidas cuentas los aspectos son las causas y los impactos los efectos.

La matriz de aspectos e impactos simplifica gráficamente la relación existente entre las actividades realizadas por la organización y su impacto ambiental en el lugar que se realizan. Para llevarla a cabo, la organización primero debe identificar todos sus aspectos ambientales, evaluarlos y decidir sobre cuales va a actuar, considerando el área de incidencia y los posibles impactos. [36]

Tabla 8. Formato de la matriz de aspectos e impactos

ACTIVIDAD	ASPECTO	IMPACTO
-----------	---------	---------

Fuente: IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental – País Vasco, 2009 [36]

2.2.7.3. Valorización de impactos

Para la valorización de los impactos se emplean los siguientes criterios [35]:

- **Carácter del impacto (CI):** Se refiere al impacto positivo o negativo de las diferentes actividades sobre el factor en consideración.
- **Intensidad del impacto (I):** Indica el grado en que la influencia de un elemento se extiende en un área de influencia definida.
- **Extensión del impacto (EX):** Alcance teórico de los impactos relacionados con el entorno del proyecto.
- **Sinergia (SI):** Aglomeración de dos o más efectos simples, capaces de producir efectos sucesivos, destacando así las consecuencias de los efectos analizados.
- **Persistencia (PE):** Refleja cuánto tiempo se espera que dure un efecto desde el principio.
- **Efecto (EF):** Entendido como la forma de influencia sobre un elemento como resultado de una acción, o equivalentemente, tiene una relación causa-efecto.
- **Momento de impacto (MO):** El tiempo transcurrido entre la acción y la aparición del efecto cuando el efecto es continuo o repetido.
- **Recuperabilidad (MC):** Se refiere a la capacidad de actualizar total o parcialmente los componentes afectados después de la finalización del proyecto.
- **Reversibilidad (RV):** La capacidad de volver a las condiciones originales antes de actuar espontáneamente.
- **Periodicidad (PR):** Se refiere a la regularidad de la acción del efecto.

A fin de valorar los impactos se debe seguir el siguiente procedimiento u otro siempre que esté debidamente fundamentado:

Tabla 9. Valorización de Impactos

CARÁCTER DEL IMPACTO (CI)		
Positivo		(+)
Negativo		(-)
Previsto pero difícil de calificar		(x)
INTENSIDAD (I)		
Baja		1
Media		2
Alta		4
Muy alta		8
Total		12
EXTENSIÓN (EX)		
Puntual	Efecto localizado	1
Parcial	Efecto con incidencia en parte del entorno del proyecto	2
Extenso	Efecto con incidencia en la mayor parte del entorno del proyecto	4
Total	Efecto con influencia generalizada en el entorno del proyecto	8
Crítico	Efecto con influencia generalizada en el entorno	(+4)
SINERGIA (SI)		
No sinérgico	El impacto no se ve forzado por la concurrencia de otras acciones de proyecto.	1
Sinérgico	El impacto se ve moderadamente/acusadamente reforzado por la concurrencia de dos o más acciones de proyecto.	2
Muy sinérgico	El impacto se ve altamente reforzado por la concurrencia de dos o más acciones de proyecto.	4
PERSISTENCIA (PE)		
Fugaz (menos de 1 año)	El efecto desaparece en cuestión de días.	1
Temporal (1 a 10 años)	Corto plazo: Persiste unos meses, Largo plazo: persiste unos años (<10)	2
Permanente (más de 10 años)	Persistencia superior a diez años	4
EFECTO (EF)		
Directo o primario	La manifestación del efecto no es consecuencia directa de la acción	4
Indirecto o secundario	La repercusión de la acción es consecuencia directa de esta	1
MOMENTO DEL IMPACTO (MO)		
Largo plazo	Ti-To es superior a cinco años	1
Mediano plazo	Ti-To está comprometido entre 1 y 5 años	2
Corto plazo	Ti-To es inferior a un año	4
Crítico	Ti-To aproximadamente igual a cero	(+4)
ACUMULACIÓN (AC)		
Simple	La acción no produce efectos acumulativos	1
Acumulativo	La acción produce efectos acumulativos con otras acciones	4
RECUPERABILIDAD (MC)		
Recuperable de inmediato	Efecto totalmente recuperable de forma inmediata	1
Recuperable a mediano plazo	Efecto totalmente recuperable a medio plazo	2
Mitigable	Efecto parcialmente recuperable o irrecuperable, pero con posibilidad de introducir medidas compensatorias	4
Irrecuperable	Alteración imposible de reparar tanto por la acción natural como por la humana	8
REVERSIBILIDAD (RV)		
Corto plazo	Reversible en cuestión de días o semanas	1
Mediano plazo	Reversible en cuestión de meses	2
Largo plazo	Reversible a largo plazo (en años, <10)	4
Irreversible	Irreversible o reversible después de transcurridos diez años	8
PERIODICIDAD (PR)		
Irregular		1
Periódico		2
Continuo		4

Fuente: Viviana y Rubén Sbarato [30]

La importancia del impacto (IM), se obtiene a partir de la siguiente valoración cuantitativa:

$$IM = [3(I) + 2(EX) + SI + PE + EF + MO + AC + MC + RV + PR]$$

Una vez obtenida la valoración cuantitativa, diremos que:

- Si el IM es mayor que 25 el impacto es compatible.
- Si el IM es mayor a 25 y menor a 50 diremos que es moderado.
- Si el IM es mayor que 50 y menor que 75 diremos que es severo.
- Si el IM es mayor que 75 diremos que es crítico

A continuación, un ejemplo de matriz de valoración de impactos ambientales:

Tabla 10. Matriz de valorización de impactos ambientales

Factores	Acciones			
	A1	A2	...	AN
F1	-32	+/-	+/-	+/-
F2	+/-	-13	-45	-26
...	+/-	+/-	-12	+/-
FN	40	+/-	+/-	-90

Fuente: Viviana y Rubén Sbarato, 2010 [35]

Cabe recalcar que cuando los impactos sean severos o críticos se deberán usar métodos cuantitativos para la interacción acción y factor ambiental considerado.

2.2.7.4. Hojas de campo

Permite registrar y evidenciar de manera visual y objetiva los impactos provocados por la empresa, las hojas de campo se comprenden de recuadros en los que se especifica la ubicación, la procedencia y la descripción del impacto; además de realizar una breve evaluación y presentar posibles soluciones para las mismas. [37]


HOJA DE CAMPO			
NOMBRE DEL PROYECTO			
REGIÓN: PROVINCIA: DISTRITO:		LUGAR DE OCURENCIA:	
<p style="text-align: center;">Figura /0 croquis</p> 		IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO SOBRE EL MEDIO	
		Físico	
		Biológico	
		Socioeconómico y Cultural	
		FASE DEL PROYECTO	
		Construcción	
		Operación	
TIPO DE IMPACTO		Positivo	Negativo
<input type="checkbox"/>	Alto		
	Moderado		
	Ligero		
PROBLEMA AMBIENTAL:			
CAUSAS DEL PROBLEMA AMBIENTAL:			
MEDIDAS PREVENTIVAS,CORRECTIVAS Y/O DE MITIGACIÓN:			

Figura 6. Formato de la hoja de campo

Fuente: H₂Olmos, 2011 [37]

III. RESULTADOS

3.1. Análisis Físicoquímico de aguas residuales

3.1.1. La empresa

La empresa en la que se realiza la investigación fue creada en el año 1993, cuenta con 2 plantas, ambas ubicadas en el distrito de Motupe, departamento de Lambayeque y se encargan de darle tratamiento a los residuos generados por una cervecera para convertirlos en alimento balanceado por medio de procesos de secado y neutralización.

Tabla 11. Plantas de producción, productos y producción en el año 2020 (toneladas)

NOMBRE PLANTA	MATERIA PRIMA	PRODUCTO	PRODUCCIÓN (t)	PARTICIPACIÓN
Motupe	Levadura disuelta en agua	Levadura en polvo	745.55	63%
	Afrecho húmedo	Afrecho seco	248.52	21%
Chitarra	Lodo de filtración	Tierra de diatomea	189.35	16%
TOTAL			1 667,05	100 %

Fuente: Empresa productora de alimento balanceado

Como se observa en la tabla 11, la empresa cuenta con dos plantas, la primera ubicado en Motupe dónde se tiene su sede principal, con oficinas y se elabora el alimento balanceado, además de contar con un espacio para el ganado vacuno; la segunda se encuentra en Chitarra en el que se da tratamiento al afrecho húmedo y al lodo de filtración; adicionalmente cuentan con un terreno ubicado en San Martín el cual es un bosque seco cercado de 27 hectáreas que cuenta con vegetación propia de la zona donde se vierten las aguas ácidas obtenidas del proceso productivo de la levadura en polvo. Cabe recalcar que la empresa comercializa a la levadura en polvo como alimento balanceado; sin embargo, para evitar confusiones en la descripción del proyecto se ha optado por nombrarlas de diferente forma.

La investigación se enfoca en darle tratamiento a los residuos de la levadura en polvo puesto que, de los 3 productos de la empresa este producto abarca el 63% de las ventas. Cabe recalcar que el contrato de la cervecera con la empresa productora de alimento balanceado es renovado anualmente, por ello el procesamiento de los productos se da de forma semiindustrial y

empírica.

Para la producción de la levadura en polvo es necesario que cisternas de 13 toneladas hagan de 2 a 3 viajes diarios desde la cervecera hasta la empresa para satisfacer su demanda; con datos obtenidos a partir de esta se elaboró un cuadro resumen de compras (Tabla 12) y un resumen de ventas (Tabla 13).

Tabla 12. Resumen de compra de levadura disuelta en agua en el 2020

MES	AGUA + LEVADURA (t)	CISTERNAS (und)	PRECIO UNITARIO (S/. por cisterna)	TOTAL COMPRA (S/.)
Enero	1 008,54	78	28,00	2 184,00
Febrero	928,08	72	28,00	2 016,00
Marzo	493,24	38	28,00	1 064,00
Abril	0,00	0	28,00	0,00
Mayo	0,00	0	28,00	0,00
Junio	686,88	53	28,00	1 484,00
Julio	774,60	60	28,00	1 680,00
Agosto	844,35	65	28,00	1 820,00
Setiembre	842,40	65	28,00	1 820,00
Octubre	881,96	68	28,00	1 904,00
Noviembre	903,70	70	28,00	1 960,00
Diciembre	917,32	71	28,00	1 988,00
TOTAL	8 281,07			17 920,00

Fuente: Empresa productora de alimento balanceado

Como se muestra en la tabla 12, en el año 2020 se realizó la compra de 8 281,07 toneladas de levadura disuelta en agua, teniendo en cuenta que a la empresa le cuesta S/. 28,00 cada cisterna de 13 toneladas el costo por la compra de la materia prima en el periodo analizado es de S/. 17 920,00.

Cabe aclarar que a mediados de marzo hasta inicios de junio 2020 la producción de cerveza fue pausada por el estado de emergencia nacional a consecuencia del brote del COVID-19; en el que fueron suspendidas todas las actividades de transporte y producción de bienes no esenciales [38], afectando así directamente a la empresa en la que se realiza esta investigación.

Tabla 13. Resumen de ventas de levadura en polvo en el año 2020

MES	LEVADURA EN POLVO (t)	PRECIO UNITARIO (S/. x t)	TOTAL VENTA (S/.)
Enero	87,74	1 200,00	10 5291,576
Febrero	83,53	1 200,00	10 0232,64
Marzo	45,38	1 200,00	54 453,696
Abril	0,00	1 200,00	0,00
Mayo	0,00	1 200,00	0,00
Junio	60,45	1 200,00	72 534,528
Julio	69,71	1 200,00	83 656,8
Agosto	77,68	1 200,00	93 216,24
Setiembre	73,29	1 200,00	87 946,56
Octubre	81,14	1 200,00	97 368,384
Noviembre	82,24	1 200,00	98 684,04
Diciembre	84,39	1 200,00	101 272,128
TOTAL	745,55		894 656,592

Fuente: Empresa productora de alimento balanceado

De acuerdo con la tabla 13, en el año 2020 se produjeron 745,55 toneladas de levadura en polvo. Es decir, de las 8 281,07 toneladas de levadura disuelta en agua entrante, 7 535,52 toneladas se convirtieron en agua residual y fueron vertidas en el caserío de San Martín. La empresa vende la tonelada de levadura en polvo a S/. 1 200,00; por lo que en el año 2020 las ventas de este producto fueron de S/. 894 656,592.

3.1.2. Proceso productivo de obtención de levadura en polvo

1. Recepción

La levadura proveniente de la cervecera es llevada a las instalaciones de la empresa en Motupe y descargada en una poza de recepción, la cual tiene por función liberar la cisterna para que vuelva a la cervecera a realizar la misma actividad. Se realizan de 2 a 3 viajes por día.

2. Sedimentación

Este proceso se da en las fosas sedimentadoras, dónde se logra la separación en dos fases de la materia prima, ubicándose en la parte superior agua y en la parte inferior la levadura. El proceso dura 3 días por cada fosa de 40 m³.

El agua residual del proceso es retirada por medio de una bomba hacía una cisterna para su posterior eliminación, quedando en el fondo un producto cremoso de consistencia espesa.

La crema de levadura es bombeada a losas que se ubican al nivel del suelo donde se procederá a la eliminación del agua remanente por medio de la evaporación solar. Esta operación en promedio tarda una semana, obteniéndose un sólido de apariencia oscura. (figura 4)

3. Estandarizado

- Picado

Esta etapa tiene por objetivo nivelar el tamaño de los trozos de levadura, lo cual evitará atascos en la siguiente etapa. Esta etapa es realizada cuando la levadura está muy seca.

- Prensado

Esta etapa se da cuando la levadura aún está un poco húmeda, la levadura ingresa a una pequeña prensa para que sea comprimida.

4. Secado

El producto una vez estandarizado es pasado directamente a un secador rotatorio mediante una faja transportadora, donde se reducirá la humedad a niveles aceptables para su venta.

5. Molido

El producto proveniente del estandarizado y secado es triturado hasta lograr un polvo fino, el cual es absorbido por un extractor y enviado a un ciclón del cual se obtendrá un producto uniforme.

6. Envasado y Pesado

El producto final es envasado directamente desde el ciclón por medio de una compuerta manual. Seguidamente se realiza el pesado de cada saco hasta estandarizarlo en 50 kg, posteriormente cada saco es cosido. Los sacos pasan al almacén, para su posterior venta.

Para llevar a cabo el proceso de sedimentación la empresa cuenta con 8 fosas, además posee 4 cisternas las cuales cada una está destinada a una labor específica: transporte de levadura como materia prima desde la cervecera hasta la planta Motupe, transportar el agua ácida desde Motupe hacia San Martín, transporte de lodos de filtración desde la cervecera hacia Chitarra y la última solo se usa en emergencia; cabe recalcar que cada cisterna tiene una capacidad de 13 toneladas.

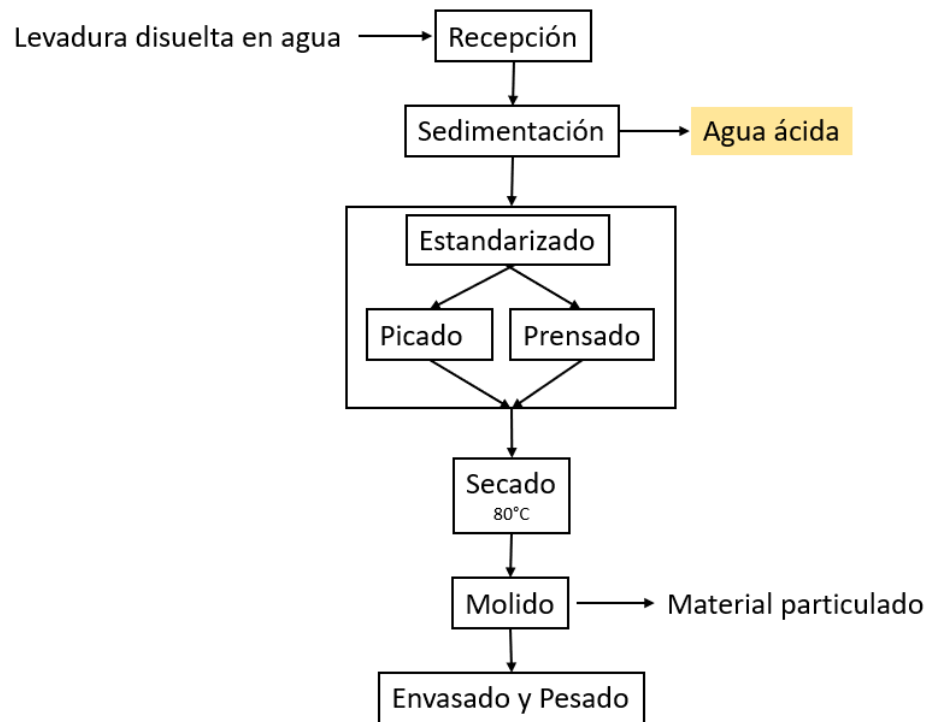


Figura 7. Diagrama de Flujo del proceso productivo de levadura en polvo

Fuente: Empresa productora de alimento balanceado



Figura 8. Crema de levadura seca

3.1.3. Parámetros evaluados en el proceso

A continuación, se muestra un cuadro resumen de la materia prima ingresante, la levadura en polvo obtenida y el agua residual, ello con la finalidad de conocer cuál fue el rendimiento de la levadura en el año 2020 (Tabla 14).

Tabla 14. Rendimiento mensual de levadura en polvo en el año 2020

MES	AGUA + LEVADURA (t)	LEVADURA EN POLVO (t)	AGUA RESIDUAL (t)	RENDIMIENTO
Enero	1 008,54	87,74	920,80	0,087
Febrero	928,08	83,53	844,55	0,090
Marzo	493,24	45,38	447,86	0,092
Abril	0,00	0,00	0,00	0,00
Mayo	0,00	0,00	0,00	0,00
Junio	686,88	60,45	626,43	0,088
Julio	774,60	69,71	704,89	0,090
Agosto	844,35	77,68	766,67	0,092
Setiembre	842,40	73,29	769,11	0,087
Octubre	881,96	81,14	800,82	0,092
Noviembre	903,70	82,24	821,46	0,091
Diciembre	917,32	84,39	832,93	0,092
TOTAL	8 281,07	745,55	7 535,52	0,090

Fuente: Empresa productora de alimento balanceado

De acuerdo con la tabla 14 en el año 2020 de la levadura disuelta en agua ingresante solo el 9% (745,55 toneladas) se convirtió en levadura en polvo, es decir el 91% restante (7 535,52 toneladas) fue desechado en el caserío de San Martín, aproximadamente 25,12 toneladas al día.

Tabla 15. Condiciones de entrada y salida de la levadura disuelta en agua

MES	RECEPCIÓN (Agua + Levadura)		SALIDA (Agua Ácida)	
	pH promedio	Temperatura promedio (°C)	pH promedio	Temperatura promedio (°C)
Enero	5	31	4,5	32
Febrero	6	32	5	32
Marzo	6	33	4	31
Abril	0	0	0	0
Mayo	0	0	0	0
Junio	5,5	26	4,5	27
Julio	6	25	5	25
Agosto	5	24	5	24
Setiembre	6	27	5	27
Octubre	5	27	4	25
Noviembre	6	26	4	27
Diciembre	6	29	5	30

Fuente: Empresa productora de alimento balanceado

Como se observa en la tabla 15, la temperatura de la levadura disuelta en agua recibida por la empresa varía de 24°C a 33°C y la temperatura de salida oscila entre los 24°C a 32°C. Respecto al pH del agua analizada se observa que el promedio de entradas es de 5,65 y debido a que esta se somete a una etapa de sedimentado esta cambia a 4,60.

En la tabla 16 se comparan los parámetros del agua al momento de ingresar a la empresa con lo dictaminado por el DS 003-2002-PRODUCE.

Tabla 16. Comparación de parámetros de entrada con el Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE

PARÁMETRO	RECEPCIÓN DE AGUA + LEVADURA	DS N° 003-2002-PRODUCE
pH	5,65	6-9
Temperatura (°C)	28	35

Fuente: Empresa productora de alimento balanceado

Según con el Ministerio de la Producción [4] como el agua que procesa la empresa productora de alimento balanceado proviene de una cervecera esta debe tener un pH entre 6 - 9 al momento de ser recepcionada, y contar con una temperatura de 35°C; de las muestras analizadas puede afirmarse que en la mayoría de los meses la empresa recibe la levadura disuelta en agua en 28°C. Sin embargo, el pH es relativamente menor al señalado, pero al ser

una empresa encargada de darle tratamiento a los residuos de otra este no se puede corregir al ingreso, a pesar de influir en la salida de pH del agua residual.

3.1.4. Características fisicoquímicas del agua

3.1.4.1. Toma de muestras de agua en la empresa

Como ya se mencionó la empresa productora de alimento balanceado tiene 2 plantas, para este proyecto solo se trabajó con la planta motupe, en la cual aparte de producirse levadura en polvo también se obtiene agua ácida residual proveniente de la etapa de sedimentación para después ser vertidos en otro terreno que posee la empresa en el caserío de San Martín.

Para realizar el análisis físico químico del agua residual, se extrajeron tres muestras de agua residual de las fosas sedimentadoras en unos frascos de vidrio brindados por el laboratorio de EPSEL, dónde se hizo el análisis, los cuales fueron rotulados para distinguirlos y se anotó en ellos la temperatura al momento de recolectar el agua. Cabe señalar que la primera muestra fue usada para determinar los sólidos suspendidos totales y los aceites y grasas, la segunda muestra para determinar el pH y DBO y la última muestra para determinar el DQO.

A continuación, se presenta la tabla 17 con un resumen de los parámetros medidos en las muestras y una comparación con los límites máximos permisibles dictaminados en el DS N° 015-2015-MINAM. Los resultados de los análisis se detallan en el anexo 01.

Tabla 17. Comparación de análisis físico químico de la muestra del agua residual ácida con el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM

PARÁMETROS	AGUA RESIDUAL	DS N° 015-2015-MINAM
DBO ₅ , mg/l	3 400	15
DQO, mg/l	6 200	40
SST, mg/l/h	25	-
Aceites y grasas, mg/l	60	5
pH	4,5	6 – 8,5

De acuerdo con estándares nacionales de calidad ambiental para agua dictaminados por el Ministerio del Ambiente [5] el pH idóneo del agua para el riego y bebida de animales debe ser entre 6 - 8,5. Como el agua residual es desechada en un bosque seco (San Martín), el pH debería ser el mismo que el indicado por el MINAM, no obstante, el pH de la muestra analizada es de

4,5 muy por debajo por lo establecido, además de presentar elevados índices de DBO, DQO, ácidos y grasos y sólidos suspendidos totales.

Bureau Veritas [22] indica que la relación de DBO y DQO se puede determinar mediante el siguiente cálculo:

$$\frac{\text{DBO}}{\text{DQO}} = \frac{3\,400 \text{ mg/l}}{6\,200 \text{ mg/l}} = 0,55$$

La misma fuente afirma que al tener una relación DBO/DQO mayor a 0,4 el vertido debe considerarse biodegradable.

3.2. Evaluación de impacto ambiental en las condiciones actuales de la empresa

En este punto se hizo uso de una metodología que permita la identificación, clasificación e interpretación de los impactos ambientales presentes en la planta Motupe como en el área de vertimiento de residuos ubicada en San Martín.

3.2.1. Aspectos e impactos por actividad

La ISO 14001:2015 define los factores ambientales como aquellos elementos de las actividades, productos o servicios de una organización que interactúan con el medio ambiente; a su vez, considera el impacto ambiental como cualquier cambio en el medio ambiente, tanto negativo como positivo, es decir, los aspectos ambientales de todo o parte del resultado [39]; en otras palabras, los factores ambientales son responsables del impacto ambiental.

Tabla 18. Aspectos e impactos por actividad

ACTIVIDAD	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL
Recepción	Generación de olores	Afectación a la calidad del aire
	Generación de olores	Afectación a la calidad del aire
Sedimentado	Generación de agua residual ácida	Afectación a la calidad del agua
	Afectación a la calidad del suelo	Afectación a la calidad del aire
Estandarizado y Molido	Generación de material particulado	Afectación a la calidad del aire
	Generación de ruidos y vibraciones	Afectación a la calidad del aire
Secado	Generación de gases de combustión	Deterioro de la calidad del aire por emisiones
	Generación de ruidos y vibraciones	Afectación a la calidad del aire
Envasado y pesado	Generación de material particulado	Afectación a la calidad del aire
	Generación de ruidos y vibraciones	Afectación a la calidad del aire
	Generación de olores	Afectación a la calidad del aire
Evacuación de residuos	Afectación de la flora	Afectación de la fauna
	Generación de agua residual ácida	Afectación a la calidad del agua
	Alteración paisajística	Degradación de la calidad del suelo

EMPRESA PRODUCTORA DE ALIMENTO BALANCEADO

3.2.2. Matriz de valorización de impactos

Por otro lado, se realizó la valorización de los impactos de la que se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 19. Matriz de valorización de impactos de la empresa productora de alimento balanceado

FACTORES			ACTIVIDADES							TOTAL	
			Evacuación de levadura disuelta en agua	Recepción de levadura disuelta en agua	Sedimentación	Estandarizado	Secado	Molido	Envasado y pesado		Evacuación de residuos
Medio Físico	Aire	Gases de combustión					-36				-36
		Material particulado				-28		-28	-25		-81
		Ruidos y vibraciones				-37	-31	-37	-31		-136
		Olores residuales	-35	-35	-41					-41	-152
	Agua	Aguas residuales			-48					-66	-114
		Modificación del drenaje superficial			-24					-54	-78
	Suelo	Calidad del suelo			-24					-54	-78
Medio Biológico	Flora	Árboles				-20				-37	-57
		Arbustos				-20				-32	-52
		Hierbas				-20				-32	-52
	Fauna	Aves								-20	-20
		Mamíferos				-20			20	-20	-20
		Insectos								-20	-20
	Paisaje	Alteración paisajística			-24	-24	-24	-24		-24	-120
Cambios en la estructura del lugar				-24	-24	-24	-24	-24	-24	-144	
Medio Socioeconómico	Población	Empleo	24	24	24	24	24	24	24	24	192
		Salud	24	24	24	24	24	24	24	24	192
	Economía	Actividad comercial	24	24	24	24	24	24	24	24	192
		Desarrollo local	24	24	24	24	24	24	24	24	192
TOTAL			61	61	-89	-97	-19	-17	36	-328	-392

Tabla 20. Codificación de la matriz de valorización de impactos

TIPO DE IMPACTO	CÓDIGO	RESTRICCIÓN
Compatible		menor a 25
Moderado		mayor a 25 y menor que 50
Severo		mayor a 50 y menor que 75
Crítico		mayor a 75
Totales		

Fuente: Sbarato, 2010

Como se observa en la tabla 18 hay cuadros en blanco, indicando que no hay relación entre las actividades realizadas y los impactos evaluados [35]. Mediante la matriz de valorización se determinó que los impactos negativos más importantes son la generación de aguas residuales, modificación del drenaje superficial, con respecto a las actividades de sedimentación y evacuación de residuos; por otro lado, se obtuvo que el suelo también se ve afectado por la evacuación de estos residuos.

- **Aire**

Los olores residuales presentes en el ambiente se deben a la levadura disuelta en agua que ingresa como materia prima a la empresa; el olor expedido por este fluido es tan fuerte que puede ser percibido desde los alrededores de la empresa. Del mismo modo ocurre con los gases de combustión provenientes de la etapa de secado, en los que se utiliza un horno a base de carbón. El material particulado se obtiene en su mayoría de las actividades de secado, estandarizado y envasado, si bien los operarios utilizan cubrebocas en las estaciones donde se realizan dichas actividades, esto no quita que siga representando un peligro para la salud.

- **Agua**

Es el medio donde se ubican los impactos negativos más severos, debido a la obtención y manipulación de aguas residuales ácidas. Dichas aguas residuales se obtienen de la etapa de estandarizada y son desechadas en San Martín, provocando un impacto negativo directo sobre el suelo.

- **Suelo**

La calidad de este medio se ve afectado por el vertimiento de las aguas ácidas sin tratar sobre él, provoca además que el suelo que tenga contacto directo y prolongado se erosione.

- **Flora y Fauna**

Estos medios se ven afectados por el agua ácida que es desechada en el terreno de San Martín, la cual llega a quemar las plantas existentes del lugar. Por otro lado, la fauna se ve indirectamente afectada puesto que los animales e insectos de la zona se quedan sin parte de su alimento. Cabe destacar que los gases de combustión también afectan negativamente la calidad de la flora y fauna, pero esto puede ser compensado.

- **Paisaje**

La alteración del paisaje es un efecto indirecto de las operaciones realizadas por la empresa, esto debido a, la evacuación de agua ácida, los gases de combustión, estandarizado, etc. A esto se le añade los problemas ambientales consecuentes como: la erosión y modificación del drenaje superficial.

- **Población y economía**

Se ven beneficiados porque todos los operarios de la empresa son locales, además tienen como socios comerciales a pequeñas empresas de la zona encargadas de la venta del alimento balanceado. A esto se le suma los beneficios del seguro de salud que poseen casi la mitad de los operarios

3.2.3. Hojas de campo

Se hizo uso de hojas de campo puesto que por medio de ellas se puede evidenciar los impactos ambientales presentes en la Planta Motupe y el área de vertedero de residuos en San Martín; en cada hoja de campo se indicó la ubicación, procedencia y descripción del impacto ambiental, problemática ambiental, causas del problema ambiental y la propuesta sobre las posibles soluciones a estas.

Antes de presentar las hojas de campo se debe tomar en consideración la codificación por colores de los impactos ambientales tratados (tabla 19).

Tabla 21. Codificación de impactos ambientales

TIPO DE IMPACTO	CÓDIGO
Positivo alto	
Positivo moderado	
Positivo ligero	
Negativo alto	
Negativo moderado	
Negativo ligero	

HOJA DE CAMPO					
PLANTA MOTUPE					
REGIÓN:	Lambayeque	LUGAR DE OCURRENCIA: Área de producción, etapa de secado y estandarización			
PROVINCIA:	Lambayeque				
DISTRITO:	Motupe				
		IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO SOBRE EL MEDIO			
		<input checked="" type="checkbox"/>	Físico		
			Biológico		
			Socioeconómico y cultural		
			TIPO DE IMPACTO	Positivo	Negativo
			Alto		
			Moderado		
	Ligero		X		
PROBLEMA AMBIENTAL:					
Alteración de la calidad del aire					
CAUSAS DEL PROBLEMA AMBIENTAL:					
- La producción de monóxido de carbono se debe a que el horno utilizado en la etapa de secado funciona a base de carbón vegetal. Ello representa un problema aunque el horno solo sea usado 3 o 4 veces a la semana					
- Producción de material particulado proveniente de las operaciones de picado y prensado					
MEDIDAS PREVENTIVAS, CORRECTIVAS Y/O DE MITIGACIÓN:					
- Cambiar el sistema de carbón del horno por uno de gas natural					
- Instalar un sistema de filtro tanto para el humo producido por el horno como para el material particulado producido					
- Cubrir con lona la maquinaria que produce el material en polvo					

Figura 9. Hoja de campo 01

HOJA DE CAMPO					
PLANTA MOTUPE					
REGIÓN:	Lambayeque	LUGAR DE OCURRENCIA: Área de producción			
PROVINCIA:	Lambayeque				
DISTRITO:	Motupe				
		IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO SOBRE EL MEDIO			
		X	Físico		
			Biológico		
			Socioeconómico y cultural		
			TIPO DE IMPACTO	Positivo	Negativo
			Alto		
			Moderado		
	Ligero		X		
PROBLEMA AMBIENTAL:					
Ruidos y vibraciones					
CAUSAS DEL PROBLEMA AMBIENTAL:					
- Utilización de maquinaria pesada y vieja					
MEDIDAS PREVENTIVAS, CORRECTIVAS Y/O DE MITIGACIÓN:					
- Uso de equipos de protección personal para el ruido los operarios					
- Instalar silenciadores en las máquinas					

Figura 10. Hoja de campo 02


HOJA DE CAMPO					
PLANTA MOTUPE					
REGIÓN:	Lambayeque	LUGAR DE OCURRENCIA: Área de sedimentado			
PROVINCIA:	Lambayeque				
DISTRITO:	Motupe				
		IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO SOBRE EL MEDIO			
		<input checked="" type="checkbox"/>	Físico		
		<input type="checkbox"/>	Biológico		
		<input type="checkbox"/>	Socioeconómico y cultural		
		TIPO DE IMPACTO		Positivo	Negativo
		<input checked="" type="checkbox"/>	Alto		X
<input type="checkbox"/>	Moderado				
<input type="checkbox"/>	Ligero				
PROBLEMA AMBIENTAL:					
Producción de aguas ácidas					
CAUSAS DEL PROBLEMA AMBIENTAL:					
- Debido a que la empresa trabaja con levadura disuelta en agua esta se acidifica al momento de sedimentarse, antes de ser pulverizado y convertirse en alimento balanceado para animales					
- Falta de conocimiento de las leyes ambientales					
MEDIDAS PREVENTIVAS, CORRECTIVAS Y/O DE MITIGACIÓN:					
- Implementación de un sistema de aguas residuales ácidas					
- Utilizar maquinaria más eficiente en la etapa de sedimentado					
- Educar al personal respecto a la legislación ambiental					

Figura 11. Hoja de campo 03


HOJA DE CAMPO					
PLANTA MOTUPE					
REGIÓN:	Lambayeque	LUGAR DE OCURRENCIA: Área de desechos			
PROVINCIA:	Lambayeque				
DISTRITO:	Motupe				
		IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO SOBRE EL MEDIO			
		X	Físico		
			Biológico		
			Socioeconómico y cultural		
		TIPO DE IMPACTO		Positivo	Negativo
			Alto		
			Moderado		X
	Ligero				
PROBLEMA AMBIENTAL:					
- Destrucción directa del suelo al instalar y operar la planta productora de alimento balanceado para animales					
CAUSAS DEL PROBLEMA AMBIENTAL:					
- Al construir la planta de alimento balanceado para animales se tuvo que destruir terreno forestal del distrito de Motupe					
MEDIDAS PREVENTIVAS, CORRECTIVAS Y/O DE MITIGACIÓN:					
- Compensar al distrito mediante operación sostenible de la planta					

Figura 12. Hoja de campo 04


HOJA DE CAMPO					
SAN MARTÍN					
REGIÓN:	Lambayeque	LUGAR DE OCURRENCIA: Área de desechos			
PROVINCIA:	Lambayeque				
DISTRITO:	Motupe				
		IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO SOBRE EL MEDIO			
		<input checked="" type="checkbox"/>	Físico		
		<input type="checkbox"/>	Biológico		
		<input type="checkbox"/>	Socioeconómico y cultural		
		TIPO DE IMPACTO		Positivo	Negativo
		<input checked="" type="checkbox"/>	Alto		X
		<input type="checkbox"/>	Moderado		
<input type="checkbox"/>	Ligero				
PROBLEMA AMBIENTAL:					
Degradación del suelo					
CAUSAS DEL PROBLEMA AMBIENTAL:					
- El agua ácida obtenida a partir del proceso de sedimentada es arrojada en una sección del terreno de San Martín, lo cual provoca que el suelo se vaya degradando.					
- El no contar con sistema de tratamiento para el agua desechada provoca que las plantas propias del terreno mueran y no permitan el crecimiento de otras					
- Falta de conocimiento de las leyes ambientales					
MEDIDAS PREVENTIVAS, CORRECTIVAS Y/O DE MITIGACIÓN:					
- Educar al personal respecto a la legislación ambiental					
- Implementación de un sistema de aguas residuales ácidas antes de que estas sean vertidas en San Martín					
- Utilizar fertilizantes para mejorar la calidad de la tierra disponible en San Martín					

Figura 13. Hoja de campo 05

HOJA DE CAMPO					
SAN MARTÍN					
REGIÓN:	Lambayeque	LUGAR DE OCURRENCIA: Área de desechos			
PROVINCIA:	Lambayeque				
DISTRITO:	Motupe				
		IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO SOBRE EL MEDIO			
			Físico		
		X	Biológico		
			Socioeconómico y cultural		
		TIPO DE IMPACTO		Positivo	Negativo
			Alto		
			Moderado		
	Ligero		X		
PROBLEMA AMBIENTAL:					
Alteración de la flora del lugar					
CAUSAS DEL PROBLEMA AMBIENTAL:					
- El agua ácida obtenida a partir del proceso de sedimentada es arrojada en una sección del terreno de San Martín, lo cual provoca la alteración de la flora del lugar					
- El no contar con sistema de tratamiento para el agua desechada provoca que las plantas propias del terreno mueran y no permitan el crecimiento de otras					
- Falta de conocimiento de las leyes ambientales					
MEDIDAS PREVENTIVAS, CORRECTIVAS Y/O DE MITIGACIÓN:					
- Educar al personal respecto a la legislación ambiental					
- Implementación de un sistema de aguas residuales ácidas antes de que estas sean vertidas en San Martín					
- Utilizar fertilizantes para ayudar con el crecimiento de nuevas plantas					

Figura 14. Hoja de campo 06

HOJA DE CAMPO					
SAN MARTÍN					
REGIÓN:	Lambayeque	LUGAR DE OCURRENCIA: Área de desechos			
PROVINCIA:	Lambayeque				
DISTRITO:	Motupe				
		IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO SOBRE EL MEDIO			
			Físico		
		X	Biológico		
			Socioeconómico y cultural		
			TIPO DE IMPACTO	Positivo	Negativo
			Alto		
			Moderado		
	Ligero		X		
PROBLEMA AMBIENTAL:					
Afectación a la fauna del lugar					
CAUSAS DEL PROBLEMA AMBIENTAL:					
- Al regar arbustos y árboles con agua ácida estos se queman, quitándole el alimento y refugio a algunos animales del bosque					
MEDIDAS PREVENTIVAS, CORRECTIVAS Y/O DE MITIGACIÓN:					
- Educar al personal respecto a la legislación ambiental					
- Implementación de un sistema de aguas residuales ácidas antes de que estas sean vertidas en San Martín					

Figura 15. Hoja de campo 07


HOJA DE CAMPO					
PLANTA MOTUPE					
REGIÓN:	Lambayeque	LUGAR DE OCURRENCIA: Planta Motupe			
PROVINCIA:	Lambayeque				
DISTRITO:	Motupe				
		IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO SOBRE EL MEDIO			
		Físico			
		Biológico			
		X Socioeconómico y cultural			
		TIPO DE IMPACTO	Positivo	Negativo	
		Alto			
Moderado	X				
Ligero					
BENEFICIO SOCIO - AMBIENTAL:					
Mejora de la economía local					
CAUSAS DEL BENEFICIO SOCIO - AMBIENTAL:					
Las actividades de la empresa generan puestos de trabajo, de forma directa e indirecta; ocasionado por la operación de la planta, demanda de mano de obra y servicios, tales como establecimientos de comida, venta de combustible, servicios de luz, agua y maquinaria.					
MEDIDAS PREVENTIVAS, CORRECTIVAS Y/O DE MITIGACIÓN:					
- Mejorar la calidad de los productos ofrecidos por la empresa					

Figura 16. Hoja de campo 08

De las hojas de campo presentadas se puede evidenciar que el impacto negativo más importante tanto en la planta Motupe como en San Martín está relacionado con el agua residual ácida, la primera se encarga de la producción y la segunda de la degradación del suelo producto del vertimiento directo de estas en el terreno de vertedero.

3.3. Elaborar la propuesta de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales ácidas para reutilización

3.3.1. Sistema de tratamiento de aguas residuales

3.3.1.1. Tratamiento primario

Teniendo en cuenta que el agua residual es ácida, y de acuerdo con Herrera y Bernal [7], los sistemas de tratamiento tienen un mejor rendimiento si al ingresar las aguas tienen un pH neutro o cercano a él, es por ello que como tratamiento primario se tiene a la neutralización. Fernández et al, proponen una etapa de electrocoagulación como primera etapa de tratamiento para los efluentes con elevada carga de sólidos suspendidos totales [8]. Sin embargo, el análisis fisicoquímico realizado al agua a trata demostró que los SST son bajos, 25 mg/l, y el DS N° 015-2015-MINAM no establece un valor para este punto se procede a elegir un tanque sedimentador que permita la neutralización y separación sólido-líquido del agua a tratar.

3.3.1.2. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario se encarga de depurar la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual por medio de una serie de procesos biológicos los cuales pueden ser aerobios o anaerobios; el primero caracterizado por la presencia de oxígeno en el proceso y la segunda por la ausencia de esta. Este tratamiento se caracteriza por la utilización de materia orgánica para hacer crecer los microorganismos.

Al tener cubierto el tratamiento primario se procedió a buscar la mejor opción de tratamiento secundario que pueda ser utilizado por la empresa, por ello en los siguientes puntos a tratar en este trabajo se procederá a la elección y desarrollo de este.

3.3.2. Elección del sistema de tratamiento

3.3.2.1. Comparación de los sistemas de tratamiento propuestos

Para realizar la comparación de los sistemas se ha tenido en cuenta los siguientes parámetros: el objetivo del sistema, eficiencia de remoción, tiempo de retención hidráulica, ventajas y desventajas de los sistemas de tratamiento de aguas para efluentes ácidos, ello con el fin de evaluarlos bajo el método de factores ponderados.

Tabla 22. Posibles tratamientos de aguas ácidas para la empresa productora de levadura en polvo

	BIORREACTOR DE MEMBRANA	AFBR	RAFA	FAFA
OBJETIVO	Separar por medio de un reactor biológico los microorganismos responsables de biodegradación del agua tratada y, por otro, la separación física de la biomasa mediante un sistema de filtración hecha con membranas.	Degradar la carga orgánica del agua a tratar por medio de la formación de biopartículas obtenidas a partir del contacto del efluente con el material de relleno. Se adapta mejor a aguas de mayor concentración de carga orgánica.	Tratar a las aguas residuales que ingresan por el fondo y fluyen hacia arriba, una capa de lodo suspendida filtra las aguas, tratándolas al ir atravesándola.	Eliminar la carga orgánica existente en el agua a tratar a través de una capa filtrante plástica o de piedras y la película biológica que se forma sobre la superficie de ellas.
EFICIENCIA DE REMOCIÓN	DBO: 75% DQO: 99% SST: 70%	DBO: 90% DQO: 95% SST: 95%	DBO: 70-91% DQO: 69-82% SST: 63-94%	DBO:85-90% DQO: 75-85% SST: 95%
TIEMPO DE RETENCIÓN	> 24 horas	> 24 horas	20 horas	0,5 - 1,5 días
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> Facilidad de automatización Requiere poco espacio para instalación Excelente calidad del efluente tratado Adaptable para altos volúmenes de agua por tratar 	<ul style="list-style-type: none"> Maneja altas cargas orgánicas Producción de biogás Requiere poca superficie para operar Aplicable a aguas con tóxicos 	<ul style="list-style-type: none"> Alta reducción de la materia orgánica Puede soportar un elevado índice de carga orgánica (hasta 10 kg de DBO/m³/d) y de carga hidráulica. Baja producción de lodos, a los cuales se les debe dar tratamiento antes de disponer de ellos. Se puede usar el biogás como fuente de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> Resistente a cargas de choque orgánicas e hidráulicas No requiere energía eléctrica Puede ser construido y reparado con materiales disponibles localmente Larga vida útil Costos de capital y operación moderados Producción de biogás
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> Elevado costo de instalación, operación y mantenimiento Proceso complejo Requiere de gran consumo energético Ensuciamiento debido a la formación de una capa de lodo, coloides y soluto que se acumulan sobre la superficie de la membrana, impidiendo el comportamiento adecuado de ésta. Necesita mano de obra especializada Exceso de fango 	<ul style="list-style-type: none"> Operación compleja Requiere recirculación del efluente a tratar Supervisión de la velocidad del flujo Supervisión de la producción del biogás, ya que puede causar fraccionamiento y reducción del lecho Necesita mano de obra especializada Alto consumo energético Poca experiencia a escala industrial Puesta en marcha difícil 	<ul style="list-style-type: none"> Es difícil mantener las condiciones hidráulicas adecuadas Tiempo de arranque prolongado El tratamiento puede ser inestable con cargas hidráulicas y orgánicas variables Se requiere una fuente constante de electricidad No todas las piezas y materiales pueden estar disponibles localmente Es necesario que expertos se encarguen del diseño y la supervisión de la construcción 	<ul style="list-style-type: none"> Requiere una fuente constante de agua El efluente requiere tratamiento primario y/o descarga adecuada Baja eliminación de patógenos y nutrientes Requiere diseño y construcción por expertos Largo tiempo de arranque
ESQUEMA				

Fuente: Herrera y Bernal [7], Fernández et al. [8], Ashraf et al. [9], Martins et al. [10], Irnaning et al [11], Arana [24], López et al. [25], Velásco et al. [26], Tchobanoglous et al. [30], Tilley et al. [31], Sasse, L. [40], Comisión Nacional del Agua de México [41]

3.3.2.2. Ponderación

1. Desarrollar una lista de factores relevantes

Se tomará en cuenta los siguientes factores, según Bureau Veritas [22]

- Tiempo de retención del agua residual: Tiempo que le tomará al agua residual para salir del sistema de tratamiento bajo condiciones óptimas.
- Área mínima
- Bajo consumo de energía
- Disponibilidad de tecnología
- Operación sencilla de confianza: el sistema deberá ser sencillo de usar y fácil de dar mantenimiento.
- Efluente final uniforme y de alta calidad
- Eficiencia de tratamiento / remoción: puesto que se pretende aumentar el pH del agua residual a al menos 6, se evalúa qué tan bueno es el sistema para remover el DBO, DQO Y SST presentes.
- Inversión: En este parámetro se evaluarán y contrastarán los 3 sistemas propuestos, considerando los costos de implementación, operativos y energéticos.
- Mantenimiento sencillo

2. Asignar un peso a cada factor para reflejar su importancia relativa en los objetivos de la empresa

En este paso se procederá a enfrentar cada uno de los factores, ello con el fin de determinar el peso y la importancia que tiene cada uno con respecto a los demás factores.

- Al compararse dos factores, se asigna 1 al factor más importante y 0 al menos importante
- Si ambos factores son igual de importantes, entonces se asignará un valor de 1 a ambos factores
- Al extremo derecho se contabilizarán puntos por cada factor y se evaluará el porcentaje correspondiente, asignando así un peso a cada factor.

Tabla 23. Factores ponderados

FACTORES	A	B	C	D	E	F	G	H	I	TOTAL	%
A	X	0	0	1	0	0	1	1	1	4	8%
B	1	X	0	0	0	1	0	0	1	3	6%
C	1	1	X	1	0	1	1	1	1	7	15%
D	1	1	1	X	0	1	1	0	1	6	13%
E	0	0	0	1	X	1	1	1	1	5	10%
F	1	1	1	0	0	X	1	0	0	4	8%
G	1	1	1	0	0	1	X	1	0	5	10%
H	1	1	1	1	1	1	1	X	1	8	17%
I	1	1	1	1	0	1	1	0	X	6	13%
TOTAL	7	6	5	5	1	7	7	4	6	48	100%

Tabla 24. Leyenda

Leyenda	
A	Tiempo de retención del agua residual
B	Área mínima
C	Bajo consumo de energía
D	Disponibilidad de tecnología
E	Operación sencilla de confianza
F	Efluente final uniforme y de alta calidad
G	Eficiencia de tratamiento / remoción
H	Inversión
I	Mantenimiento sencillo

Por lo tanto, la tabla indica que los factores más importantes a tener en cuenta para la elección del tratamiento son: Inversión, bajo consumo de energía, mantenimiento sencillo y disponibilidad de la tecnología.

3. Establecer escala

En este punto se procederá a crear una escala con la que se puedan evaluar cada uno de los factores mencionados en el anterior punto; cabe recalcar que los valores asignados son a criterio de la autora. Se debe tener en cuenta que la mayor calificación se le dará al factor que guarde una mayor relación con las características de cada tratamiento evaluado; a mayor relación entre factor y tratamiento mayor será la calificación otorgada.

Tabla 25. Escala de valores

ESCALA	NIVEL
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo

4. Clasificación de los sistemas de tratamiento analizados

A partir del puntaje mostrado en la tabla anterior se procede a dar la calificación respectiva a los factores ponderados para cada uno de los tratamientos evaluados que se podrían utilizar en esta investigación.

Tabla 26. Selección del sistema de tratamiento de aguas residuales

Factor de selección de tratamiento de aguas residuales	% de importancia	Biorreactor de Membrana (MBR)		Reactor Anaerobio Lecho Fluidizado (AFBR)		Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA)		Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)	
		Escala	Puntaje	Escala	Puntaje	Escala	Puntaje	Escala	Puntaje
A	8%	4	0,33	4	0,33	5	0,42	3	0,25
B	6%	5	0,31	4	0,25	2	0,13	3	0,19
C	15%	2	0,29	3	0,44	2	0,29	5	0,73
D	13%	2	0,25	2	0,25	4	0,50	4	0,50
E	10%	3	0,31	2	0,21	2	0,21	4	0,42
F	8%	3	0,25	3	0,25	4	0,33	3	0,25
G	10%	4	0,42	5	0,52	3	0,31	3	0,31
H	17%	1	0,17	2	0,33	2	0,33	4	0,67
I	13%	1	0,13	2	0,25	2	0,25	4	0,50
TOTALES	100%		2,46		2,83		2,77		3,81

Habiendo analizado los factores más relevantes para la investigación y teniendo en cuenta los resultados de la ponderación realizada, la solución para el tratamiento de aguas residuales ácidas para a empresa productora de levadura en polvo es el filtro anaerobio de flujo ascendente.

A. Tiempo de retención: El RAFA posee el mejor tiempo de retención del efluente, seguido por los MBR y el AFBR, teniendo los tres tiempos menores a un día. Sin embargo, debido a los volúmenes de agua residual manejados por la empresa cualquiera de los cuatro sistemas evaluados puede dar tratamiento ininterrumpidamente. [7] [8] [9] [10] [11]

B. Área mínima: Respecto a este rango, el RAFA es quien tiene el peor puntaje debido a que su reactor ocupa una gran extensión de terreno; por otro lado, el sistema MBR y el AFBR no ocupan mucha superficie, pero si ocupan altura para que el efluente sea tratado y las bombas sean adecuadas y el FAFA tienen un puntaje de 3 por sus componentes y el número de cámaras necesarias para el procesamiento de las aguas residuales. [7] [10] [11] [24]

C. Bajo consumo de energía: El FAFA no consume energía eléctrica puesto que sus operaciones se realizan por gravedad, los reactores MBR, AFBR y el RAFA emplean sistemas eléctricos para su funcionamiento [7] [8] [9] [10] [11].

D. Disponibilidad de Tecnología: El FAFA es el sistema más sencillo de adquirir, debido a que su construcción depende de la necesidad a la industria en la que se disponga. El caso del AFBR y MBR es más compleja su obtención debido a que no tiene una gran demanda para industrias pequeñas, a pesar de que ambas han empezado a tener mayor popularidad en países asiáticos y en Europa. Por otro lado, el RAFA es ampliamente conocido por su uso en la industria cervecera y su disposición no implica gran complejidad [7] [8] [9] [10] [11].

E. Operación sencilla y de confianza: Todos los sistemas propuestos deben ser manejados por profesionales que vigilen su correcta operación. Sin embargo, el AFBR requiere mayor cuidado en la recirculación del flujo y el RAFA necesita control constante en el mezclado mecánico en el reactor; sin embargo, el FAFA requiere un menor cuidado por parte del personal [25] [31] .

F. Efluente final uniforme y de alta calidad: El sistema con mayor puntaje en este apartado es el RAFA, ya que de este proceso se obtiene biogás y un efluente muy bien tratado. Sin embargo, se recomienda dar tratamiento a los lodos provenientes de este sistema antes de disponer de ellos [7] [10] [24]. El MBR obtiene un 3 debido a que si bien los efluentes obtenidos

presentan una excelente calidad no se obtiene otro subproducto que se pueda utilizar [9] [7]. Del AFBR se obtiene un tres porque se obtiene biogás que puede ser utilizado, pero también se debe tener un gran cuidado de el reingreso del flujo al sistema porque ocurrir un lavado de la masa bacteriana [8] [28] [29]. El FAFA también obtiene un tres debido a que si bien se produce biogás la calidad del efluente no es tan elevada como los otros sistemas comparados. [11] [31]

G. Eficiencia de tratamiento / remoción: En este factor del sistema AFBR recibe un puntaje de 5 ya que logra remover casi toda la carga orgánica del efluente tratado [10]. Los sistemas MBR y EL RAFA obtuvieron un 4 puesto que tienen alta eficiencia de remoción [7] [9]. Por otro lado, el FAFA reciben una puntuación de 3 debido a que no posee valores de remoción tan elevados como los otros tres sistemas [11].

H. Inversión: Los costos de inversión, operación y mantenimiento del MBR, AFBR y RAFA son elevados, además de los costos de consumo energético y mano de obra especializada para el manejo del sistema eléctrico [7] [8] [10]; el FAFA presenta una tecnología más sencilla y no utiliza energía eléctrica para funcionar por ello es más barata, no obstante, el costo de instalación puede ser un poco costoso debido a la construcción de los tanques y el filtro en sí [41].

I. Mantenimiento sencillo: El mantenimiento de los sistemas de MBR, AFBR y RAFA debe ser realizado por un experto, en el caso de las membranas estas deben ser completamente reemplazadas cada cierto tiempo y en el AFBR se debe tener cuidado con el taponamiento del material de relleno [24] [27] [28]. El FAFA requiere un mantenimiento simple, solo se debe limpiar periódicamente el sistema. [31]

3.3.3. Diseño del sistema de tratamiento de aguas ácidas

3.3.3.1. Pronóstico de aguas residuales de la empresa

Para el diseño del sistema de tratamiento de aguas ácidas, se tuvo como primer paso el pronóstico de efluente que se obtendría de la empresa productora de levadura en polvo en los próximos cinco años; para lo cual se tomó en cuenta el comportamiento trimestral de la generación de aguas residuales en la empresa.

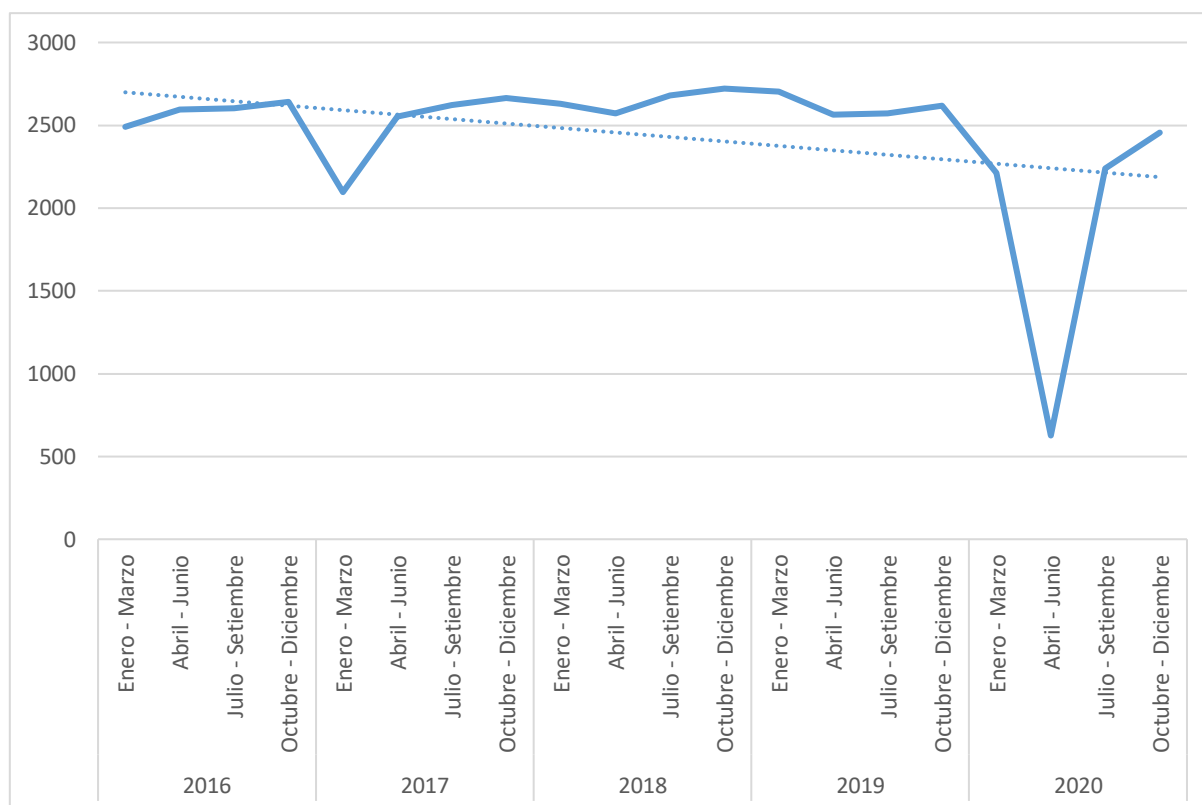


Figura 17. Comportamiento trimestral de las aguas residuales generadas

Como se visualiza en la figura la tendencia respecto a la generación de agua residuales hay un descenso en la primera mitad del año 2017 debido a la baja producción de la cervecera por las condiciones climáticas en dicho periodo; adicionalmente en el periodo Abril – Junio 2020 estas aguas vuelven a descender drásticamente debido al paro de producción de cerveza esto a causa del Estado de Emergencia Nacional a consecuencia del brote del COVID-19, especificado en el DS N° 044-2020-PCM [38].

En la tabla 27 se muestran las cantidades de aguas residuales generadas por la empresa productora de levadura en polvo en los últimos cinco años, en la que se demuestra a detalle los volúmenes de efluentes trimestrales y anuales.

Tabla 27. Agua residual generada en el periodo 2016 – 2020

AÑO	TRIMESTRE	PRODUCCIÓN	AGUA RESIDUAL	EFLUENTES TOTALES (t)
2016	Enero - Marzo	246,31	2 490,47	10 330,18
	Abril - Junio	250,46	2 595,68	
	Julio - Setiembre	257,37	2 602,30	
	Octubre - Diciembre	261,27	2 641,73	
2017	Enero - Marzo	202,33	2 096,87	9 935,82
	Abril - Junio	252,55	2 553,57	
	Julio - Setiembre	259,27	2 621,51	
	Octubre - Diciembre	263,46	2 663,87	
2018	Enero - Marzo	259,06	2 630,78	10 603,68
	Abril - Junio	258,49	2 571,87	
	Julio - Setiembre	260,73	2 679,48	
	Octubre - Diciembre	272,48	2 721,55	
2019	Enero - Marzo	269,42	2 701,57	10 454,27
	Abril - Junio	255,46	2 562,68	
	Julio - Setiembre	250,17	2 572,14	
	Octubre - Diciembre	260,03	2 617,88	
2020	Enero - Marzo	216,65	2 213,21	7 535,52
	Abril - Junio	60,45	626,43	
	Julio - Setiembre	220,68	2 240,67	
	Octubre - Diciembre	247,77	2 455,21	

En la siguiente tabla se muestra la proyección trimestral del efluente de la empresa en los próximos cinco años, dicha proyección se realizó con la ayuda del software Excel. De acuerdo con la tabla para el primer año proyectado, año 2021, el efluente será de 10 634,67 toneladas y para el 2025 será de 8 909,12 toneladas.

Tabla 28. Proyección del efluente en los próximos 5 años

AÑO	TRIMESTRE	AGUA RESIDUAL	EFLUENTES TOTALES (t)
2021	Enero - Marzo	265,17	10 634,67
	Abril - Junio	262,65	
	Julio - Setiembre	260,13	
	Octubre - Diciembre	257,61	
2022	Enero - Marzo	255,09	10 203,28
	Abril - Junio	252,57	
	Julio - Setiembre	250,05	
	Octubre - Diciembre	247,52	
2023	Enero - Marzo	245,00	9 771,89
	Abril - Junio	242,48	
	Julio - Setiembre	239,96	
	Octubre - Diciembre	237,44	
2024	Enero - Marzo	234,92	9 340,51
	Abril - Junio	232,40	
	Julio - Setiembre	229,87	
	Octubre - Diciembre	227,35	
2025	Enero - Marzo	224,83	8 909,12
	Abril - Junio	222,31	
	Julio - Setiembre	219,79	
	Octubre - Diciembre	217,27	

3.3.3.2. Balance de materia

Después de haber realizado el pronóstico de las aguas residuales para los próximos 5 años se procedió a realizar el balance de materia para cada etapa en el sistema de tratamiento de aguas ácidas elegido, para poder determinar la disminución de los parámetros en las aguas residuales de la empresa productora de levadura en polvo. La cantidad de agua a tratar por el sistema elegido se basa en la proyección hecha para el 2021, ya que es el de mayor demanda (tabla 28) y considerando los 300 días que trabaja la empresa, el efluente a tratar es de 35 448,90 l/día, la cual será la base para el balance de materia.

$$\frac{10\ 634,67\ \text{t}}{\text{año}} * \frac{1\ \text{año}}{300\ \text{días}} * \frac{1\ 000\ \text{l}}{1\ \text{t}} = 35\ 448,90\ \frac{\text{l}}{\text{día}}$$

- **Neutralización**

Este proceso se llevará a cabo dentro de las fosas sedimentadoras, después de haber extraído la crema de levadura y se dejará reposar por una hora antes de que esta ingrese al sistema de tratamiento. Como se demostró en el análisis del agua residual realizado

por EPSEL S.A el pH del efluente es de 4,50 por ello se agregará cal diluida en agua al efluente con la finalidad de neutralizar el pH.

De acuerdo con Calvo et al. [42] realizaron un estudio del tratamiento de las aguas ácidas por medio de la neutralización, en el que determinaron que para llevar 60 litros de agua ácida de pH 4,32 a 6 se requieren 0,2 g cal, con un tiempo de espera de 4 minutos.

$$\frac{0,2 \text{ g cal}}{60 \text{ l}} * \frac{35 \ 448,90 \text{ l}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ kg}}{1 \ 000 \text{ g}} = 0,12 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$\frac{4 \text{ min}}{60 \text{ l}} * \frac{35 \ 448,90 \text{ l}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 1,64 \text{ días}$$

Entonces, para lograr que el agua ácida de pH 4,5 ascienda a un valor de 6 se deberían añadir 0,12 kilogramos de cal por día, teniendo que reposar 1,64 días en el tanque neutralizador.

De acuerdo con el mismo estudio se determina que de la mezcla del agua ácida con la cal utilizada para neutralizarla se obtiene un 24% de lodo. Teniendo en cuenta que el efluente a tratar posee solo un mínimo de levadura sobrante del proceso productivo se asume el valor de la densidad del agua para el cálculo de lodos generados.

$$\frac{35 \ 448,90 \text{ l}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ kg}}{1 \text{ l}} = 35 \ 448,90 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$\frac{35 \ 448,90 \text{ kg}}{\text{día}} + \frac{0,12 \text{ kg}}{\text{día}} = 35 \ 449,02 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$35 \ 449,02 \text{ kg/día} \longrightarrow 100\%$$

$$x \longrightarrow 24\%$$

$$x = 8 \ 507,75 \text{ kg/día}$$

Entonces, de los 35 448,90 l/día se obtienen 8 524,75 kg de lodos al día, siendo 26 941,25 litros los que se trataran en las cámaras del FAFA.

Según Botina, Marmolejo y Torres [43] el lodo tiene una composición de H₂O al 80% y el 20% restante está conformado por sólidos.

$$\text{Sólido} = 8\,507,25 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 0,2 = 1\,701,55 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 8\,507,25 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 0,8 = 6\,806,21 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

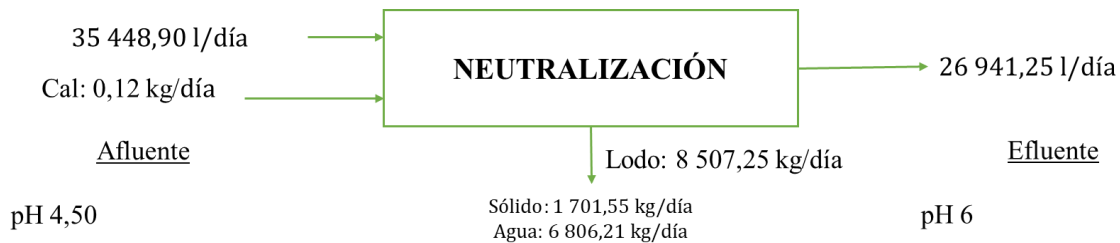


Figura 18. Balance de materia, neutralización

- **Filtración de flujo ascendente 1**

La purificación del agua por filtración es la etapa más importante del sistema, esta operación se realiza en una cámara en la que el filtro será constituido por piedra de diferentes dimensiones, según Tinoco y Espinoza-Correa [44] las eficiencias de remoción fueron:

- ✓ 82% para DQO
- ✓ 84% para DBO
- ✓ 71,7% para SST

Debido a que el agua a tratar posee elevados niveles de DBO y DQO, y proviene de un proceso de neutralización, solo se hizo uso de esta para el ingreso y funcionamiento del sistema de tratamiento. Teniendo ello en cuenta, la producción de lodos fue baja ya que solo contaba con los 25 mg/l de SST presentes en el afluente.

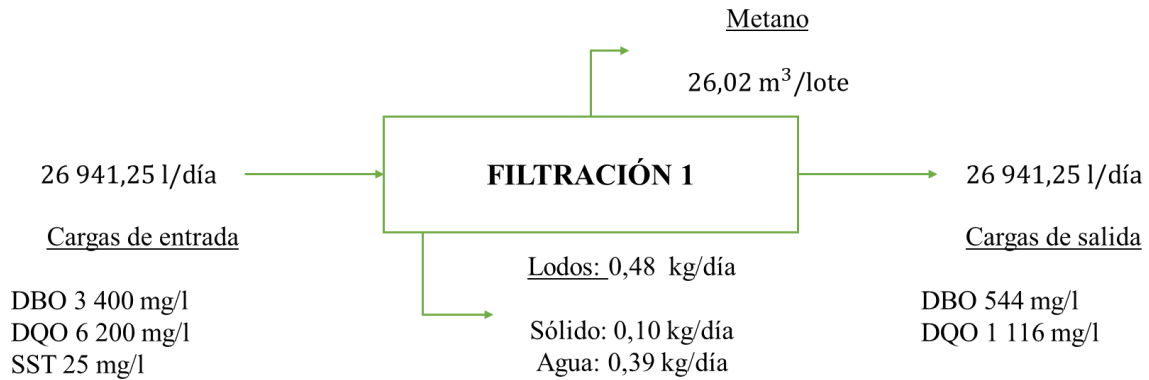


Figura 19. Balance de materia, filtración 1

A continuación, se muestran los porcentajes de remoción de cada uno de los parámetros evaluados:

$$\text{DBO} = \left(3\,400 \frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) (0,16)$$

$$\text{DBO} = 544 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

$$\text{DQO} = \left(6\,200 \frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) (0,18)$$

$$\text{DQO} = 1\,116 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

$$\text{SST} = \left(25 \frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) (0,293)$$

$$\text{SST} = 7,08 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

La producción de lodos depende de la cantidad de sólidos suspendidos totales encontrados en el agua a tratar. Se obtuvo en consideración los 25 mg/l de SST ingresante y los 7,08 mg/l de SST que pasan a la siguiente cámara; es decir se obtuvieron 0,48 kg de lodos en la primera cámara. Según Botina, Marmolejo y Torres [32] el lodo tiene una composición de H₂O al 80% y el 20% restante está conformado por sólidos.

$$25 \text{ mg/l} - 7,08 \text{ mg/l} = 17,92 \text{ mg/l}$$

$$\frac{26\,941,25 \text{ l}}{\text{día}} * \frac{17,92 \text{ mg}}{\text{l}} * \frac{1 \text{ kg}}{1\,000\,000 \text{ mg}} = 0,48 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$\text{Sólido} = 0,48 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 0,2 = 0,10 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 0,48 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 0,8 = 0,39 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

De acuerdo con Lettinga, et al., [45] la producción específica promedio de metano es de 0,19 m³ por cada kilogramo de DQO removido.

$$6\,200 \text{ mg/l} - 1\,116 \text{ mg/l} = 5\,084 \text{ mg/l}$$

$$\frac{26\,941,25 \text{ l}}{\text{día}} * \frac{5\,084 \text{ mg}}{\text{l}} * \frac{1 \text{ kg}}{1\,000\,000 \text{ mg}} = 136,97 \frac{\text{kg de DQO removido}}{\text{día}}$$

$$136,97 \frac{\text{kg de DQO removido}}{\text{día}} * \frac{0,19 \text{ m}^3}{\text{kg de DQO día}} = 26,02 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

De la primera cámara de filtrado se obtendrán 26,02 m³ de metano por día, obtenidos a partir de 26 995,05 litros de agua tratada, los cuales serán capturados en un gasómetro para que pueda ser aprovechado por la empresa.

- **Filtración de flujo ascendente 2**

Debido a que la carga orgánica en el agua sigue siendo muy alta se optó por una segunda etapa de filtrado con el mismo material de la primera cámara por lo cual los porcentajes de remoción serán los mismos.

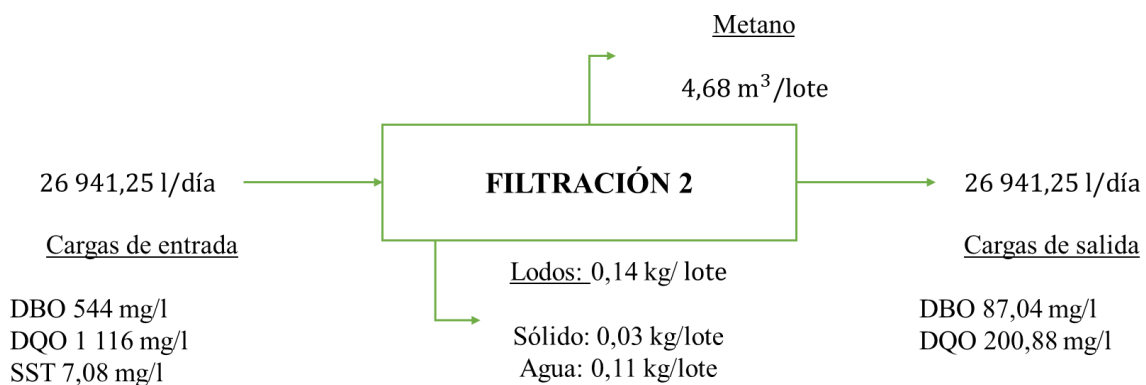


Figura 20. Balance de materia, filtración 2

Los cálculos realizados son los siguientes:

$$\text{DBO} = \left(544 \frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) (0,16)$$

$$\text{DBO} = 87,04 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

$$\text{DQO} = \left(1\,116 \frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) (0,18)$$

$$\text{DQO} = 200,88 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

$$\text{SST} = \left(7,08 \frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) (0,293)$$

$$\text{SST} = 2 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Una vez obtenidos los valores de remoción, se procedió a calcular la cantidad de lodos producidos por la segunda cámara de filtrado, de la que se obtuvieron 0,14 kg de lodo. Según Botina, Marmolejo y Torres [32] el lodo tiene una composición de H₂O al 80% y el 20% restante está conformado por sólidos.

$$7,08 \text{ mg/l} - 2 \text{ mg/l} = 5,07 \text{ mg/l}$$

$$\frac{26\,941,25 \text{ l}}{\text{día}} * \frac{5,08 \text{ mg}}{\text{l}} * \frac{1 \text{ kg}}{1\,000\,000 \text{ mg}} = 0,14 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$\text{Sólido} = 0,14 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 0,2 = 0,03 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 0,14 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 0,8 = 0,11 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Asimismo, se hicieron los cálculos respectivos para el conocer la cantidad de metano producido por la segunda cámara de filtrado del FAFA.

$$1\,116 \text{ mg/l} - 200,88 \text{ mg/l} = 915,12 \text{ mg/l}$$

$$\frac{26\,941,25 \text{ l}}{\text{día}} * \frac{915,12 \text{ mg}}{\text{l}} * \frac{1 \text{ kg}}{1\,000\,000 \text{ mg}} = 24,65 \frac{\text{kg de DQO removido}}{\text{día}}$$

$$24,65 \frac{\text{kg de DQO removido}}{\text{día}} * \frac{0,19 \text{ m}^3}{\text{kg de DQO removido}} = 4,68 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

De la segunda cámara de filtrado se obtendrán 4,68 m³ de metano por cada lote de 26 941,25 litros de agua tratada.

- **Filtración de flujo ascendente 3**

Al tener los parámetros de calidad muy elevados se realiza un tercer filtrado con el mismo material que en las otras dos cámaras

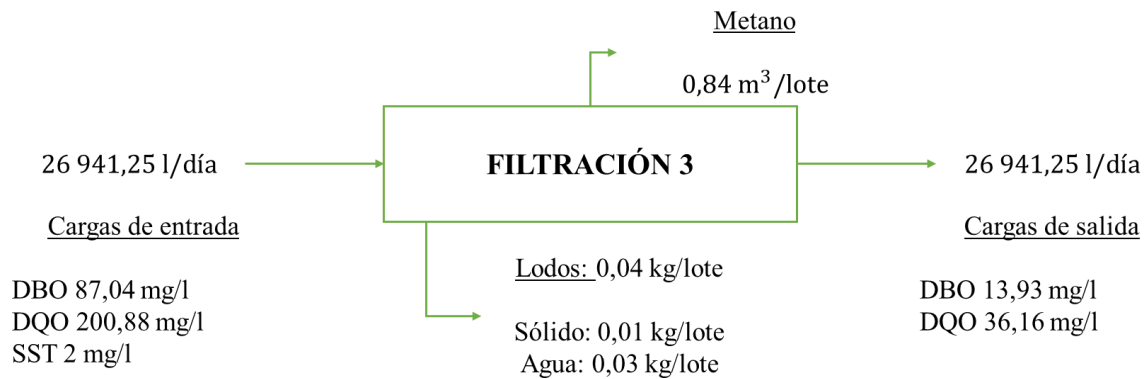


Figura 21. Balance de materia, filtración 3

Los cálculos realizados son los siguientes:

$$DBO = \left(87,04 \frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) (0,16)$$

$$DBO = 13,93 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

$$DQO = \left(200,88 \frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) (0,18)$$

$$DQO = 36,16 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

$$SST = \left(2 \frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) (0,293)$$

$$SST = 0,57 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Una vez obtenidos los valores de remoción, se procedió a calcular la cantidad de lodos producidos por la tercera cámara de filtrado, de la que se obtuvieron 0,04 kg de lodo. Según Botina, Marmolejo y Torres [32] el lodo tiene una composición de H₂O al 80% y el 20% restante está conformado por sólidos.

$$2 \text{ mg/l} - 0,57 \text{ mg/l} = 1,43 \text{ mg/l}$$

$$\frac{26\,941,25\text{ l}}{\text{día}} * \frac{1,43\text{ mg}}{\text{l}} * \frac{1\text{ kg}}{1\,000\,000\text{ mg}} = 0,04 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$\text{Sólido} = 0,04 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 0,2 = 0,01 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 0,04 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 0,8 = 0,03 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Asimismo, se hicieron los cálculos respectivos para conocer la cantidad de metano producido por la tercera cámara del FAFA.

$$200,88\text{ mg/l} - 36,16\text{ mg/l} = 164,72\text{ mg/l}$$

$$\frac{26\,941,25\text{ l}}{\text{día}} * \frac{164,72\text{ mg}}{\text{l}} * \frac{1\text{ kg}}{1\,000\,000\text{ mg}} = 4,44 \frac{\text{kg de DQO removido}}{\text{día}}$$

$$4,45 \frac{\text{kg de DQO removido}}{\text{lote}} * \frac{0,19\text{ m}^3}{\text{kg de DQO removido}} = 0,84 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

De la segunda cámara de filtrado se obtendrán 0,84 m³ de metano por cada lote de 26 941,25 litros de agua tratada.

La cantidad total de lodos obtenidos desde la etapa de tratamiento primario asciende a 8 508,42 kg por cada lote de 26 995,05 litros de agua tratada y 31,55 m³ de metano por cada lote de la misma cantidad.

$$\frac{8\,507,76\text{ kg}}{\text{día}} + \frac{0,48\text{ kg}}{\text{día}} + \frac{0,14\text{ kg}}{\text{día}} + \frac{0,04\text{ kg}}{\text{día}} = 8\,508,42 \frac{\text{kg de lodo}}{\text{día}}$$

$$\frac{26,02\text{ m}^3}{\text{día}} + \frac{4,68\text{ m}^3}{\text{día}} + \frac{0,84\text{ m}^3}{\text{día}} = 31,55 \frac{\text{m}^3\text{ metano}}{\text{día}}$$

3.3.3.3. Comparación de parámetros finales con DS N° 015-2015-MINAM

En la tabla 29 se resume y compara los parámetros evaluados en el proceso después de haberlos sometido al sistema de tratamiento de aguas elegido con los valores máximos admisibles dados por el DS N° 015-2015-MINAM. Por otro lado, en la tabla 30 se presentan los porcentajes de remoción de los parámetros evaluados, en el que se observan que el uso de la neutralización como tratamiento primario sumado al FAFA como tratamiento secundario da valores por debajo de lo establecido en los límites del MINAM, siendo apropiado su uso para el riego de plantas de tallo bajo.

Tabla 29. Comparación del agua tratada con el DS N° 015-2015-MINAM

Parámetros	Agua residual	DS N° 015-2015-MINAM
DBO ₅ , mg/l	13,93	15
DQO, mg/l	36,16	40
SST, mg/l	0,57	-
pH	6	6 – 8,5

Tabla 30. Porcentaje de remoción de los parámetros evaluados

Parámetros	Agua residual al ingreso	Agua residual al salir	Porcentaje de remoción (%)
DBO ₅ , mg/l	3 400	13,93	99.59
DQO, mg/l	6 200	36,16	99.42
SST, mg/l	25	0,57	97.73
pH	4,5	6	

3.3.3.4. Consideraciones y dimensionamiento del sistema de tratamiento

Un sistema de tratamiento de aguas residuales es definido como el conjunto de operaciones unitarias, ya sean de tipos físico, químico o la combinación de estas con el objetivo de reducir o eliminar las características no deseadas del agua y se puedan adecuar al nuevo uso que se les vaya a dar.

Por lo general, para conseguir agua tratada se sigue la siguiente secuencia: tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario. El efluente para tratar proviene de la sedimentación necesaria para la elaboración de alimento balanceado, la operación se da en las fosas sedimentadoras (figura 22) y las aguas residuales ácidas obtenidas hoy por hoy son

desechadas en el terreno de la empresa ubicado en San Martín. Se propone como tratamiento primario a la neutralización, que se daría en una fosa sedimentadora similar a las que ya usa la empresa. El tratamiento secundario también denominado tratamiento biológico es clave dentro del sistema propuesto, debido a que las aguas a tratar tienen una elevada carga orgánica.



Figura 22. Fosas de sedimentación



Figura 23. Crema de levadura

A. Tanque neutralizador

Como ya se mencionó, el proceso inicia con una etapa de neutralización y será diseñado en base a la proyección del agua ácida hacia el 2021, es decir 35 448,90 l/día, en el que se agregarán 0,12 kg cal/día para hacer que el pH ascienda a 6; generando así 8 507,76 kg de lodos/día y se quedará por al menos 1,64 días. Se harán uso de dos fosas para satisfacer la demanda, y se proyecta realizar la remoción de los lodos al menos una vez a la semana en cada tanque, y teniendo en cuenta que la empresa solo trabaja 6 días, la cantidad de lodo por tanque es de 25 523,2 kg. Los lodos sumados al agua por tratar del día ascienden a 60 972,18 litros.

$$\frac{8\,507,76\text{ kg}}{\text{día}} * \frac{3\text{ días}}{1\text{ semana}} = \frac{25\,523,28\text{ kg}}{\text{semana}}$$

$$\frac{35\,448,90\text{ l}}{\text{día}} + \frac{1\text{ l}}{1\text{ kg}} * \frac{25\,523,28\text{ kg}}{1\text{ semana}} = \frac{60\,972,18\text{ l}}{\text{semana}}$$

$$\frac{60\,972,18\text{ l}}{\text{semana}} * \frac{0,001\text{m}^3}{1\text{ l}} = \frac{60,97\text{ m}^3}{\text{semana}}$$

Teniendo en cuenta la demanda mínima de espacio de 60,97 m³/ semana, las dimensiones de cada tanque neutralizador será:

- ✓ Volumen: 65 m³
- ✓ Largo: 5 m
- ✓ Ancho: 5 m
- ✓ Alto: 2,6 m

B. Tanque receptor de entrada

De acuerdo con Cisneros [46] los filtros anaerobios generalmente operan en modo de flujo ascendente, ya que así hay menos riesgo de que se lave la biomasa fija. Generalmente antes de la etapa de filtrados se tiene un compartimiento integrado para el asentamiento. De acuerdo con Tilley el FAFA es conveniente para aquellos lugares que no cuentan con mucho terreno disponible, ya que esta tecnología suele ser instalada bajo tierra y requiere una pequeña área [31], al tener 26 995,05 litros de agua proveniente de la etapa anterior al día, se decide que el tanque receptor tendrá una capacidad para 30 m³/día. Por consiguiente, las dimensiones para el tanque receptor serían:

- ✓ Volumen: 30 m³

- ✓ Largo: 3 m
- ✓ Ancho: 4 m
- ✓ Alto: 2,5 m

Cabe recalcar que a este tanque ingresará el agua ácida por medio de un tubo pvc de 3/4 de pulgada de diámetro, puesto que la empresa ya dispone de mangueras del mismo tamaño; las cuales son usadas para trasladar el agua ácida de las fosas hacia los camiones cisterna. Cabe recalcar que al ser un proceso anaerobio y estar bajo la tierra todo el sistema debe contar con pequeñas tapas removibles para su limpieza.

C. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

El filtro anaerobio en sí es un reactor biológico de lecho fijo con una o más cámaras de filtración en serie que puede ser utilizado para tratamiento secundario con el fin de reducir el índice de carga orgánica. El funcionamiento del sistema es el siguiente: las aguas residuales atraviesan el medio filtrante donde las partículas quedan atrapadas, y la materia orgánica del afluente se degradada gracias a la biomasa activa encontrada dentro del material del filtro.

La primera cámara del sistema se compone por el tubo de 3/4 de pulgada de diámetro por la parte inferior por dónde ingresa el agua desde el tanque receptor hacia la primera cámara; el bordo libre por dónde sale el biogás y espuma, un tubo de 3/4 de pulgada que dirige el agua filtrada hacia la siguiente cámara, el medio filtrante, una losa perforada que funciona como un falso fondo para sostener y separar el medio filtrante del agua ingresante, por último el dren de lodos, ubicado debajo del falso fondo. Lo anterior descrito se visualiza en la siguiente figura.

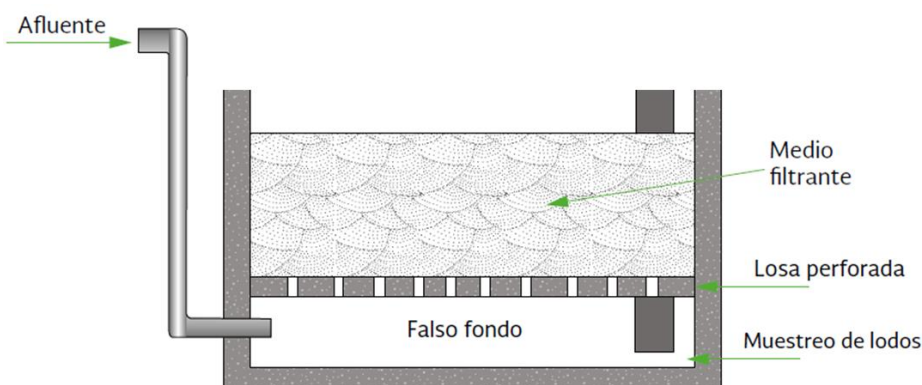


Figura 24. Vista transversal de un FFAA con falso fondo

El medio filtrante es la parte más importante de todo el sistema de tratamiento puesto que, es quien realizará las operaciones de remoción, la cual variará su eficiencia de acuerdo al material empleado. Los medios filtrantes más empleados son grava, cuarzo, piedra caliza, granito entre otros; sin embargo, hoy por hoy también se emplean medios plásticos. Tinoco y Espinoza-Correa [44] demuestran que la grava colocada en capas en diferentes dimensiones mejora los niveles de remoción. Es por ello que el filtro de este proyecto estará conformado por cinco capas de grava de diferentes tamaños: la primera capa tendrá un rango de 19-25 mm, la segunda será de 13-19 mm, la tercera 6-13 mm, la cuarta de 3-6 mm y la quinta de 1,6-3 mm. Respecto a la altura esta será de 30 cm para cada capa excluyendo la quinta, esta será de 35 cm. Es decir, la altura del medio filtrante será de 155 cm. La Comisión Nacional del Agua de Mexico [41] recomienda que tanto el diámetro como el lado, dependiendo si el filtro es de forma circular o cuadrada, se encuentren dentro del intervalo de 2 a 8 metros. Entonces como el área filtrante tendrá 4 m de cada lado, ya que es contigua al tanque receptor que tiene las mismas medidas.

En relación con el bordo libre Tilley et al. [31] dice que el agua filtrada debe cubrir al menos de 0,3 a 0,5 m al medio filtrante para poder garantizar un régimen de flujo uniforme; por otro lo cual se ha optado por los 0,4 m recomendados. Adicional a ello el dren de lodos tendrá una altura de 0,5 metros y la losa perforada que funciona como falso piso será de hormigón de 0,1 metros con agujeros de 20 mm [41].

Cabe recalcar que como el mismo mecanismo se emplea en todas las cámaras entonces se hará el mismo dimensionamiento.

Tabla 31. Cuadro resumen de las dimensiones del FAFA, por cada cámara

COMPONENTES Y DIMENSIONES RECTANGULARES DEL FAFA			
COMPONENTE	LARGO	ANCHO	ALTO
Dren de lodos	4 m	4 m	0,5 m
Losa perforada	4 m	4 m	0,1 m
Medio filtrante	4 m	4 m	1,5 m
Borde libre	4 m	4 m	0,4 m
COMPONENTES Y DIMENSIONES CIRCULARES DEL FAFA			
COMPONENTE	LARGO	DIÁMETRO	
Tubo de entrada	0,75 m	3/4 ”	
Tubo de salida	0,75 m	3/4 ”	

D. Tubo de salida de biogás

A parte de las tapas removibles ubicadas a lo largo de toda la parte superior del sistema (usadas para inspeccionar), también se tiene un tubo de ½ pulgada por el que se elimina el biogás obtenido a partir del proceso de filtrado.

E. Tanque receptor de salida

Este tanque solo tiene la función de recepcionar el efluente limpio del sistema, está ubicado mucho más arriba que las cámaras de filtrado o el primer tanque receptor. Cuenta con un agujero por el que pasará una válvula de 2 pulgadas que controla la salida del agua tratada. Este tanque tendrá capacidad para sus dimensiones serán:

- ✓ Volumen: 16 m³
- ✓ Largo: 4 m
- ✓ Ancho: 4 m
- ✓ Alto: 1 m

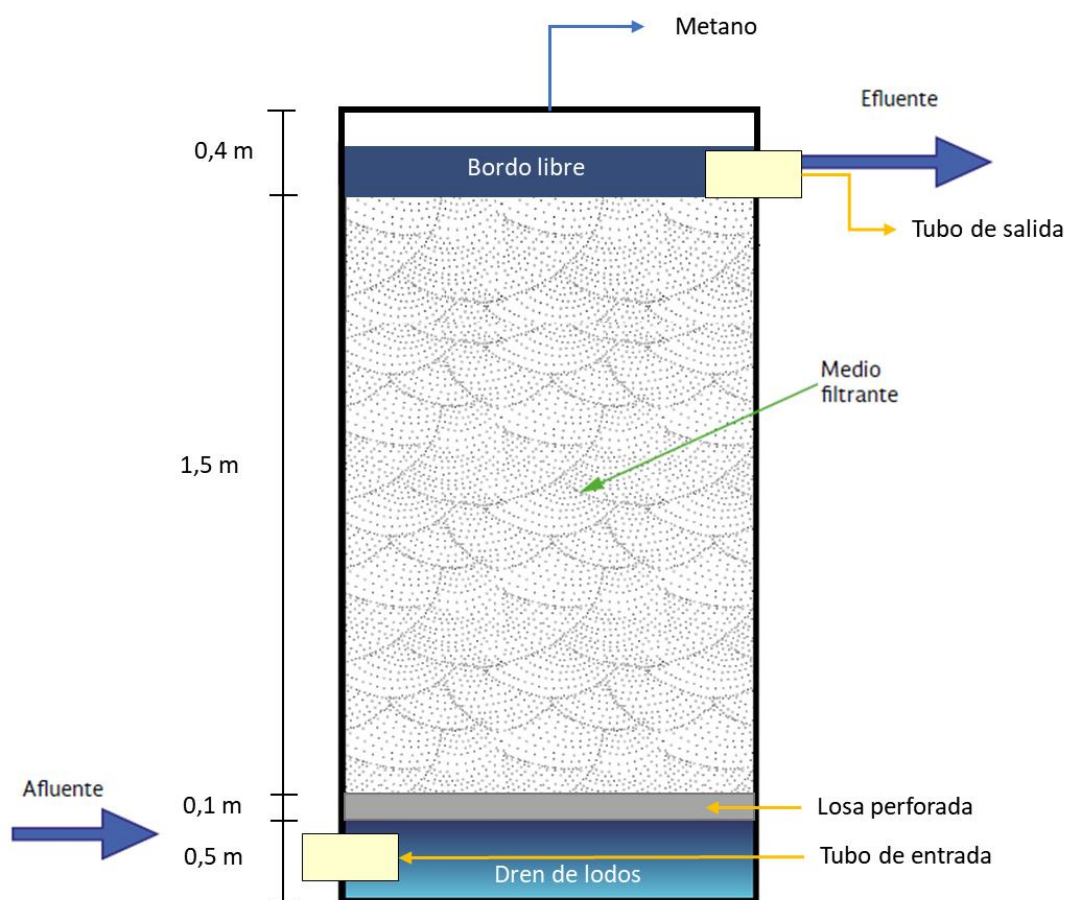


Figura 25. Esquema de una cámara del FAFA

F. Loza para secado de lodos

De acuerdo con Fandiño [47] los lodos provenientes de los procesos biológicos presentan excelentes características para el insumo y mejoramiento de tierras de cultivo. Es por ello que se proyectaron los lodos generados al año.

Tabla 32. Proyección de lodos al año

Año	Generación de agua residual (l/año)	Cal agregada (kg/año)	Lodo (kg/año)	Lodo (kg/semana)	Agua en proceso (l/año)
2021	10 634 668,68	35,45	2 552 328.99	49 083,25	8 082 375,13
2022	10 203 281,79	32,57	2 448 795.45	47 092,22	7 754 518,91
2023	9 771 894,90	32,57	2 345 262.59	45 101,20	7 426 664,87
2024	9 340 508,01	31,14	2 241 729.39	43 110,18	7 098 809,75
2025	8 909 121,12	29,70	2 138 196.20	41 119,16	6 770 954,62
TOTALES	48 859 474,50	161,43	11 726 312.62	225 506,01	37 133 323,30

$$\frac{49\,083,25\text{ kg}}{\text{semana}} * \frac{1\text{ l}}{1\text{ kg}} * \frac{0,001\text{ m}^3}{1\text{ l}} = 49,08\text{ m}^3$$

Teniendo en cuenta que el espacio mínimo requerido es de 49,08 m³, las dimensiones de la loza son de:

- ✓ Volumen: 50 m³
- ✓ Largo: 5 m
- ✓ Ancho: 5 m
- ✓ Alto: 2 m

3.3.4. Distribución de planta de acuerdo al método Guerchet

Mediante el cálculo de las dimensiones de todos los equipos del sistema de tratamiento, a partir de las tres superficies principales, se obtendrá la superficie total que ocupa todo el sistema de tratamiento, a la que se le aplicará el método de Guerchet para la determinación de la superficie de los equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales proyectada:

- **Superficie estática (Ss):** Esta es la superficie productiva, es decir el área realmente utilizada por los equipos, máquinas e instalaciones.

$$Ss = A \times L$$

- **Superficie de gravitación (Sg):** Es la zona utilizada por los operarios que trabajan en la planta de tratamiento. Esta área se obtiene multiplicando el área estática por el

número de lados (N) por dispositivo utilizado.

$$S_g = S_s \times N$$

- **Superficie de evolución (Se):** Es el área que debe ser para el movimiento y rotación de personal entre puestos de trabajo.

$$S_e = k \times (S_s + S_g)$$

Donde “k” es una constante de proceso determinada por la altura promedio de los elementos que se mueven entre el doble de la altura promedio de los elementos constantes.

- **Superficie total (St):** Es la suma de las tres áreas anteriores, teniendo en cuenta todas las ubicaciones relacionadas con la planta de tratamiento.

$$S_t = S_s + S_g + S_e$$

Tabla 33. Método Guerchet para el dimensionamiento del sistema de tratamiento

ELEMENTO	n	N	LARGO	ANCHO	SS	SG	ALTURA	SE	S	ST
Elementos móviles										
Operarios	1		0.5	1	0.5		1,65			2,15
Elementos fijos										
Tanque sedimentador neutralizador	2	1	5	5	25	25	2,6	18,51	68,51	137,02
Tanque receptor de entrada	1	1	4	4	16	16	2,5	11,85	43,85	43,85
Cámara 1 de FAFA	1	1	4	4	16	16	2,5	11,85	43,85	43,85
Cámara 2 de FAFA	1	1	4	4	16	16	2,5	11,85	43,85	43,85
Cámara 3 de FAFA	1	1	4	4	16	16	2,5	11,85	43,85	43,85
Tanque receptor de salida	1	1	4	4	16	16	1,0	11,85	43,85	43,85
Loza secado de lodos	1	1	5	5	25	25	2,0	18,51	68,51	68,51
SUPERFICIE TOTAL EN m²									426,91	

$$k = \frac{\text{promedio de elementos móviles}}{2 * \text{altura promedio elementos fijos}} = \frac{1,65 \text{ m}}{2 * \left(\frac{(2,6 + 2,5 + 2,5 + 2,5 + 2,5 + 1,0 + 2,0) \text{ m}}{6} \right)}$$

$$k = 0,37$$

La superficie empleada por el sistema de tratamiento de aguas ácidas es de 426,91 m², cabe recalcar que el número de lados de todos los equipos (N) es 1 puesto que el sistema se ubica

bajo tierra, y solo es manipulada por los operarios al retirar las tapas removibles para su limpieza e inspección. En el caso de los tanques sedimentadores también se considera 1 porque solo se tiene acceso a él por la superficie.

3.3.5. Tiempo de retención hidráulica del sistema de tratamiento

El tiempo de retención hidráulica (TRH) es el parámetro que mide el tiempo de resistencia del caudal dentro del filtro, en el proceso de tratamiento de aguas residuales. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$TRH = \frac{V}{Q}$$

Dónde:

TRH = Tiempo de resistencia hidráulica (días)

V = Volumen del filtro anaerobio

Q = caudal (m³/día)

Entonces:

$$TRH = \frac{4 \text{ m} * 4 \text{ m} * 1,5 \text{ m} * 3}{35\,448,90 \frac{\text{l}}{\text{día}} * \frac{0,001 \text{ m}^3}{1 \text{ l}}}$$

$$TRH = \frac{72 \text{ m}^3}{35,45 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$TRH = 2,03 \text{ día}$$

$$TRH = 48,72 \text{ h} \approx 49,12 \text{ h}$$

El tiempo que tiempo que le toma a los 35 448,90 litros para salir del sistema como agua filtrada es de 49,12 h. Esto significa que al primer lote le toma un poco más de dos días en tratar al agua, lo que significa que en un día la mitad del caudal ya ha sido filtrada y el resto debe estar dentro de la segunda y tercera cámara y se puede agregar otro lote.

3.3.6. Eficiencia del sistema de tratamiento

Debido a que este proyecto no ha sido llevado a cabo, se utilizará la fórmula desarrollada por Haandel y Lettinga en 1984 para conocer la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales, la cual es:

$$E = 100 * (1 - 0,87 * TRH^{-0,5})$$

Dónde:

E = eficiencia de un filtro anaerobio, en %

TRH = tiempo de residencia hidráulica, en horas

0.87 = coeficiente empírico del sistema

0.50 = coeficiente empírico del medio filtrante

Entonces:

$$E = 100 * (1 - 0,87 * 49,12^{-0,5})$$

$$E = 87,54\%$$

La eficiencia del sistema de tratamiento es de un 87,54% estando ligeramente por encima del rango indicado por Tilley et al. [31] de 70 – 85%.

3.4. Análisis costo-beneficio y ambiental de la propuesta

Al haber finalizado el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa productora de alimento balanceado, se procede a evaluar si la propuesta puede ser aplicada por la empresa. De acuerdo con la demanda proyectada para el año 2021 el agua residual generada por la empresa ascenderá a 35 448,90 l/día de agua ácida la cual será tratada y ya no presentará amenaza contra el medio ambiente. El sistema está compuesto por un tanque neutralizador, un tanque receptor de entrada, tres cámaras de filtro anaerobio de flujo ascendente (donde se realizan las operaciones de remoción) y un tanque receptor de aguas de salida.

3.4.1. Costo de inversión de la propuesta del sistema de tratamiento de aguas residuales ácidas

Aquí se toman en cuenta las inversiones tangibles e intangibles, incluyendo el costo de la construcción civil, equipos y maquinarias involucradas en el proceso de tratamiento de aguas residuales, accesorios de instalación y recursos humanos. Como parte de las inversiones intangibles, la implementación propuesta implicará costos, de los cuales se considerarán 426,91 m² obtenidos por el método de Guerchet.

3.4.1.1. Inversiones tangibles

Para asegurar el buen funcionamiento del sistema primero se debe asegurar el área de terreno en la que se realizará el trabajo. Las principales obras de ingeniería civil necesarias son las siguientes:

- Movimiento de tierras: en las que se comprenden la excavación; refinación, nivelación y compactación del terreno y eliminación del desmonte. En esta no se considerará el tanque neutralizador, ya que se dejará sobre el suelo.
- Obras de concreto armado: concreto premezclado, encofrado y acero estructural todo ello para las losas de fondo y muros; considerando placas de concreto de E = 20 cm, albañilería, ladrillos, vigas de amarre de concreto armado y columnas

Los precios mostrados en la tabla 33 y 34 están en base la cotización otorgada por una constructora, las cuales pueden ser visualizadas en el anexo 3.

Tabla 34. Inversión en movimiento de tierras

DESCRIPCIÓN DEL RECURSO	UNIDAD	METRADO	PRECIO (S/.)	TOTAL (S/.)
Excavaciones en el terreno con retroexcavadora	m ³	287,74	4,76	1 369,64
Refine, nivelación y compactación en terreno normal	m ²	93,28	66,00	6 156,48
Tablaestacado	m ³	138,24	10,00	1 382,40
Eliminación de desmonte	m ³	287,74	28,00	6 064,00
	TOTAL			16 965,25

Tabla 35. Inversión de obras en concreto armado

DESCRIPCIÓN DEL RECURSO	UNIDAD	METRADO	PRECIO (S/.)	TOTAL (S/.)
Concreto premezclado para losas de fondo - piso	m ³	21,45	467,38	10 027,36
Acero estructurado para losas de fondo - piso	kg	996,39	4,11	4 095,18
Concreto premezclado para muros	m ³	19,73	487,15	9 613,42
Encofrado para muros	m ²	119,42	43,71	5 219,67
Acero estructurado para muros	kg	1 138,62	4,15	4 725,25
TOTAL				14 122,54

Tabla 36. Inversión total de las obras de ingeniería

DESCRIPCIÓN DEL RECURSO	TOTAL (S/.)
Inversión en movimiento de tierras	16 965,25
Inversión en obras de concreto armado	14 122,54
INVERSIÓN TOTAL	31 087,79

En la tabla 35 se resumen la inversión por las obras de ingeniería involucradas en la construcción del sistema de tratamientos de aguas residuales ácidas, cuyo monto asciende a S/. 31 087,79; cabe recalcar que los costos de remoción de tierra con excavadora y la puesta de las obras de concreto armado han sido dados por el mercado. Siguiendo con la inversión tangible, en la tabla 36 se presentan los costos de inversión de los equipos.

Tabla 37. Inversión para maquinaria y equipo

DESCRIPCIÓN DEL RECURSO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (S/.)	COSTO (S/.)
Cal (bolsa de 20 kg)	2 unid	15,50	27,47
Grava de 19-25 mm	4,80 t	30,00	144,00
Grava de 13-19 mm	4,80 t	30,00	144,00
Grava de 6-13 mm	4,80 t	40,00	192,00
Grava de 3-6 mm	5,60 t	50,00	280,00
Compuerta manual	1	1 300,00	1 300,00
Losa perforada	3 unid.	1 091,00	3 273,00
TOTAL			5 360,47

Fuente: [48] [49]

Como se muestra en la tabla 36 se considera como maquinaria y equipo a la cal utilizada en el periodo de un año, grava en diversos tamaños y a la losa perforada, debido a que estos

materiales son los que realizan la operación de filtrado; la inversión necesaria para este apartado es de S/. 21 816,74.

Tabla 38. Inversión para accesorios

DESCRIPCIÓN DEL RECURSO	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES	PRECIO UNITARIO (S/.)	COSTO (S/.)
Tubo de PVC	4	Ø = 3/4"	18,00	72,00
Codos para tubo PVC	2	Ø = 3/4"	1,80	3,60
Válvula esférica	1	Ø = 2"	209,90	209,90
TOTAL				285,50

Fuente: Sodimac Homecenter [50] [51] [52]

Se consideran accesorios a los tubos de PVC, codos de PVC y la válvula esférica, ya que no se involucran directamente con el tratamiento de aguas ácidas residuales, pero ayudan a su funcionamiento. La inversión necesaria para los accesorios es de S/. 285,50.

Conociendo los costos se puede calcular la inversión tangible involucrados en el sistema de tratamientos de aguas ácidas, como se muestra en la tabla 38.

Tabla 39. Inversión tangible

ASPECTOS POR CONSIDERAR	COSTO TOTAL (S/.)
Obra de ingeniería civil	31 087,79
Equipos y maquinaria	5 360,47
Accesorios	285,50
TOTAL	36 733,76

3.4.1.2. Inversión intangible

Se consideró inversión intangible para el sistema de tratamiento de aguas al análisis fisicoquímico que fue sometido el agua residual para conocer sus niveles de DBO, DQO, SST, pH y ácidos y grasas; los cuales han sido necesarios para conocer si el efluente proveniente del proceso productivo del alimento balanceado excede o no los valores máximos permisibles determinados por el MINAM. Otro costo involucrado fueron los estudios de ingeniería, en lo que se tuvo en cuenta el costo de los materiales y las asesorías para realizar esta investigación; por último, se consideró el entrenamiento de personal respecto al manejo, inspección y limpieza

del sistema y la adición de la cal diluida; toda esta inversión asciende a S/. 2 026,80 lo cual se detalla en la tabla 39.

Tabla 40. Inversión intangible

DESCRIPCION	COSTOS (S/.)
Estudios de ingeniería	1 000,00
Análisis Físico Químico	226,80
Gasto de entrenamiento de personal	800,00
TOTAL	2 026,80

En la siguiente tabla se desglosa la inversión total requerida para llevar a cabo el sistema de tratamiento de aguas residuales ácidas, la que asciende a una suma de S/. 54 362,17.

Tabla 41. Inversión total para la propuesta

INVERSIÓN TANGIBLE	36 733,76
Obra de ingeniería civil	31 087,79
Equipos y maquinaria	5 360,47
Accesorios	285,50
INVERSIÓN INTANGIBLE	2 026,80
Estudios de ingeniería	1 000,00
Análisis Físico Químico	226,80
Gasto de entrenamiento de personal	800,00
IMPREVISTOS (4%)	1 550,42
TOTAL	40 310,98

3.4.2. Beneficios obtenidos a partir del sistema de tratamiento de aguas ácidas

3.4.2.1. Ahorro de sanciones y multas

La Autoridad Nacional del Agua (por sus siglas ANA), por ser el ente rector del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos ejerce su jurisdicción administrativa exclusiva en materia de aguas al aplicar sanciones y multas especificadas en el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338 [6]. En la tabla 42 se especifica el tipo de infracción y los avisos o multas expresadas en UIT correspondientes con la infracción.

Tabla 42. Sanciones y multas según infracción

	TIPO DE INFRACCIÓN	AVISOS / MULTAS
Leve	Contaminar las fuentes naturales de agua, superficiales o subterráneas, cualquiera fuese la situación o circunstancia que lo genere	Amonestación escrita o multa de 0,5 -2 UIT
Grave	Efectuar vertimientos de aguas residuales en los cuerpos de agua o efectuar reúso de aguas, sin autorización de la Autoridad nacional del Agua.	2 - 5 UIT
Muy Grave	Arrojar residuos sólidos en causes o cuerpos de agua natural o artificial.	5 - 10 000 UIT

Fuente: Autoridad Nacional del Agua, 2010

Según la tabla 42, la empresa productora de alimento balanceado se encuentra en la categoría de infracción grave, por lo tanto, la multa correspondiente para la empresa es de 2 a 5 UIT. Considerando que cada UIT para el año 2021 tiene un valor de S/. 4 400, la multa de la que sería acreedora la empresa sería de entre S/. 8 800 y S/. 22 000; al verter elevados volúmenes de agua en San Martín. La empresa debería ser merecedora de una multa alrededor de los 3,5 UIT's que son equivalentes a S/.15 400. Cabe destacar que, al cometer una infracción grave el ANA no necesita dejar un aviso como primera advertencia; además si la empresa no realiza el pago correspondiente es multado por segunda vez, si continúa incumpliendo el pago de la retribución económica por dos años, el ANA tiene la facultad de declarar a la empresa extinta por revocación de derechos, es decir, le negaría el uso de agua a la empresa.

3.4.2.2. Ahorro de costo por consumo de agua de riego

De acuerdo con Pallais Checa [53], la zona norte del país presenta tierras áridas, escasa agua para el riego de cultivos y la evapotranspiración causada por el calentamiento global. Las zonas mencionadas con dichas características son: Piura, Miraflores, San Miguel, Chulucanas, Morropón, Chusis y Motupe. Para el año 2015 la cantidad de agua necesaria para el riego de una hectárea en zonas con estas características asciende a 23 000 m³ al año. Además, según la Resolución Administrativa N° 017-2017-MINAGRI-ANA-AAA.JZ/ALA.MOLL en la que participó el Ministerio de Agricultura y Riego, la Autoridad Nacional del Agua y la Junta de Usuarios de Olmos el valor determinado por metro cúbico es de S/ 0,018 aproximadamente para las zonas de Olmos, Motupe y La Leche.

Tomando en cuenta las 27 hectáreas disponibles por la empresa en San Martín, la cantidad de agua necesaria para regarla por un año es de 621 000 m³, cuyo costo sería de S/. 11 780.

$$27 \text{ ha} * \frac{23\,000 \text{ m}^3}{1 \text{ ha}} = 621\,000 \text{ m}^3$$

$$621\,000 \text{ m}^3 * \frac{\text{S/} \cdot 0,018}{\text{m}^3} = \text{S/} \cdot 11\,780$$

Para los cinco años considerados en el proyecto el costo de agua asciende a un monto de S/.55 890

$$\frac{\text{S/} \cdot 11\,780}{\text{año}} * 5 \text{ años} = \text{S/} \cdot 55\,890$$

3.4.3. Costo - Beneficio de la propuesta

Con la finalidad de evaluar la rentabilidad del proyecto es necesario realizar un costo-beneficio, el cual compara de una forma directa el beneficio obtenido por el coste del proyecto; esta variable se obtiene a partir de la división del Valor Actual de los Ingresos totales netos (VAI) entre el Valor Actual de los Costos de inversión (VAC) involucrados en el proyecto. En la siguiente tabla se desglosan todos los beneficios y la inversión requerida. Cabe recalcar que la inversión de ingeniería civil, los accesorios, estudio de ingeniería y el entrenamiento del personal solo serán realizados el primer año. Por otro lado, los beneficios empiezan a contar desde el primer año hasta el término del periodo de estudio, año 2025.

Tabla 43. Costo Beneficio de la propuesta

BENEFICIOS (S/.)						
Descripción	2021	2022	2023	2024	2025	Total
Ahorro de costo por consumo de agua de riego		11 178,00	11 178,00	11 178,00	11 178,00	
Ahorro por pago de la multa		15 400,00	15 400,00	15 400,00	15 400,00	
TOTAL BENEFICIO		26 578,00	26 578,00	26 578,00	26 578,00	10 6312,00
COSTOS (S/.)						
Descripción	2021	2022	2023	2024	2025	Total
Obra de ingeniería civil	31 087,79	0.00	0.00	0.00	0.00	
Equipos y maquinaria	5 360,47	5 360,47	5 360,47	5 360,47	5 360,47	
Accesorios	285,50	0.00	0.00	0.00	0.00	
Estudios de ingeniería	1 000,00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Análisis Físico Químico	226,80	226,80	226,80	226,80	226,80	
Gasto de entrenamiento de personal	800,00	0.00	0.00	0.00	0.00	
IMPREVISTOS	1 341,29	1 341,29	1 341,29	1 341,29	1 341,29	
TOTAL COSTOS	40 101,85	5 628,56	5 628,56	5 628,56	5 628,56	67 816,09
Flujo	-40 101,85	19 649,44	19 649,44	19 649,44	19 649,44	

Como se observa en la tabla 42, a partir del cuarto año se obtienen ganancias (S/. 18 846,47) debido a que el primer año absorbe todos los costos de construcción e implementación.

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{\text{VAI}}{\text{VAC}}$$

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{\text{S/. } 10\,6312,00}{\text{S/. } 67\,816,09} = 1,57$$

El proyecto propuesto es viable, ya que en el periodo analizado de cinco años la empresa productora de alimento balanceado obtiene una ganancia de S/. 0,57 por cada sol invertido.

3.4.4. Identificación del Impacto Ambiental de la empresa después de la propuesta

Debido a que la propuesta se centra en el tratamiento de aguas residuales, obtenidas a partir de la etapa de sedimentación del proceso productivo de levadura en polvo de una empresa productora de alimento balanceado, en este apartado se verificará si el sistema propuesto logra reducir el impacto ambiental negativo de esta empresa; para lo cual se hizo uso nuevamente de las matrices empleadas en el objetivo dos.

A. Aspectos e impactos por actividad

Los aspectos e impactos por actividad de la empresa productora de alimento balanceado se cambiarán ligeramente ya que se agregaron las actividades correspondientes a la obra de ingeniería civil y el funcionamiento de sistema de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 44. Aspectos e impactos por actividad después de la propuesta

ACTIVIDAD	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	
EMPRESA PRODUCTORA DE ALIMENTO BALANCEADO	Recepción	Generación de olores	Afectación a la calidad del aire
		Generación de olores	Afectación a la calidad del aire
	Sedimentado	Generación de agua residual ácida	Afectación a la calidad del agua Afectación a la calidad del suelo
	Estandarizado y Molido	Generación de material particulado	Afectación a la calidad del aire
		Generación de ruidos y vibraciones	Afectación a la calidad del aire
	Secado	Generación de gases de combustión	Deterioro de la calidad del aire por emisiones
		Generación de ruidos y vibraciones	Afectación a la calidad del aire
	Envasado y pesado	Generación de material particulado	Afectación a la calidad del aire
		Generación de ruidos y vibraciones	Afectación a la calidad del aire
		Generación de olores	Afectación a la calidad del aire
		Generación de metano	Afectación a la calidad del aire
	Tratamiento de residuos		Afectación de la flora
			Afectación de la fauna
		Generación de agua residual ácida	Afectación a la calidad del agua Alteración paisajística
			Degradación de la calidad del suelo

Los nuevos aspectos e impactos después de la propuesta muestran una mejora respecto al manejo de las aguas residuales, generación de metano y del tratamiento de los lodos obtenidos del sistema de tratamiento.

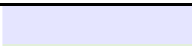
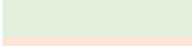

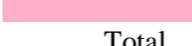
B. Matriz de valorización de impactos

Al igual que en la matriz de aspectos e impactos, se consideran las actividades de obra de ingeniería civil, el funcionamiento del sistema de tratamiento y el manejo de los residuos obtenidos del mismo.

Tabla 45. Matriz de valorización de impactos después de la propuesta

FACTORES			ACTIVIDADES							TOTAL	
			Evacuación de levadura disuelta en agua	Recepción de levadura disuelta en agua	Sedimentación	Estandarizado	Secado	Molido	Envasado y pesado		Tratamiento de agua residual
Medio Físico	Aire	Gases de combustión					-36				-36
		Generación de metano							-19		-19
		Material particulado				-28		-28	-25		-81
		Ruidos y vibraciones				-37	-31	-37	-31		-136
	Agua	Olores residuales	-35	-35	-41					-17	-128
		Calidad del agua			-48					57	9
		Modificación del drenaje superficial			-24					25	1
Suelo	Calidad del suelo			-24					61	37	
Medio Biológico	Flora	Cultivos							40	40	
		Árboles				-20			37	17	
		Arbustos				-20			37	17	
		Hierbas				-20			37	17	
	Fauna	Aves							30	30	
		Mamíferos				-20			20	30	30
		Insectos							30	30	
	Paisaje	Alteración paisajística			-24	-24	-24	-24		52	-44
Cambios en la estructura del lugar				-24	-24	-24	-24	-24	54	-66	
Medio Socioeconómico	Población	Empleo	33	33	33	33	33	33	33	33	264
		Salud	33	33	33	33	33	33	33	33	264
	Economía	Actividad comercial	33	33	33	33	33	33	33	30	261
		Desarrollo local	33	33	33	33	33	33	33	30	261
TOTAL			97	97	-53	-61	17	19	72	580	768

Tabla 46. Codificación de colores después de la propuesta

TIPO DE IMPACTO	CÓDIGO	RESTRICCIÓN
Compatible		menor a 25
Moderado		mayor a 25 y menor que 50
Severo		mayor a 50 y menor que 75
Crítico		mayor a 75
Total		

Como se puede visualizar en la tabla 44 solo se realizó un cambio en la actividad evacuación de residuos a tratamiento de residuos, esto debido a que las demás actividades se mantienen como parte del proceso productivo del alimento balanceado.

Debido a que se aplica un sistema FAFA para tratar al efluente se obtiene como principal producto agua tratada que será utilizada para el riego del terreno disponible. Al ser esta su finalidad se considera que los impactos serán positivos directa e indirectamente como es el caso de la flora y fauna ya existente en el lugar y la alteración paisajística. Además, se determinó que el metano será un subproducto del sistema y puede ser utilizado en la actividad de secado.

IV. CONCLUSIONES

1. El agua residual proveniente del proceso productivo del alimento balanceado, específicamente de la etapa de sedimentación, presenta un pH de 4,5 el cual indica que el agua es ácida; además que los valores de DBO, DQO y SST exceden los LMP establecidos por el MINAM.
2. Para la identificación de impactos se utilizó hojas de campo y la matriz de valorización, mediante la cual se determinó que la mayoría de los impactos que genera actualmente la empresa son de carácter negativo moderado; principalmente en la etapa de sedimentación y manejo de residuos, esto se debe a la producción de aguas ácidas y su vertimiento sin tratamiento en el terreno libre de la empresa ubicado en el caserío de San Martín.
3. Se decidió realizar una neutralización como tratamiento primario. Por medio de factores ponderados se escogió al filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) como tratamiento secundario. El sistema llega a reducir la DBO en 99,59%, DQO en 99,42%, SST en 97,73% y el pH aumentó a 6; ajustándose al DS N° 015-2015-MINAM.
4. El análisis costo beneficio logró determinar que el proyecto es rentable, ya que en el periodo de 5 años analizados se obtiene una ganancia de S/. 0,57 por cada sol invertido, el primer año se obtuvieron pérdidas de S/. 40 101,85 debido a los costos de construcción e implementación del sistema. Sin embargo, para el cuatro año se empezarán a recibir ganancias. Por la parte ambiental, mediante el tratamiento de agua ácida los impactos de calidad de agua, suelo, flora, fauna y alteración paisajística son mitigados; además se ve un impacto ligeramente negativo en la calidad del aire por la obtención de metano.

V. RECOMENDACIONES

1. Evaluar el aprovechamiento de metano obtenido en el sistema de tratamiento, ya que se en un año se producen 9 465 m³ de metano.
2. El agua tratada cumple con los parámetros establecidos por el MINAM para uso agrícola, motivo por el cual, se debe evaluar el sistema de riego a utilizar.
3. Evaluar el tratamiento de lodos a fin de utilizarlos como abono agrícola.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SINIA, «SINIA: Sistema Nacional de Información Ambiental,» 01 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://bit.ly/2WyguEX>. [Último acceso: 18 Junio 2019].
- [2] OEFA, «OEFA: Organismo de Fiscalización Ambiental,» Diciembre 2014. [En línea]. Available: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827. [Último acceso: 02 Abril 2018].
- [3] AINIA: Instituto Tecnológico Agroalimentario, «PRTR: Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes,» [En línea]. Available: <https://goo.gl/aeU9XU>. [Último acceso: 10 Abril 2018].
- [4] Ministerio de la Producción, «SINIA: Sistema Nacional de Información Ambiental,» 04 Octubre 2004. [En línea]. Available: <https://bit.ly/2JUshqb>. [Último acceso: 10 Abril 2018].
- [5] MINAM, «SINIA: Sistema Nacional de Información Ambiental,» 19 Diciembre 2015. [En línea]. Available: <https://bit.ly/2X1WWG9>. [Último acceso: 10 Abril 2018].
- [6] MINAGRI: Ministerio de Agricultura y Riego, «Decreto Supremo N° 001-2010-AG.- Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338),» 14 enero 2010. [En línea]. Available: <https://bit.ly/2VFpinQ>. [Último acceso: 10 abril 2019].
- [7] L. F. Herrera Cuero y D. P. Bernal Suárez, «Procesamiento de cerveza: tratamiento de aguas residuales,» Control de la Contaminación Ambiental - Universidad Santiago de Cali, vol. 20, pp. 11-22, 2020.
- [8] P. Fernández Labrador, Y. Asensio, M. Llorente, B. Barroeta y J. Tolón, «Economía Circular e innovación en el tratamiento de aguas residuales de la industria cervecera,» EnviroPress, vol. 15, pp. 64-67, 2019.
- [9] A. Ashraf, R. Ramamurthy y E. R. Rene, «Wastewater treatment and resource recovery technologies in the brewery industry: Current trends and emerging practices,» Sustainable Energy Technologies and Assessments, vol. 47, n° 06, pp. 21-25, 2021.
- [10] R. Martins, R. Boaventura y L. Paulista, «Treatment and energy valorisation of an agro-industrial effluent in upflow anaerobic sludge reactor (UASB),» World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium, vol. 95, pp. 1-8, 2017.
- [11] N. Irnaning Handayani, R. Yuliasni, N. Indah Setianingsih y A. Budiarto, «Full Scale Application of Integrated Upflow Anaerobic Filter (UAF) - Constructed Wetland (CWs) in Small Scale Batik Industry Wastewater Treatment,» Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, vol. 11, n° 1, pp. 27-35, 2020.
- [12] ONU: Organización de las Naciones Unidas, «The United Nations World Water Development Report 2016 - Water and Jobs,» ONU, San Francisco, 2016.
- [13] H.-J. Choi, «Parametric study of brewery wastewater effluent treatment using *Chlorella vulgaris* microalgae,» Environmental Engineering Research, vol. 21, n° 4, pp. 401-408, 2016.
- [14] C. R. A. S. J. y. d. S. T. L. Dias, «Concomitant wastewater treatment with lipid and carotenoid production by the oleaginous yeast *Rhodospiridium toruloides* grown on brewery effluent enriched with sugarcane molasses and urea,» Process Biochemistry, vol. 94, pp. 1-14, 2020.
- [15] INEI, «Instituto Nacional de Estadística e Informática,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/Cap15008.xlsx>. [Último acceso: 10 Abril 2018].
- [16] S. Marroquin, «La cultura cervecera en el Perú,» El comercio, 02 Octubre 2015.

- [17] Contexto Ganadero, «Contexto ganadero, una lectura rural de la realidad colombiana,» 19 Julio 2016. [En línea]. Available: <https://goo.gl/AJZmav>. [Último acceso: 07 Abril 2018].
- [18] M. García Garibay, A. López Munguía y R. Quintero Ramírez, *Biología Alimentaria*, Mexico: Limusa: Noriega Editores, 1993.
- [19] FEDNA, «FEDNA: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal,» 13 Noviembre 2011. [En línea]. Available: <https://goo.gl/VzNSzJ>. [Último acceso: 07 Abril 2018].
- [20] UNESCO, «Unesco.org,» 2006. [En línea]. Available: <https://goo.gl/HeaXuX>. [Último acceso: 07 Abril 2018].
- [21] DIGESA, «MINSA,» 11 Setiembre 2007. [En línea]. Available: <https://goo.gl/nAzQnx>. [Último acceso: 14 Abril 2018].
- [22] Bureau Veritas, *Manual para la formación en medio ambiente*, España: Lex Nova, 2008.
- [23] El Peruano, «Elperuano.pe,» 2017. [En línea]. Available: <https://bit.ly/2wgfeHz>. [Último acceso: 26 Abril 2018].
- [24] V. Arana Ysa, *Guía para la toma de decisiones en la selección de sistemas de aguas residuales no convencionales*, Lima: Foro Ciudades para la Vida, 2009.
- [25] C. M. López Vázquez, G. Buitrón Méndez, H. A. García y F. J. Cervantes Carrillo, *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño*, Londres: IWA Publishing, 2017.
- [26] A. Velasco Pérez y R. Solar González, «Biorreactores de membrana: tecnología para el tratamiento de aguas residuales,» *Revista de divulgación científica y tecnológica de la universidad veracruzana*, vol. XXIV, n° 3, 2011.
- [27] S. a. P. Gresham, *Guidance for Treatment of Airport Stormwater Containing Deicers* (2013), Washington: National Academy of Sciences, 2013.
- [28] R. Méndez Pampín, G. Vidal Sáez y F. Márquez Romegialli, *Producción limpia en la industria de curtiembre*, Galicia: Universidad de Santiago de Compostela, 2007.
- [29] C. Orozco S., V. R. Cantarero P. y J. F. Rodríguez M., «Taller El Tratamiento Anaerobico de los Residuos del Cafe: Una alternativa energética para la disminución del impacto ambiental en el sector,» *PROMECAFE - IICA*, Málaga, 2010.
- [30] G. Tchobanoglous, F. L. Burton y H. D. Stensel, *Wastewater Engineering. Treatment and reuse*. (4ta edition), New York: Mc Graw Hill, 2003.
- [31] E. U. L. L. C. R. P. S. R. y. Z. C. Tilley, *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento*, Dübendorf (Suiza): Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática, 2018.
- [32] J. M. Ortega, «La Osmosis Inversa como Proceso de Potabilización en España,» de XXII Congreso de Centroamerica y Panama de Ingenieria Sanitaria y Ambiental “SUPERACION SANITARIA Y AMBIENTAL: EL RETO”, Tegucigalpa, 2001.
- [33] Waterstation Mexico, «Ósmosis inversa: ventajas y desventajas,» waterstation.mx, 24 Setiembre 2020. [En línea]. Available: <https://bit.ly/3zyvZwQ>. [Último acceso: 2021 agosto 20].
- [34] MINAM, «SINIA: Sistema Nacional de Información Ambiental,» 01 Enero 2011. [En línea]. Available: <https://goo.gl/1Wz8rZ>. [Último acceso: 10 Mayo 2018].
- [35] V. M. Sbarato y R. D. Sbarato, *Los estudios de impacto ambiental*, Madrid, 2010.
- [36] IHOBE: Sociedad Pública de Gestión Ambiental, «Euskadi.eus,» 01 Junio 2009. [En línea]. Available: <https://bit.ly/2WShxAz>. [Último acceso: 15 Junio 2019].

- [37] H2Olmos, «Estudio del Impacto ambiental del proyecto de irrigación Olmos,» ECSA Ingenieros, Olmos, 2011.
- [38] PCM: Presidencia del Consejo de Ministros, «Decreto Supremo N° 044-2020-PCM,» 15 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://bit.ly/3xmNgax>. [Último acceso: 7 Marzo 2021].
- [39] AENOR: Asociación española de normalización y certificación, «Sistema de gestión ambiental, requisitos para orientación en su uso (ISO 14001:2015),» AENOR, Madrid, 2015.
- [40] L. Sasse, «DEWATS: Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries,» BORDA, Bremen Overseas Research and Development Association, Bremen, Alemania, 1998.
- [41] Comisión Nacional del Agua de México, Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente, México D.F.: CONAGUA, 2015.
- [42] D. Calvo Torralba, J. Casado Garrga, G. Zamora Echenique y A. Pura, «Estudio Para El Tratamiento De Las Aguas Ácidas Por Neutralización-Precipitación,» de III Congreso Internacional de Geología y Minería Ambiental para el Ordenamiento Territorial Y el Desarrollo, Cardona, 2013.
- [43] A. Botina, L. F. Marmolejo y P. Torres, «Mejoramiento del potencial agrícola de lodos digeridos anaeróbicamente con el uso de cal,» Agronomía Colombiana, vol. 23, n° 2, pp. 310-316, 2016.
- [44] R. Tinoco Sáenz y J. Espinoza-Correa, «Tratamiento de aguas residuales mediante un sistema anaerobio para comunidades rurales,» Conference Proceedings UTMACH, vol. 2, n° 1, pp. 92-101, 2017.
- [45] Lettinga, G., Roersma, R., & Grin, P., «Anaerobic treatment of raw domestic sewage at ambient temperatures using a granular bed UASB reactor,» Biotechnology and Bioengineering, vol. 25, pp. 1701-1723, 1983.
- [46] P. E. Cisneros Valdés, «Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox,» SSWM, 20 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://bit.ly/2WLXq8g>. [Último acceso: 10 Junio 2019].
- [47] H. S. Fandiño Piamonte, «Diseño preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de La Esperanza, Santander,» UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS –PARSONS BRINCKERHOFF, Bogotá, 2017.
- [48] OMNIA WATER, «OMNIAWATER.ES,» OMNIA, 04 Abril 2018. [En línea]. Available: <http://omniawater.es/compuerta-canal-manual/>. [Último acceso: 2019 Junio 20].
- [49] CYPE Ingenieros S. A., «Software para arquitectura, ingeniería y construcción,» [En línea]. Available: <https://bit.ly/2WUwy0P>. [Último acceso: 16 05 2019].
- [50] SODIMAC, «Sodimac Home Center - Constructor,» Tiendas del mejoramiento del hogar S.A., 01 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://bit.ly/31XOzy8>. [Último acceso: 2019 Mayo 10].
- [51] SODIMAC, «Sodimac Homecenter - Constructor,» Tiendas del mejoramiento del hogar S.A., 01 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://bit.ly/2FyXpsw>. [Último acceso: 10 Mayo 2019].
- [52] SODIMAC, «Sodimac Homecenter - Constructor,» Tiendas del mejoramiento del hogar S.A., 01 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://bit.ly/2JeNVUu>. [Último acceso: 10 Mayo 2019].

- [53] N. Pallais Checa, «¿Cuánta agua necesita una hectárea de cultivo?,» Gua 3.0, 3 Agosto 2010. [En línea]. Available: <https://bit.ly/2Qcd8So>. [Último acceso: 10 abril 2019].
- [54] Comisión Nacional del Agua, Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, México D.F.: CONAGUA, 2016.
- [55] C. Ribeiro Tunes, «Produção de biogás a partir da digestão anaeróbica de efluentes orgânicos em reator UASB,» Universidade Federal do Tocantins, Tocantins, Brasil, 2017.

VII. ANEXOS

Anexo 1. Cotización del servicio análisis de muestra de agua


**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS
DE SANEAMIENTO DE LAMBAYEQUE S.A.**

**"TRABAJAMOS PERMANENTEMENTE PARA LLEVARLE AGUA DE
LA MEJOR CALIDAD, CUIDELA NO LA DESPERDICIE"**

	FORMATO	Código:	F03-JOCC-PR-01
	Cotización del Servicio	Version:	0
		Página:	1 de 4
		Fecha:	04/05/2020

COTIZACIÓN N° 013

Fecha:	04 de Setiembre del 2020
Solicitante:	PAOLA KATHERINE BENAVIDES SANCHEZ
RUC / DNI:	70847474
Domicilio legal:	Av. Nicolás de Ayllón N° 956 - JLO
Atención - Código:	807556
Teléfono(s):
Fax:
Correo(s)
Electrónico(s):
Factura a:	Razón Social: PAOLA KATHERINE BENAVIDES SANCHEZ DNI N°: 70847474 Domicilio Legal: Av. Nicolás de Ayllón N° 956 - JLO

Detalle del servicio:

Ensayo	Método	Precio Unitario (S/.)	Cantidad	Precio (S/.)
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF	50.42	1	50.42
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF	50.42	1	50.42
Aceites y Grasas	SMEWW-APHA-AWWA-WEF	50.42	1	50.42
Sólidos Suspensos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF	33.90	1	33.90
pH	-	7.06	1	7.06
Tipo de Muestra: AGUA RESIDUAL				
Procedencia de la Muestra: MAESTRIA EN SERVICIOS DILIGENTES S.A.C.				
Muestreado por: CLIENTE				
Tiempo de entrega de resultados: 07 DIAS				
Validez de la Cotización: 15 DIAS				
Servicio de toma de muestras		Precio Unitario (S/.)	Número de días	Precio (S/.)
-		-	-	-
-		-	-	-
-		-	-	-
Total sin IGV (S/.)				192.22
IGV (S/.)				34.60
Total (S/.)				226.82



OFICINAS: Av. Sáenz Peña N° 1860 | Planta de Agua Potable Chiclayo - Telef.: 252291 (Central de Telefónica) - 253479 (G.G.)
Gerencia Operacional Telef.: 254132
Gerencia Comercial - Av. Miguel Grau N° 451 - Telef.: 273609 (G.C.) - 235751 (Central Telefónica)
Emergencias: Telef.: 238363 - 326747 - 0-80027092
Pág. Web: www.epsel.com.pe

Anexo 2. Resultados del análisis físico químico y microbiológico de la empresa productora de alimentos balanceados en el mes de enero 2018



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS
DE SANEAMIENTO DE LAMBAYEQUE S.A.**

**"TRABAJAMOS PERMANENTEMENTE PARA LLEVARLE AGUA DE
LA MEJOR CALIDAD, CUIDELA NO LA DESPERDICIE"**

EPSEL S.A.
OFICINA CONTROL DE CALIDAD

**RESULTADOS DE ANALISIS FÍSICO QUÍMICOS Y
MICROBIOLÓGICOS
MAESTRÍA EN SERVICIOS DILIGENTES**

PARAMETROS	Agua Residual
Fecha de Análisis:	19/09/2020
Código de Muestra	Lcc - 0743 - 20
DBO ₅ , mg/L	3400
DQO, mg/L	6200
SST, mg/L/h	25.00
Aceites y Grasas, mg/l	52.00
pH	4.50

OFICINAS: Av. Sáenz Peña N° 1860 (Planta de Agua Potable) Chiclayo - Telef.: 252291 (Central de Telefónica) - 253479 (G.G.)
Gerencia Operacional Telef.: 254132
Gerencia Comercial - Av. Miguel Grau N° 451 - Telef.: 273609 (G.C.) - 235751 (Central Telefónica)
Emergencias: Telef.: 238363 - 326747 - 0-80027092
Pág. Web: www.epsel.com.pe

Anexo 3. Cotización por las obras de ingeniería civil



GRUPO SANTA CRUZ

INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN

RUC: 20602863213

Las siguientes tablas muestran las cotizaciones para las diferentes actividades correspondientes a ingeniería civil para la construcción de una planta de tratamientos de aguas residuales en Motupe.

DESCRIPCIÓN DEL RECURSO	UNIDAD	METRADO	PRECIO (S/.)	TOTAL (S/.)
Excavaciones en el terreno con retroexcavadora	m ³	287.74	4.76	1369.64
Refine, nivelación y compactación en terreno normal	m ²	93.28	66.00	6156.48
Tablestacado	m ²	138.24	10.00	1382.40
Eliminación de desmonte	m ³	287.74	28.00	8056.73
TOTAL				16965.25

- Las excavaciones en el terreno con retroexcavadora incluyen el precio por el alquiler de la maquinaria
- La eliminación de desmonte incluye el alquiler por camión

DESCRIPCIÓN DEL RECURSO	UNIDAD	METRADO	PRECIO (S/.)	TOTAL (S/.)
Concreto premezclado para losas de fondo - piso	m ³	21.45	467.38	10027.36
Acero estructurado para losas de fondo - piso	kg	996.39	4.11	4095.18
Concreto premezclado para muros	m ³	19.73	487.15	9613.42
Encofrado para muros	m ²	119.42	43.71	5219.67
Acero estructurado para muros	kg	1138.62	4.15	4725.25
TOTAL				14122.54

Siendo el monto total por el proyecto S/. 31087.79

GRUPO SANTA CRUZ
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC
LUIS F. SANTA CRUZ VERA
GERENTE GENERAL
RUC/20602863213

Dirección: Masyta Capac N° 1498, Int 301 La Victoria. Chiclayo. Lambayeque
Jr. Juan Ugaz N° 585 - Santa Cruz - Cajamarca Telf. 074-616408 Celular

Fuente: Grupo Santa Cruz

Anexo 4. Registro fotográfico del agua ácida



Anexo 5. Registro fotográfico de la crema de levadura seca



Anexo 6. Registro del horno a base de carbón



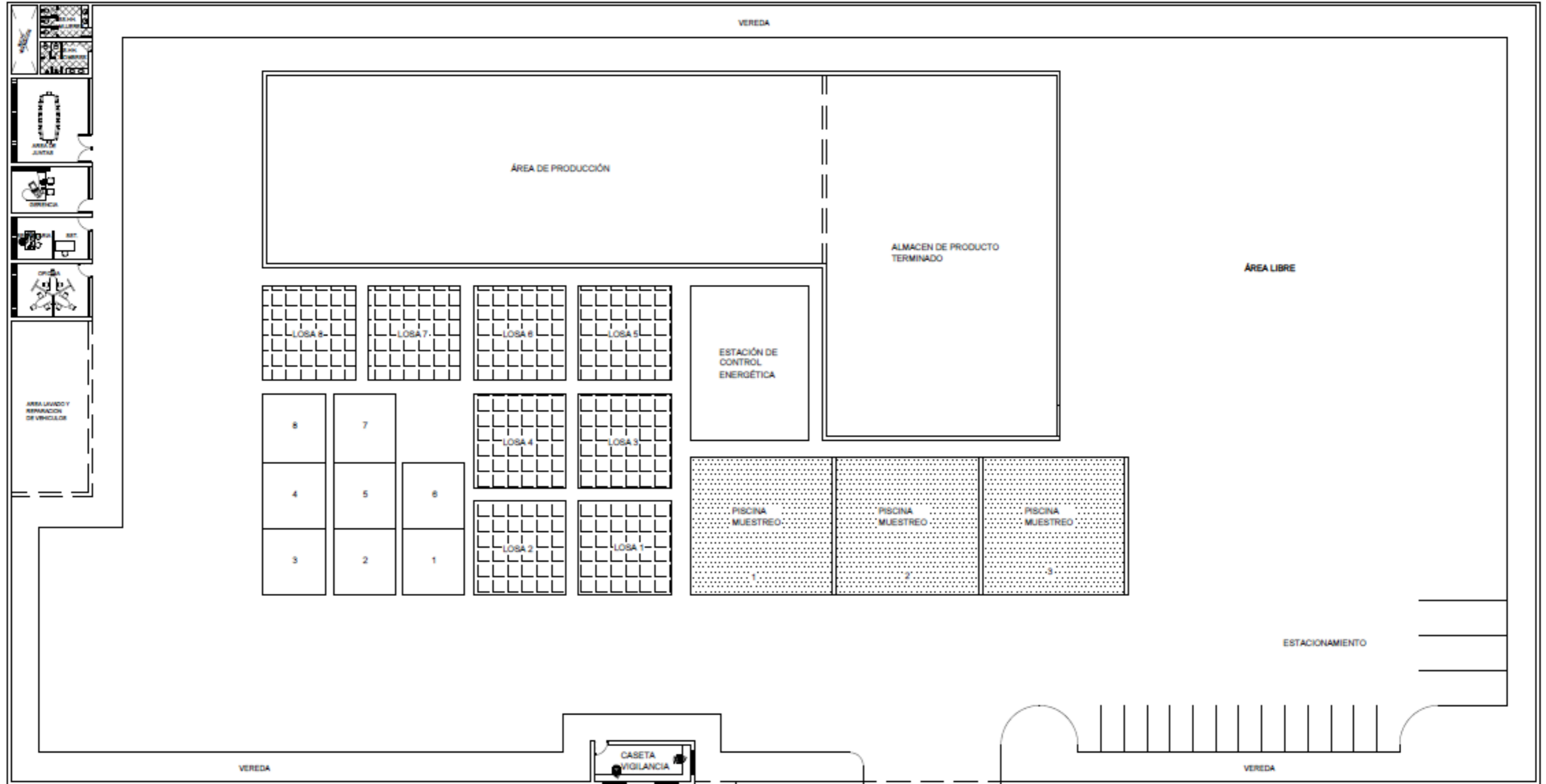
Anexo 7. Registro fotográfico, proceso de envasado



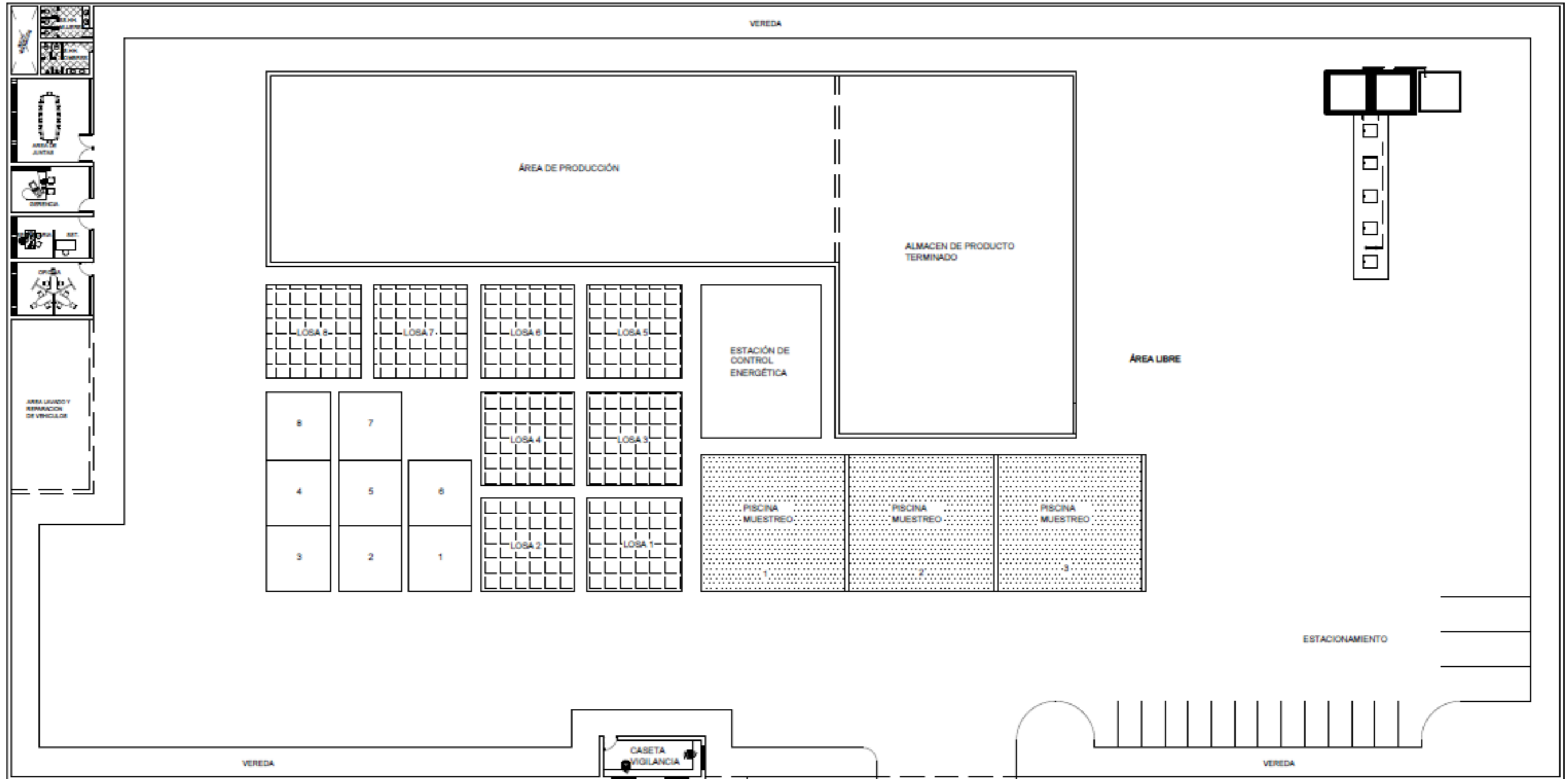
Anexo 8. Registro fotográfico del almacén de producto terminado**Anexo 9. Registro fotográfico del terreno después del vertimiento de aguas ácidas - 1**

Anexo 10. Registro fotográfico del terreno después del vertimiento de aguas ácidas - 2

Anexo 11. Plano de la empresa productora de alimento balanceado

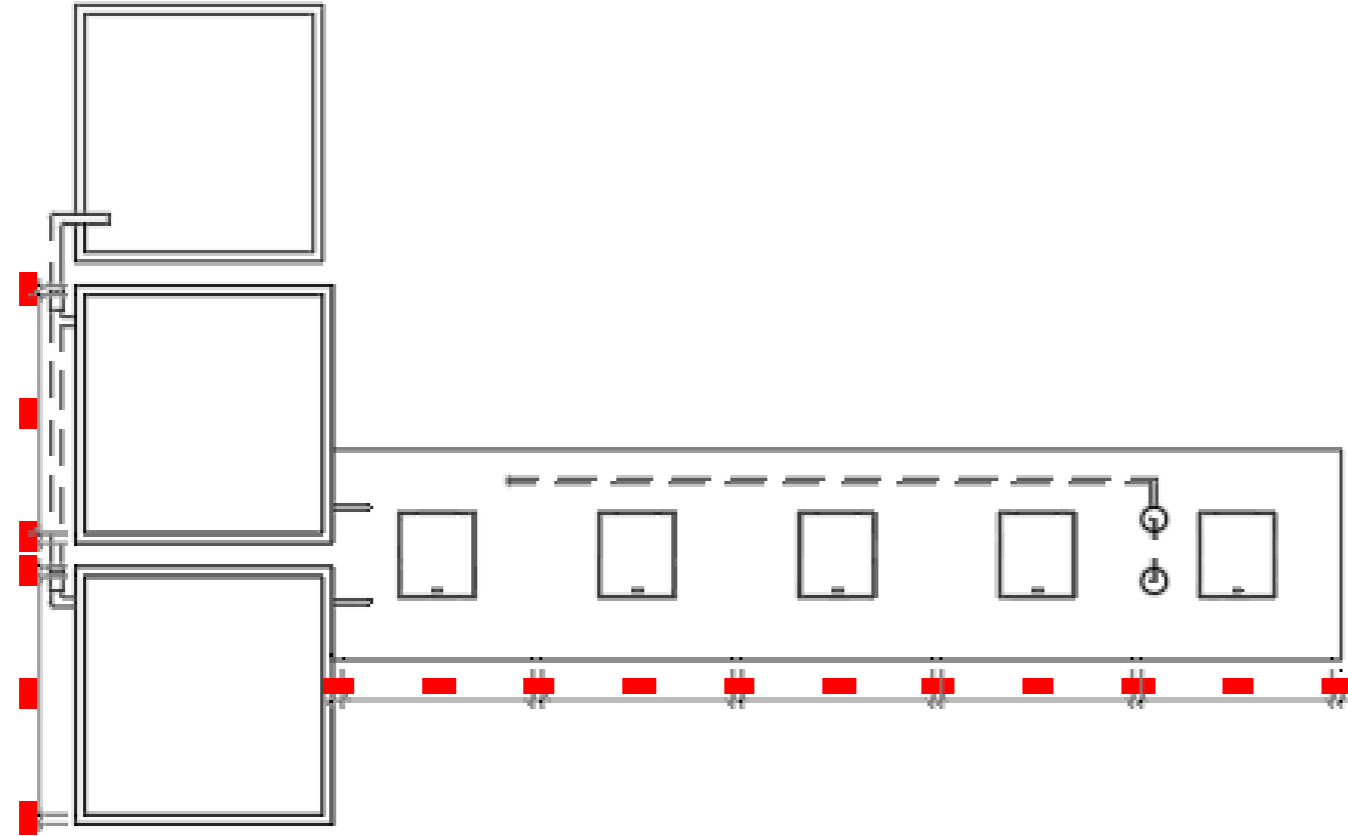


Anexo 12. Plano de la empresa productora de alimento balanceado con el sistema de tratamiento de aguas ácidas implementadas

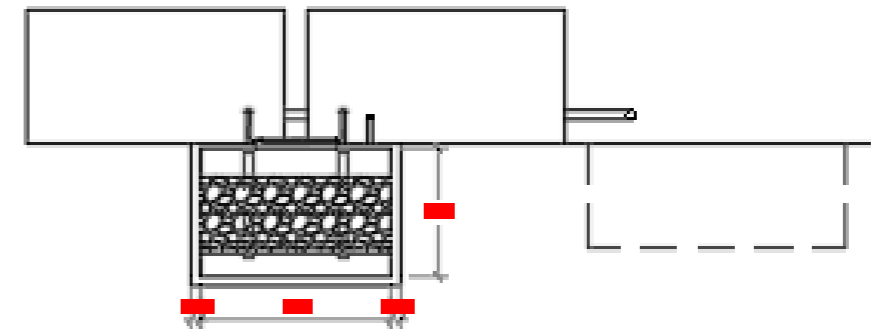


Anexo 13. Vistas del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

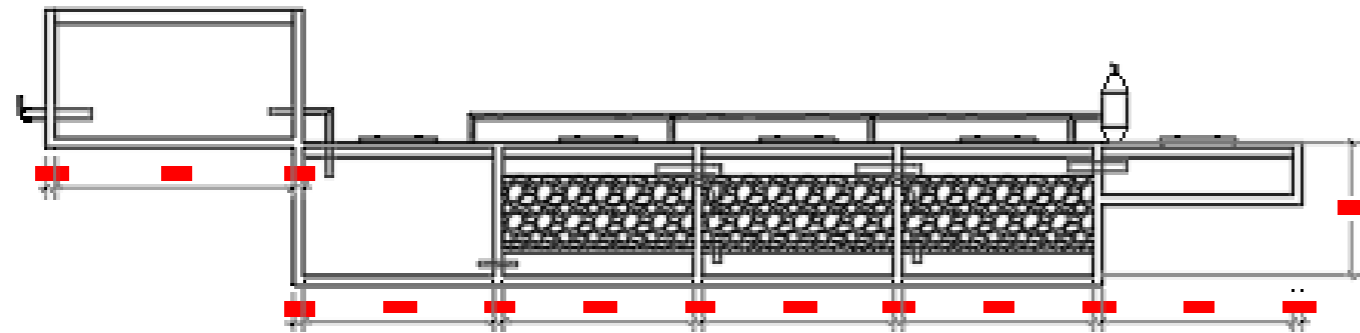
VISTA SUPERIOR



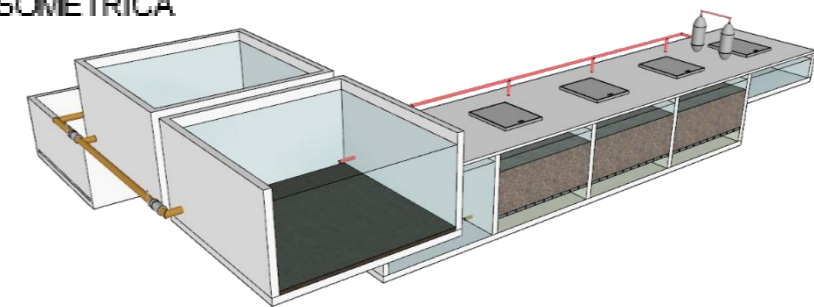
VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL



VISTA ISOMETRICA



Anexo 14. Vista 3d del sistema de tratamiento de aguas ácidas - 1



Anexo 15. Vista 3d del sistema de tratamiento de aguas ácidas – 2



Anexo 16. Vistas del tanque neutralizador

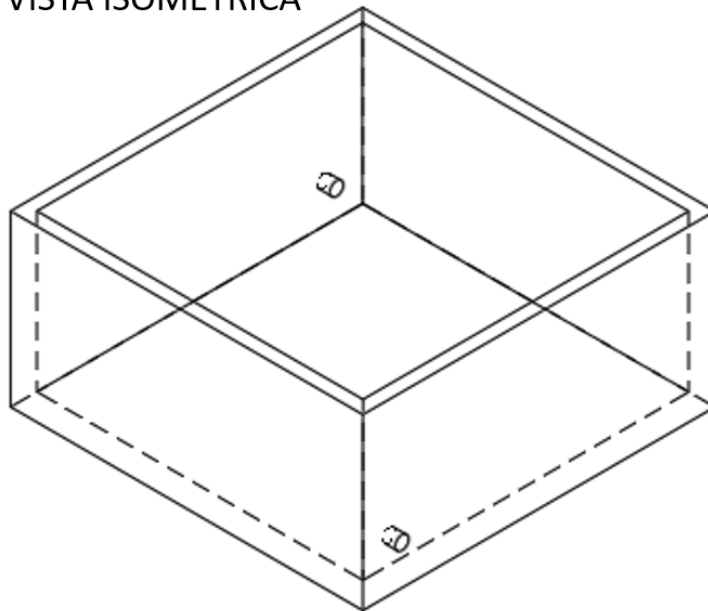
VISTA FRONTAL



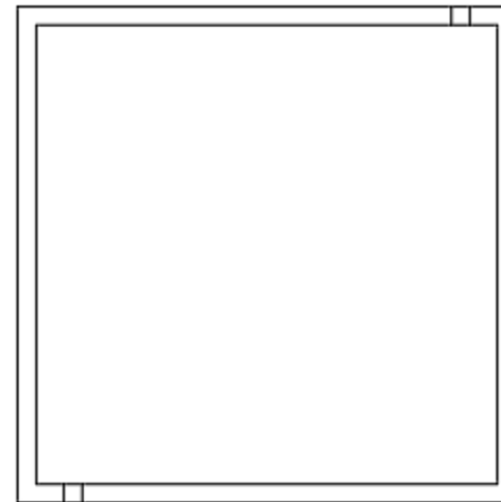
VISTA LATERAL




VISTA ISOMETRICA

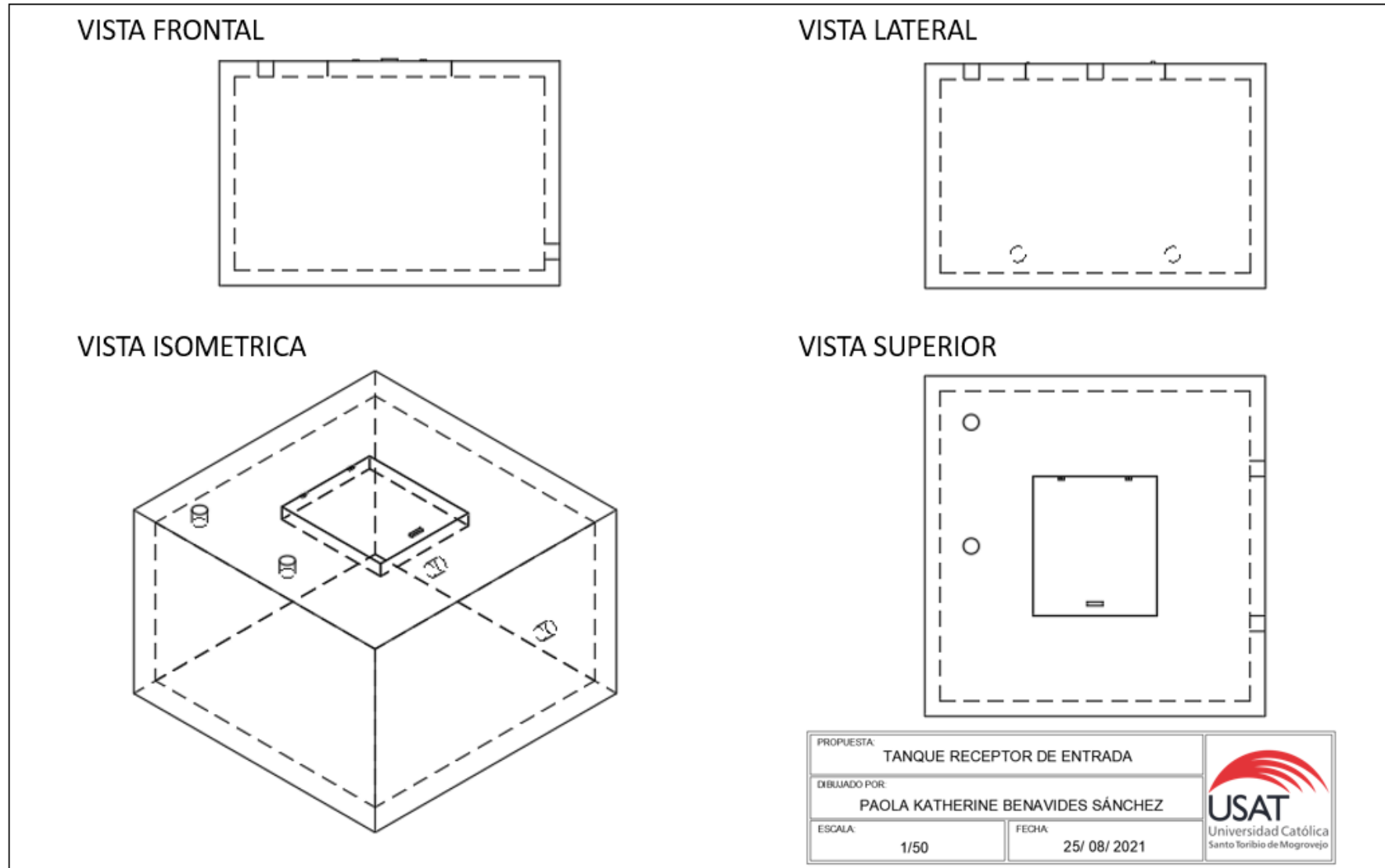


VISTA SUPERIOR



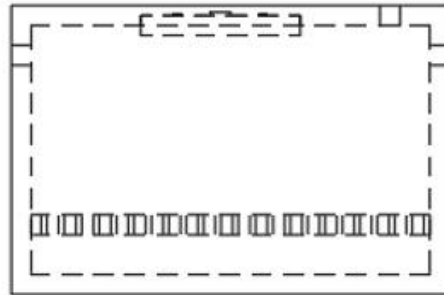
PROPUESTA:	TANQUE NEUTRALIZADOR		
DIBUJADO POR:	PAOLA KATHERINE BENAVIDES SÁNCHEZ		
ESCALA:	1/50	FECHA:	

Anexo 17. Vistas de Tanque receptor de entrada

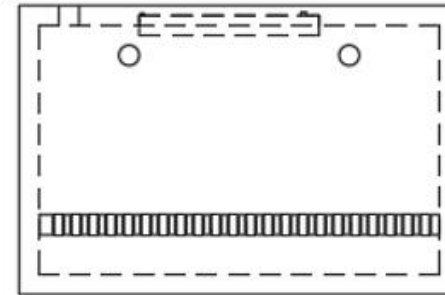


Anexo 18. Vistas cámara FAFA

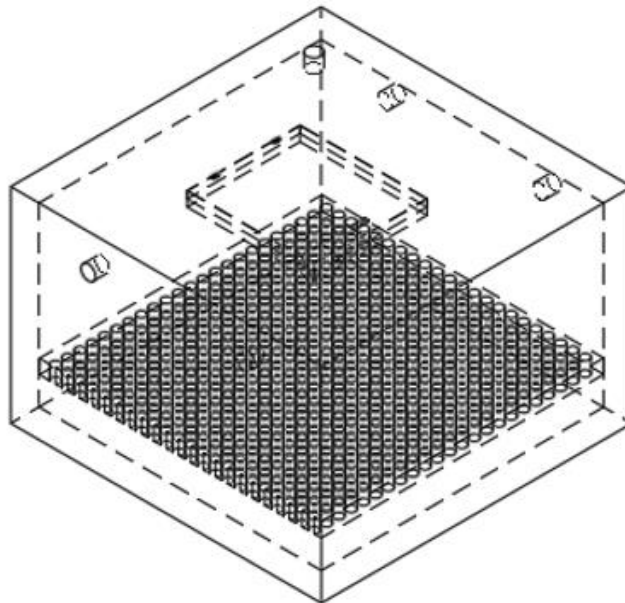
VISTA FRONTAL



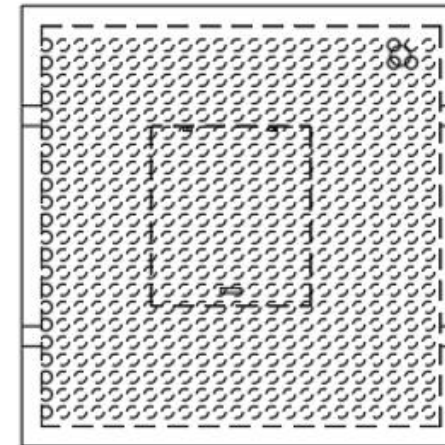
VISTA LATERAL



VISTA ISOMETRICA



VISTA SUPERIOR



PROPUESTA:	CÁMARA FAFA	
DIBUJADO POR:	PAOLA KATHERINE BENAVIDES SÁNCHEZ	
ESCALA:	1/50	
FECHA:	25/ 08/ 2021	

Anexo 19. Vistas tanque receptor salida

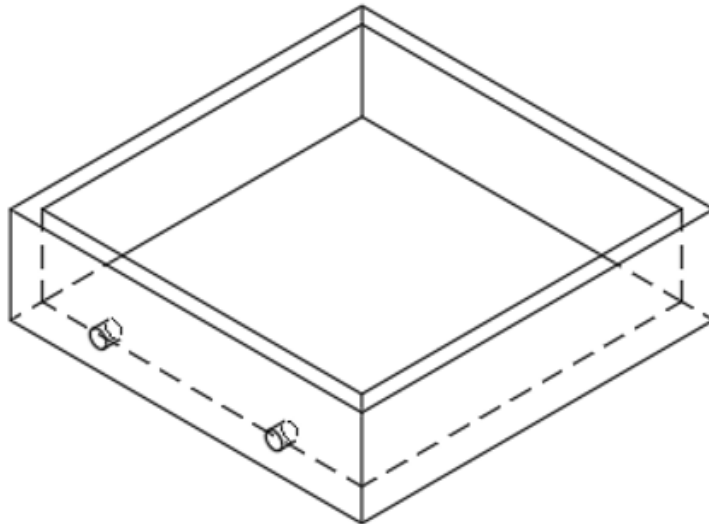
VISTA FRONTAL



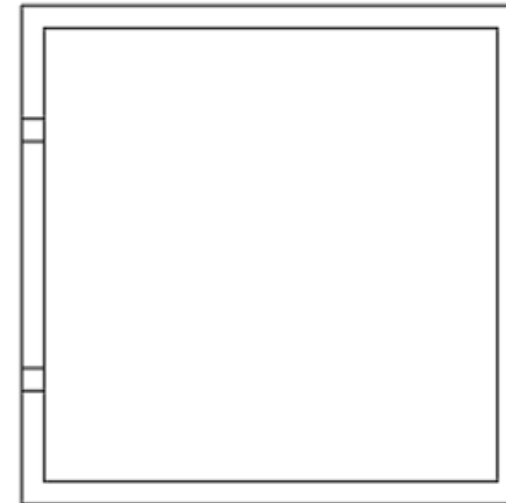
VISTA LATERAL



VISTA ISOMETRICA



VISTA SUPERIOR



PROPUESTA:	TANQUE RECEPTOR SALIDA		
DIBUJADO POR:	PAOLA KATHERINE BENAVIDES SÁNCHEZ		
ESCALA:	1/50	FECHA:	25/ 08/ 2021
			 USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

Anexo 20. Vistas loza secado de lodos

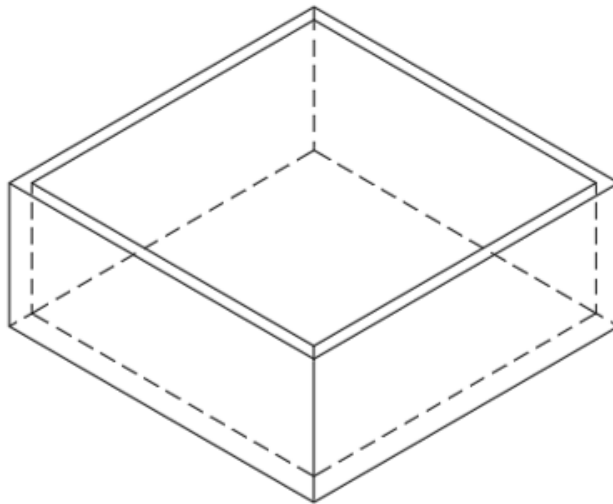
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL




VISTA ISOMETRICA



VISTA SUPERIOR



PROPUESTA:	LOZA DE SECADO DE LODOS		
DIBUJADO POR:	PAOLA KATHERINE BENAVIDES SÁNCHEZ		
ESCALA:	1/50		FECHA: