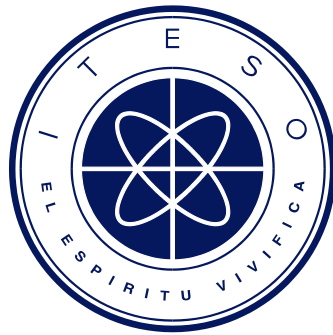


# **Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente**

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial  
15018, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de noviembre de 1976.

---

Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales  
Maestría en Ingeniería de Productos y Procesos



## **DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA REDUCIR LOS COSTOS DE INVERSIÓN DEDICADOS AL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE VINAZAS TEQUILERAS.**

para obtener el grado de

**MAESTRO EN INGENIERÍA DE PRODUCTOS Y PROCESOS**

Presenta: IQ. Andrés Herrera Pérez

Tutor: MC. Nicolás Hernández Gil

Co-Tutor: MC. José Orozco González Aréchiga

Asesor: MC. Rafael González Pérez

San Pedro Tlaquepaque, Jalisco. Diciembre de 2022.

## Tabla de contenidos

<b>Agradecimientos .....</b>	<b>4</b>
<b>Agradecimientos .....</b>	<b>5</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>7</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>8</b>
<b>1. Fundamentación del trabajo.....</b>	<b>9</b>
1.1. Identificación y caracterización del problema a atender .....	9
1.2. Contexto de la propuesta de intervención .....	18
1.2.1. Contexto de la empresa .....	19
1.2.2. Contexto de la industria tequilera .....	23
1.2.3. Análisis causa-efecto.....	24
1.2.4. Matriz de marco lógico del problema.....	25
1.3. Objetivos de la intervención .....	26
1.4. Delimitaciones y área funcional por intervenir .....	27
1.5. Justificación y pertinencia del trabajo .....	29
<b>2. Marco conceptual o de referencia .....</b>	<b>31</b>
2.1. Estado de la cuestión .....	31
2.2. Conceptos y enfoques teóricos relacionados .....	41
2.3. Herramientas tecnológicas o de innovación consideradas en el trabajo .....	43
<b>3. Soluciones conceptuales.....</b>	<b>45</b>
<b>4. Desarrollo de la ingeniería básica (Ing. Previa) .....</b>	<b>50</b>
4.1. Justificación de la estrategia de intervención.....	51
4.1.1. Consideraciones costo/beneficio de la estrategia.....	53
4.2. Muestra o sujetos de investigación .....	55
<b>5. Exposición de hallazgos .....</b>	<b>57</b>
5.1. Organización de la información obtenida.....	79
5.2. Impacto de la estrategia en la solución del problema.....	79

5.2.1. Alineación con la estrategia general de la organización.....	79
<b>6. Discusión final .....</b>	<b>80</b>
6.1. Consecuencias de la aplicación de la estrategia de innovación .....	80
6.1.1. Aspectos de mejora para intervenciones subsecuentes .....	80
6.2. Relevancia y trascendencia disciplinaria del caso.....	80
<b>Índice de figuras.....</b>	<b>81</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>84</b>
<b>Índice de siglas .....</b>	<b>86</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>87</b>
<b>Anexo 1: Informes de resultados analíticos del CIATEJ, A.C.....</b>	<b>93</b>
<b>Anexo 2: Resultados de diseño del software SIMBA#WATER V4.2 .....</b>	<b>110</b>
<b>Anexo 3: Fichas de costo e ingeniería básica .....</b>	<b>114</b>
<b>Anexo 4: Resumen de resultados de las pruebas de PBM, UDG. ....</b>	<b>117</b>

## Agradecimientos

*A mi madre, Catarina Pérez Pérez*

*Una mujer increíble y tenaz, que me ha mostrado con su ejemplo que la vida está llena de oportunidades, ¡te amo mamá!*

*A mi esposa, María Guadalupe Horner Valencia*

*Mi vida entera, lo eres todo... Agradezco a Dios cada día por permitirme estar contigo.*

*A mi hermano, el doctor Diego Herrera Pérez*

*Eres grande y a tu paso siembras esperanza, ¡tu cosecha es la vida de quienes ponen en tus manos su existencia, te quiero hermano!*

*A mi padrino, el profesor MC. Nicolás Hernández Gil*

*Por permitirme participar en el desarrollo de tu propuesta de reingeniería para el proceso mejorado y guiarme durante todo mi desarrollo profesional.*

*A mi amigo, el profesor MC. José Orozco González Aréchiga*

*Por apoyarme y ayudarme siempre que lo he necesitado, gracias José.*

*A mi amigo, el profesor MC. Rafael González Pérez*

*Por escuchar mis ideas, compartirme tu visión y orientarme, te agradezco por todo Rafa.*

## Agradecimientos

*Al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, A.C.*

*Por brindarme la oportunidad de participar del Programa de Superación del Nivel Académico (PSNA) para cursar este programa de maestría.*

*Al Fondo de Apoyo a la Investigación (FAI) del ITESO, A.C.*

*Por brindarme el apoyo para la realización de las pruebas de actividad metanogénica.*

*Al Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales, especialmente al Dr. Raúl García Huerta*

*Por darme siempre su apoyo en todos los aspectos académicos y facilitarme los equipos, reactivos, espacios de laboratorio y recursos de software (SIMBA#WATER V4.2) para realizar los trabajos requeridos durante el desarrollo del proyecto.*

*A la Maestría en Ingeniería de Productos y Procesos, especialmente al Dr. Carlos González Figueredo*

*Por brindarme siempre su confianza y el apoyo con recursos para la realización de pruebas analíticas.*

*A la empresa, Hacienda de Oro, S.A. de C.V., especialmente al IQ. David Partida Rivera*

*Por haberme brindado todas las facilidades y la confianza para la realización del proyecto.*

*A mis amigos y profesores, Mtra. Hilda del Sagrario Vallín Sánchez, IQ. Armando Marín Ocampo<sup>†</sup>, MC. José de Jesús Rodríguez Padilla, Dr. Luis Edmundo Garrido Sánchez, Mtro. Humberto Valdivia Hernández, Mtro. Fabián Jalil Martínez Gómez, IQ. Alexis Berenice Alonso Barragán, IQ. Guadalupe Esquivel Ortiz, IQ. Paola Valverde León, IQ. Marcos Galindo e IA. Luis Carlos Domínguez Rodríguez.*

*Quienes, con sus ideas, conocimientos e inteligencias diversas, me ayudaron a lograr la conclusión de este trabajo, de otra forma no hubiera sido posible.*

*“Toda pretensión de cuidar y mejorar el mundo supone cambios profundos en «Los estilos de vida, los modelos de producción y de consumo, las estructuras consolidadas de poder que rigen hoy la sociedad»”*

*Carta encíclica, Laudato Si’  
del Santo Padre Francisco  
Sobre el cuidado de la casa común  
2015*

## Resumen

En el presente trabajo se realiza una comparación sobre las características de tratabilidad que presentan las vinazas tequileras recuperadas del proceso convencional de fabricación y un proceso alternativo, que consiste esencialmente en efectuar la separación de una fracción importante del material sólido contenido en el mosto muerto de manera previa a su destilación. El estudio se realizó utilizando mosto muerto proveniente de la empresa Hacienda de Oro, S.A. de C.V.; el lote de partida fue homogeneizado y dividido en dos fracciones de igual volumen, la primera fracción se mantuvo como testigo, sin pasar por el proceso de separación, y a la segunda se realizó la separación de sólidos por centrifugación. Posteriormente cada fracción fue destilada por separado en un alambique de acero inoxidable calentado a vapor, obteniendo rendimientos de los volúmenes y concentración de etanol sin una diferencia apreciable para el destilado ordinario (0.9%). Los residuos de la destilación recuperados del alambique se identificaron como vinazas tipo A2 (convencionales) y B2 (mejoradas), fueron enviadas a un laboratorio acreditado para su análisis y se compararon los valores promedio de los resultados encontrando una reducción estadísticamente significativa en los parámetros contaminantes de interés para su tratamiento por medios biológicos, como lo son, la demanda química de oxígeno total 3.72%, nitrógeno total Kjeldahl 49.65%, fósforo total 11.07% entre otros. Se realizaron los balances de materia carbonácea para cada una de las vinazas motivo del estudio utilizando la cinética correspondiente a sus demandas bioquímicas de oxígeno y se recuperó el indicador de la fracción biodegradable DQOb/DBO con una magnitud de 1.521 para las vinazas A2 y 1.614 para las B2, lo cual representa una fracción biodegradable del 78.32% y 80.12% para sus demandas químicas de oxígeno totales, respectivamente. Los resultados se utilizaron como datos de entrada para efectuar simulaciones con el software SIMBA#WATER V.4.2, empleando configuraciones del sistema con el modelo de digestión anaerobia No. 1 (ADM1) para modelar resultados representativos del tratamiento secundario de las vinazas en reactores de flujo ascendente de manto de lodos (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*, UASB). Se encontró que los volúmenes requeridos para el tratamiento de las vinazas corresponden a 75 y 35 m<sup>3</sup> para las vinazas A2 y B2 respectivamente. El análisis económico de los sistemas de tratamiento se llevó a cabo empleando la comparación del costo anual total (CAT) para y costo por metro cúbico de vinaza tratada para 15 años, encontrando que el CAT de la opción A2 asciende a \$586,789.76, en el caso de la opción B2 el CAT asciende a \$484,255.83. Los estudios efectuados demuestran que existe un potencial de beneficio considerable derivado de la implementación del proceso alternativo.

El “Proceso mejorado para la producción de Tequila y otros destilados de agave” con número de patente MX/a/2016/004087, promovida por el ITESO A.C. y otorgada con fecha 19 de abril de 2022, es una invención del profesor M.C. Nicolás Hernández Gil que representa una alternativa viable y promisoría en el contexto del desarrollo sustentable del sector secundario de transformación y se fundamenta en uno de los principios más importantes de la ingeniería verde: prevenir la generación de residuos. Una vez implementada la transferencia tecnológica del proceso mejorado, es posible lograr una disminución inherente en la carga contaminante de las vinazas y se mejoran sus características de tratabilidad, lo cual conduce a requerimientos de menor capacidad para los sistemas de tratamiento secundario dedicados a las vinazas.

**Palabras clave:** Tequila, Vinaza, Tratamiento Anaerobio, levadura

## Abstract

In the present work, the treatability characteristics of tequila vinasses recovered from the conventional manufacturing process and an alternative process are compared, the alternative process essentially removes a significant fraction of the solid matter contained in the dead must prior to distillation. The study was carried out using dead must from the company Hacienda de Oro S.A. de C.V., the starting batch was homogenized and divided into two fractions of equal volume, the first fraction was kept as a control without solid removal, and the second fraction pass through separation of solids by centrifugation. Each fraction was distilled separately in a steam-heated stainless steel alembic, obtaining volume yields and ethanol concentrations without appreciable difference for the ordinary distillate (0.9% of ethanol in volume). The recovered distillation residues from the still were identified as type A2 (conventional) and B2 (improved) vinasses, they were sent to an accredited laboratory for analysis and the average values of the results were compared, finding a statistically significant reduction on pollutant parameters of interest for biological treatment, such as the total chemical oxygen demand 3.72%, total Kjeldahl nitrogen 49.65% and total phosphorus 11.07% among others. Carbonaceous matter balances were conducted for both vinasses subject of the study using the corresponding kinetics of their biochemical oxygen demands and the indicator of the biodegradable fraction (COD<sub>b</sub>/BOD) was recovered with a magnitude of 1.521 for the A2 vinasses and 1.614) for B2, which represents a biodegradable fraction of 78.32% and 80.12% for their total chemical oxygen demands, respectively. The results were used as input data to carry out simulations with the SIMBA#WATER V.4.2 software, using a system configuration with the anaerobic digestion model No. 1 (ADM1) to reproduce representative results of the secondary treatment of vinasses with upflow anaerobic sludge blanket reactors (UASB), finding that the volumes required for the treatment of vinasses correspond to 75 and 35 m<sup>3</sup> for the A2 and B2 vinasses, respectively. The treatment systems economic analysis was carried out using the comparison of the total annual cost (TAC) and cost per cubic meter of treated vinasses over 15 years, finding that the TAC of option A2 where about to \$586,789.76 by year (128.61 \$/m<sup>3</sup>) and in the case of option B2 the TAC where about \$484,255.83 by year (106.14 \$/m<sup>3</sup>), all indicators in Mexican pesos. The studies show that there is a potential benefit derived from the implementation of the alternative process.

The "Improved Process for the production of Tequila and other agave distillates" with patent number MX/a/2016/004087, promoted by ITESO A.C. and granted on April 19/2022, is an invention of the professor M.C. Nicolás Hernández Gil, which represents a viable and promising alternative in the context of the sustainable development of the secondary transformation sector and is based on one of the most important principles of green engineering, preventing waste generation. Once the technological transfer of the improved process were carried out, it is possible to achieve an inherent decrease in the contaminant load of the vinasses and improve their treatability characteristics, which leads to lower capacity requirements for the secondary treatment systems dedicated to vinasses.

**Key words:** Tequila, Vinasse, Anaerobic Treatment, yeast

## 1. Fundamentación del trabajo

El proyecto se encuentra dedicado a la exploración de los beneficios y limitaciones del “Proceso mejorado para la producción de tequila y otros destilados de agave” en cuanto a las características de tratabilidad de los residuos de la destilación primaria.

El desarrollo hace énfasis en la determinación de la carga contaminante de las vinazas y la reducción que se obtiene al remover las levaduras del mosto antes de su destilación. La obtención de índices de tratabilidad, la capacidad requerida de los sistemas de tratamiento anaerobio, efectuado en reactores de flujo ascendente de manto de lodos, así como, el costo de inversión asociado a la instalación y operación de dichos sistemas, considerando esencialmente la comparación entre los resultados obtenidos para vinazas convencionales y las provenientes del proceso mejorado.

Las expectativas sobre la utilidad y relevancia de los resultados obtenidos en el trabajo de obtención de grado son:

- a) Generar información con carácter de validación, que estimule a micro y pequeños productores de tequila a implementar soluciones de reingeniería, como la propuesta en el proceso mejorado, para lograr una producción con menor impacto en el entorno ambiental.
- b) Promover esquemas que contribuyan de manera significativa en la solución a las problemáticas asociadas a la contaminación ambiental provocada por la industria tequilera en los ámbitos de la iniciativa privada y el sector gubernamental, privilegiando acciones de reingeniería en los procesos productivos que prevengan la contaminación en lugar de efectuar tratamiento directo de los residuos generados.

### 1.1. Identificación y caracterización del problema a atender

La contaminación provocada por las descargas industriales de vinazas provenientes del sector tequilero persiste actualmente como una problemática grave en los municipios de Jalisco que conforman el Paisaje Agavero. Existen pocos prestadores de servicios para el manejo y disposición de vinazas que cuenten con plantas de tratamiento especializadas y baja o nula supervisión por parte de los organismos municipales, que haya logrado mitigar el impacto de estos desechos<sup>1</sup>, a pesar de que

esta zona obtuvo la declaratoria de Patrimonio Mundial por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) en el año 2006<sup>2</sup>, al cumplir con criterios como el de exhibir un importante intercambio de valores humanos y ser un ejemplo sobresaliente de la interacción humana con el medio ambiente<sup>3</sup>, y no es sino hasta finales del año 2019 que el gobierno estatal y el Consejo Regulador del Tequila (CRT) establecieron un acuerdo para la protección del medio ambiente que presenta las bases de un esquema de cooperación institucional entre autoridades y tequileras para mejorar la producción evitando daños al medio ambiente, con el cual se plantea un aumento importante en el tratamiento de las vinazas<sup>4</sup>.

De manera más reciente, el 11 de julio de 2022, con el objetivo de impulsar proyectos relacionados con la sustitución del uso de combustibles fósiles, el tratamiento de vinazas, el empleo de energías renovables y la eficiencia energética en la cadena Agave-Tequila, la Agencia de Energía del Estado de Jalisco (AEEJ) y el CRT firmaron un convenio de colaboración, que busca el desarrollo sostenible en esta industria<sup>5</sup>.

De acuerdo a la estimación realizada en el estudio, “Desarrollo de una estrategia de sustentabilidad de la cadena Agave-Tequila”, efectuado en el año 2016 por el Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos Sobre Energía y Medio Ambiente A.C.<sup>6</sup>, en el cual se utilizó información proveniente de 11 empresas participantes que aportaron el 70% de la producción registrada en el año 2014, así como la información proporcionada por el CRT, la producción total de tequila en el año 2014 ascendió a 242,000 metros cúbicos en una base al 40% v.v. y se generaron vinazas por un volumen total de 1’600,000 metros cúbicos, de las cuales 752,000 metros cúbicos (47%) pasaron a través de una planta de tratamiento, 192,000 metros cúbicos (12%) fueron dedicados a procesos de compostaje con bagazo y 656,000 metros cúbicos (41%) no pasaron a través de un proceso de tratamiento secundario.

La caracterización fisicoquímica de las vinazas al presentar contenidos sumamente altos de materia orgánica y nutrientes, aunado a una tasa de generación de entre 10 y 12 litros por cada litro de tequila<sup>7</sup>, las convierten en una problemática compleja, que solo grandes productores que cuentan con la tecnología y los recursos necesarios pueden realizar su tratamiento de manera efectiva<sup>8</sup>.

La tecnología dedicada al tratamiento de vinazas que permite reducir los contaminantes a valores de concentración menores a los especificados como límites permisibles para su descarga, establecidos en las normas oficiales mexicanas, NOM-064-ECOL-1994<sup>9</sup>, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de la destilería, y la norma NOM-001-SEMARNAT-2021<sup>10</sup>, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación, mostrados en la tabla 1.0, pueden lograrse con tecnología disponible en el mercado internacional<sup>11</sup> y se ha utilizado desde principios de los años 1980 para el tratamiento de efluentes provenientes de la destilación<sup>12</sup>.

Parámetro Promedio diario [=] mg/L	Norma Oficial Mexicana	
	NOM- 064-ECOL-1994	NOM-001-SEMARNAT-2021*
Demanda Bioquímica de Oxígeno	200	No regulada ≈ 60**
Demanda Química de Oxígeno	260	180
Nitrógeno total	10	30
Fósforo total	5	18
* Promedio diario para ríos, arroyos, canales y drenes.		
** Calculado a partir de una DQO total de 180 mg/L con un índice de biodegradabilidad IBD $\equiv$ DQO/DBO $\approx$ 3 considerando agua residual tratada.		

Tabla 1.0, límites permisibles de contaminantes básicos para demanda de oxígeno y nutrientes.

Sin embargo, dicha tecnología ha resultado inaccesible o existe resistencia por parte de micro y pequeños productores en cuanto a su implementación, por una o varias de las siguientes razones:

- Elevados costos del proyecto y para la instalación de los sistemas de tratamiento con tecnologías registradas y consideradas líderes en el mercado<sup>13</sup>, promovidas por corporativos que comercializan exclusivamente sus equipos y sistemas patentados, quedando fuera del alcance de micro y pequeños productores<sup>14, 15</sup>.

En este contexto particular, una posible solución serían los esquemas de asociación entre los productores, sin embargo, a la fecha no se tiene noticia sobre un incentivo regulatorio por parte de las autoridades de los tres niveles de gobierno ni el CRT para facilitar esta vía, si bien, han existido esfuerzos periódicos aislados para dar a conocer la existencia y avances en el uso de tecnologías adecuadas para

el tratamiento de vinazas tequileras y la experiencia de los productores, como el efectuado el mes de agosto de 2013, en el que se realizó el “Foro De Sustentabilidad Ambiental de la Industria Tequilera”, evento organizado por el gobierno del estado de Jalisco en el cual participaron centros de investigación, universidades y el sector productivo; en el mes de marzo de 2016, se realizó el “Primer Foro Regional Sobre El Tratamiento de Vinazas”, evento organizado por el gobierno municipal de Arandas y nuevamente en el mes de octubre de 2022, en el que se realizó el “Primer congreso ambiental de la industria tequilera”.

- Cargas de sustrato insuficientes para obtener flujos de biogás aprovechables, provenientes de cultivos anaerobios y/o baja calidad del biogás obtenido durante el proceso de tratamiento, dado que el biogás de baja calidad no cuenta con un contenido de metano que facilite su combustión, lo anterior derivado de sus características<sup>16</sup> y los volúmenes de vinaza generados de manera independiente por micro y pequeños productores. Este aspecto también sugiere que la asociación de productores permitiría obtener mayores volúmenes de descarga que podrían ser alimentados a una planta de tratamiento dedicada y financiada con recursos de los productores asociados.
- Experiencia histórica por parte de micro y pequeños productores que han optado por seleccionar tecnologías más disponibles en el mercado local, pero que han resultado inadecuadas para el tratamiento de vinazas, atendiendo a las recomendaciones de proveedores especializados en el tratamiento de aguas residuales con características contaminantes esencialmente distintas.

En el trabajo de revisión de López-López<sup>7</sup> y otros, se presenta un resumen de los sistemas más comúnmente empleados a nivel industrial para el tratamiento de vinazas tequileras, de este se ha recuperado parte de la información para desarrollar la tabla 2.0, en la que se muestra el detalle sobre la secuencia de operaciones unitarias incluidas en distintos trenes de tratamiento dedicados a lograr un nivel progresivo en la calidad del efluente, las normas oficiales mexicanas vigentes y se señalan diversos motivos de reúso del agua tratada. Los trenes de tratamiento han sido subdivididos en cuanto a sus características, en el grupo de I a III se incluyen procesos unitarios para el tratamiento primario que no logran niveles normativos, del IV a VIII se agregan los procesos para el tratamiento secundario considerando la coagulación – floculación como desbaste grueso y del IX a XIII considerando la digestión

anaerobia, aspectos claramente diferenciables de un proceso de tratamiento fisicoquímico y otro biológico respectivamente, en ambos casos el tratamiento aerobio es esencial como pulimento del efluente secundario e incluyen un tratamiento terciario con motivo de su desinfección y acondicionamiento para reúso en procesos productivos.

Una de las empresas productoras de tequila más grandes del estado, cuenta con una planta de tratamiento biológico basado en el principio de hibridación con una etapa de tratamiento secundario (anaerobio – aerobio) diseñada para una capacidad nominal de 1,100 m<sup>3</sup>/d. Esta planta recibe las vinazas provenientes de la destilación en un tanque de acondicionamiento en el cual se realiza la regulación del pH desde un valor 3.5 hasta 6.0 aproximadamente, mediante la inyección de una solución de hidróxido de sodio y se agita con ayuda de dos bombas de recirculación.

Las vinazas neutralizadas pasan a un digestor anaerobio en el cual se realiza el desbaste grueso de materia carbonácea, habilitado con un separador de gases en la parte superior para recuperar el biogás, mismo que se utiliza para mantener operando el digestor a una temperatura de 30° C empleando un intercambiador de calor a fuego directo, acoplado a una bomba de recirculación, mientras que el biogás excedente es quemado en un sistema de antorchas.

El cultivo anaerobio se mantiene en condiciones adecuadas de operación en cuanto a la relación de nutrientes y micronutrientes suplementarios con dos tanques alimentadores, el primero con una solución de urea y el segundo con una solución de cloruro férrico, níquel, cinc, cobalto y molibdeno.

El efluente del digestor anaerobio se trata en una unidad de flotación por aire disuelto (DAF) en la cual se hace el agregado de sulfato de aluminio como coagulante y un polímero para mejorar el desempeño de la unidad. Posteriormente, las aguas se pulen en una laguna aireada habilitada como sistema para cultivo de lodos activados que cuenta con un sedimentador secundario y una línea de recirculación de lodos. Los lodos residuales del proceso anaerobio y aerobio pueden ser empleados para el composteo de bagazo.

El efluente clarificado de la laguna aireada pasa por un sistema de desinfección que incluye un tanque de contacto y dosificación de una solución de hipoclorito de sodio.

Podría agregarse que es un claro ejemplo de la combinación de los trenes VII y XII de la tabla 2.0, con la diferencia de que la filtración se ha cambiado por tecnología DAF intercalada entre el proceso anaerobio y aerobio, dando cuenta de la factibilidad del tratamiento de vinazas por parte de un gran productor de tequila, evidenciando el nivel tecnológico necesario para lograr las condiciones particulares de descarga establecidas por las autoridades y el grado de supervisión, control e instrumentación requerido para mantener este tipo de infraestructura de tratamiento, considerando un plan de continuidad de negocio que le proporciona a la empresa robustez ante escenarios de variabilidad en su producción y le asegura el no estar expuesta a desviaciones importantes sobre las especificaciones operativas del sistema de tratamiento.

Tipo	Procesos unitarios de tratamiento y secuencia									Nivel de tratamiento (Descarga/uso)
	Primario			Secundario				Terciario		
	Enfriamiento	Sedimentación	Regulación de pH $\geq 6$	Proceso anaerobio	Coagulación Floculación	Proceso aerobio	Filtración	Desinfección	Ozonificación	
I										Insuficiente
II										Insuficiente
III										Insuficiente
IV										Alcantarillado
V										Alcantarillado / Cuerpos receptores
VI										Alcantarillado / Cuerpos receptores
VII										Cuerpos receptores / Reúso público urbano
VIII										Reúso en procesos productivos
IX										Alcantarillado
X										Alcantarillado / Cuerpos receptores
XI										Alcantarillado / Cuerpos receptores
XII										Cuerpos receptores / Reúso público urbano
XIII										Reúso en procesos productivos
NOM-001-SEMARNAT-2021 (Descarga a cuerpos receptores)						Reúso en procesos productivos (sistemas de enfriamiento)				
NOM-002-SEMARNAT-1996 (Descarga al sistema de alcantarillado)						Nota: En el caso de descarga alcantarillado urbano, es necesario consultar los reglamentos municipales vigentes y/o las condiciones particulares de descarga (CPD) establecidas para al productor.				
NOM-003-SEMARNAT-1996 (Reúso público urbano)										

*Tabla 2.0, trenes de tratamiento dedicados a lograr un nivel progresivo de calidad en el efluente y motivos de reúso del agua tratada.*

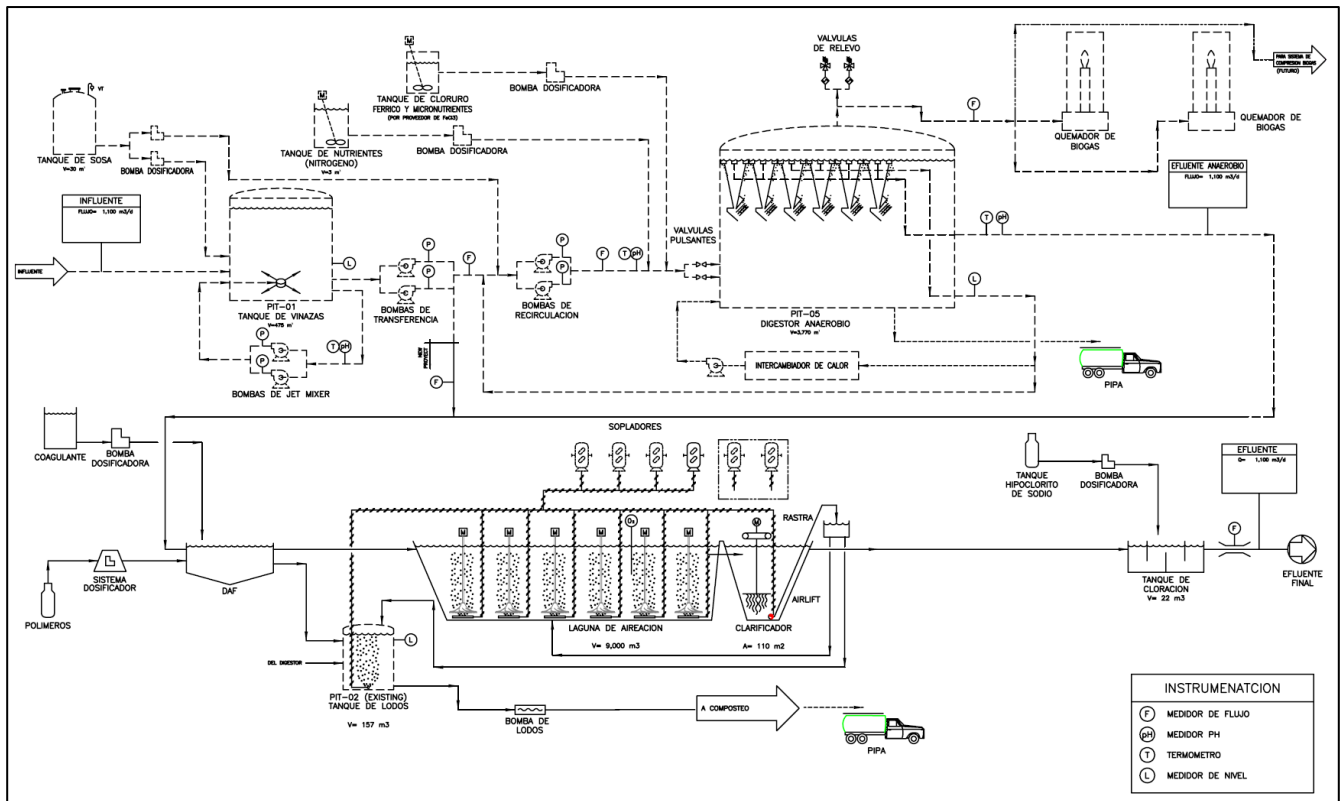


Figura 1.0, diagrama de una planta de tratamiento biológico para vinazas, basado en el principio de hibridación (anaerobio – aerobio) con capacidad nominal de 1,100 m<sup>3</sup>/día<sup>56</sup>.

La Procuraduría Estatal de Protección al Ambiente del estado de Jalisco (PROEPA) reporta en sus informes anuales de los años 2016 – 2019<sup>17</sup>, una aparente reducción en el porcentaje de empresas productoras de tequila que fueron inspeccionadas y que presentaron irregularidades en materia ambiental, siendo el control de sus residuos sólidos y descargas uno de los aspectos evaluados. A finales del año 2019, una tequilera ubicada en el municipio de Amatitán fue clausurada parcialmente por la PROEPA después de atender a un proceso de denuncia ciudadana al ser identificados una serie de escurrimientos de vinazas provenientes de la empresa, vertidos sobre terreno natural a través de un sembradío de agave aldaño y un canal pluvial, de acuerdo a la información contenida en la publicación<sup>18</sup>, los responsables de la empresa no lograron demostrar el manejo adecuado de sus vinazas conforme a la Ley de Gestión Integral para el Manejo de Residuos del Estado de Jalisco, capítulo IV artículo 88 fracción VII inciso a), Sanciones Administrativas al infractor derivadas de violaciones a la Ley que provocan clausura temporal o parcial por no haberse cumplido las condiciones impuestas por la autoridad estatal.



*Figura 2.0, evidencia del manejo inadecuado de vinazas, descarga sobre cultivo de agave<sup>18</sup>*

Por lo anteriormente señalado, es evidente que el vector de riesgo no ha sido atendido apropiadamente y la autoridad estatal no ha presentado los avances explícitos de sus procesos de gestión, considerando el número de empresas productoras que han incorporado el tratamiento de sus vinazas ni se han emitido por parte del CRT los resultados de los indicadores de la estrategia de sustentabilidad propuestos<sup>6</sup>, de entre los cuales destaca el porcentaje de agua tratada con una meta del 70% en el año 2020, así como los siguientes compromisos:

- Reportar los avances en la estrategia de sustentabilidad.
- Desarrollar un sistema de información y contabilidad ambiental.
- Crear una cadena de suministro sustentable.
- Certificar los procedimientos de los proveedores y de los prestadores de servicios ambientales.
- Reducir la utilización de agroquímicos con alta huella de carbono y alto impacto ambiental y a la salud.

En la versión particular de pequeños productores entrevistados, se ha mencionado que:

*“El tema se encuentra olvidado y se acuerdan ahí después de algunos años, todo es cosa de política, hay mucha corrupción.”*

Entre otras percepciones que no favorecen el desarrollo del sector y acentúan la resistencia de la iniciativa privada para implementar los sistemas de tratamiento requeridos para las vinazas.

En vista del contexto anterior y considerando el primer principio de la ingeniería verde<sup>19</sup>, prevenir la generación de residuos en lugar de efectuar acciones de tratamiento después de haber sido generados, mismo que constituye un enfoque innovador en el entorno de la producción del tequila, que implica modificaciones en los procesos de producción y labores de reingeniería para su incorporación. En este sentido, los trabajos de Hernández-Gil<sup>20-24</sup> y sus colaboradores se han enfocado en el estudio de oportunidades y alternativas al proceso convencional de producción de tequila con los siguientes objetivos:

- Reducir la carga contaminante de las vinazas producidas al efectuar una separación de componentes sólidos contenidos en el mosto fermentado previo a su destilación<sup>20</sup>.
- Obtener subproductos con valor agregado a partir de los sólidos separados del mosto fermentado y las vinazas<sup>21</sup>.
- Identificar la eficiencia de remoción para sólidos contenidos en vinazas a través de operaciones unitarias de separación mecánica y determinación de poder calorífico de los sólidos recuperados<sup>22</sup>.
- Identificar la eficiencia de remoción de DQO y nitrógeno total para procesos de tratamiento anaerobios asistidos por agregados enzimáticos<sup>23</sup>.
- Identificar las diferencias en cuanto a la capacidad buffer de las vinazas al pasar por operaciones unitarias de separación mecánica previo a la regulación de pH con fines de acondicionamiento para su tratamiento biológico en sistemas anaerobios<sup>24</sup>.

La oportunidad que explora el presente proyecto consiste en continuar con los trabajos de Hernández-Gil efectuando un “DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA REDUCIR LOS COSTOS DE INVERSIÓN DEDICADOS AL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE VINAZAS TEQUILERAS”, considerando la premisa planteada a través de la siguiente hipótesis general:

*“Al efectuar la separación de componentes sólidos contenidos en el mosto fermentado previo a su destilación, el contenido de materia orgánica y nutrientes de los efluentes provenientes de la destilación se puede ver reducido y con ello se podrían mejorar sus características de tratabilidad, con lo cual se espera una reducción en la capacidad de la infraestructura de los sistemas de tratamiento dedicado.”*

Los resultados de este proyecto contribuyen a promover el desarrollo sustentable de la industria tequilera, brindando información que haga evidente:

-Los beneficios y limitaciones resultantes de la posible implementación del proceso mejorado para la producción de tequila y otros destilados de agave, para generar efluentes de la destilación con menor carga contaminante y características fisicoquímicas esencialmente distintas a las obtenidas a través del proceso convencional.

-Las diferencias en las capacidades y costo de la infraestructura de tratamiento requeridos para las dos alternativas bajo un esquema de ingeniería básica.

## **1.2. Contexto de la propuesta de intervención**

Para el desarrollo del proyecto se cuenta con el apoyo de la empresa Hacienda de Oro, S.A. de C.V., misma que ha manifestado a través de sus directivos el compromiso con aspectos vinculados al desarrollo sustentable y se ha celebrado un acuerdo de colaboración que incluye los siguientes alcances:

1.- Contar con acceso a información relacionada a las áreas de producción de tequila comprendiendo condiciones y especificaciones de proceso, cantidades de materia prima, volúmenes recuperados de productos, subproductos y residuos.

2.- Contar con acceso a planta productiva para efectuar el muestreo y disposición de materias primas, productos intermedios, productos finales y vinazas en los volúmenes mínimos indispensables para realizar análisis fisicoquímicos y microbiológicos en laboratorio.

3.- Contar con el apoyo del Ing. David Partida Rivera, mentor asignado por la empresa, quien se hará cargo de efectuar un acompañamiento y asesoría durante el desarrollo del proyecto para asegurar la aplicabilidad de los resultados y verificar que los intereses de la empresa se conserven. Asimismo, brindará el apoyo necesario para el acceso a la información y tendrá capacidad de negociación para la realización de posibles esquemas de pruebas en planta.

### 1.2.1. Contexto de la empresa

Hacienda de Oro, S.A. de C.V., fue fundada en el año de 1999 por el Ing. David Partida en honor a sus padres Don Enrique Partida y Doña Josefina Zúñiga<sup>25</sup>.

La empresa cuenta con alrededor de 570 hectáreas de plantaciones de agave en terrenos del municipio de Amatitán, Jalisco. La jima es realizada al pasar 7 años para su maduración, las piñas pueden llegar a pesar hasta 150 kg y son utilizadas para la producción del tequila, con un requerimiento aproximado de 7 kg de piñas de agave maduro para producir 1 L de tequila 100% agave al 55% v.v.

Antes de que el agave ingrese a las instalaciones, se realiza un análisis del contenido de azúcares para corroborar que cumple con sus especificaciones y de este modo puedan ser aprobadas para la producción.



*Figura 3.0, cultivos de agave y piñas en proceso de recepción<sup>25</sup>*

La cocción de las piñas se realiza en autoclaves de acero inoxidable que cuecen el agave a vapor por 15 horas a 120° C aproximadamente, con lo cual es posible recuperar una mayor cantidad de azúcares de las piñas. La extracción del jugo de agave cocido se realiza con equipos desgarradores y molinos en los cuales se adiciona agua para aumentar la recuperación de azúcares.

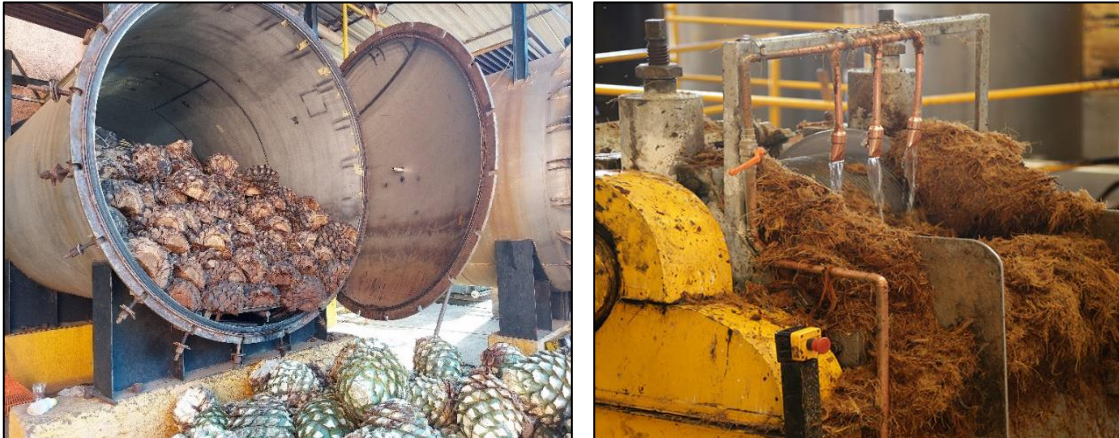


Figura 3.1, autoclaves descargando piñas cocida<sup>26</sup> y desgarradores en proceso de extracción<sup>25</sup>.

La fermentación de los jugos de agave, también llamados “mosto”, pasa 3 días en contacto con levaduras que transforman los azúcares en alcoholes. Al término de este periodo, los jugos fermentados adoptan el nombre de “mosto muerto”. La destilación se realiza en alambiques de acero inoxidable y consta de dos etapas, mediante las cuales se separan impurezas como alcoholes dañinos y la mayoría de agua contenida en el mosto muerto, teniendo como resultado el producto tequila blanco 100% de agave azul.



Figura 3.2, fermentadores y alambique para destilación<sup>27</sup>.

El añejamiento del tequila se realiza para obtener el color, aroma y sabor característico del producto, dejándolo reposar en barricas de roble blanco americano de acuerdo a la categoría que se pretenda obtener. El periodo mínimo es de 3 meses para nombrarlo tequila reposado y un año dos meses para convertirse en tequila añejo.



Figura 3.3, barricas de añejamiento y principales productos de la empresa<sup>25</sup>.

De acuerdo a la información proporcionada por el mentor del proyecto, la empresa cuenta con 30 empleados en planta productiva incluyendo personal administrativo, del área de producción y calidad, por lo cual se clasifica de acuerdo al perfil sectorial reportado por Linero-Gil y otros<sup>29</sup> como pequeña empresa conforme a los rangos de la tabla 3.0, y tiene una producción típica anual de entre 400 y 500 metros cúbicos de tequila 100% agave. Es importante señalar que las jornadas de destilación son variables y se considera un promedio de 8 a 10 meses activos durante el año, el resto del tiempo la empresa realiza otros procesos de producción, paros por mantenimiento y/o paros programados conforme a la disponibilidad de agave. Con el fin de especificar la producción diaria de diseño a considerar para el proyecto, se establecieron 1.25 metros cúbicos.

Tipo de empresa	Número de empleados
Micro	≤ 15
Pequeña	16 - 100
Mediana	101 - 250
Grande	> 251

Tabla 3.0, perfil sectorial de productores de tequila<sup>29</sup>.

El polígono de la empresa tiene un área aproximada de 5,600 metros cuadrados en los que se encuentra el edificio administrativo, la nave de producción y áreas de almacenamiento, el área restante corresponde al patio de maniobras y terreno disponible para ampliación. En relación al área disponible, se tiene considerada de manera preliminar un área de aproximadamente 20 x 20 metros (400 metros cuadrados) para una planta de tratamiento de vinazas.

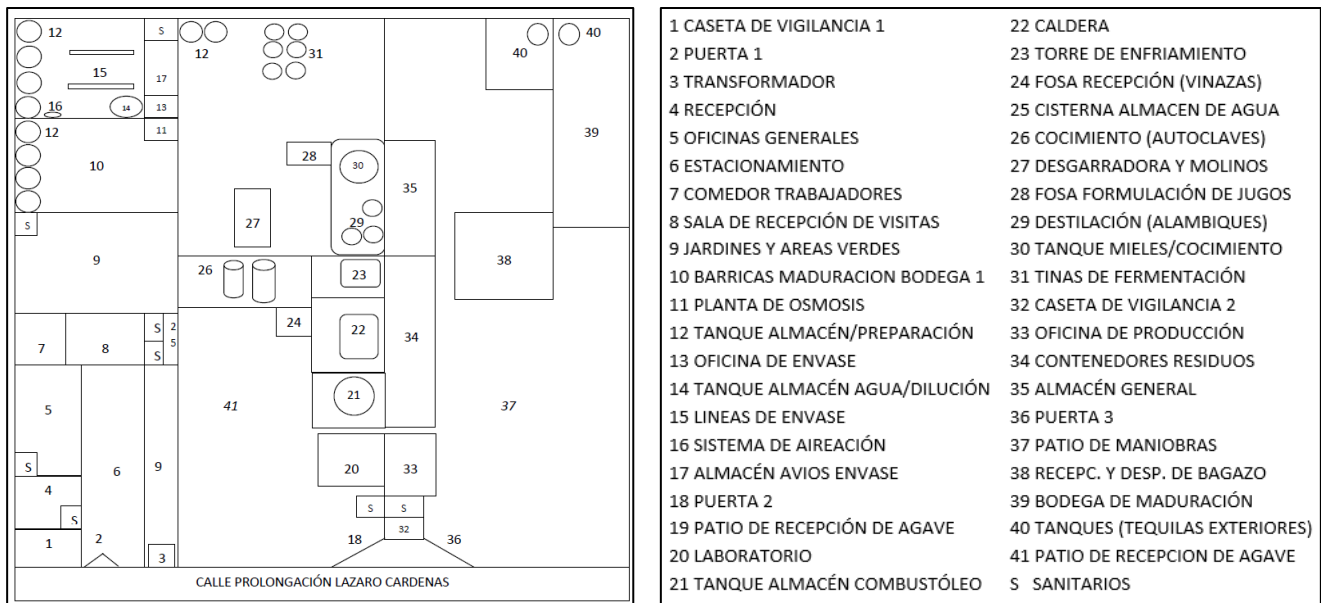


Figura 3.4, diagrama esquemático de distribución de áreas en planta y detalle de simbología<sup>28</sup>.



Figura 3.5, imagen satelital del polígono de la empresa, en verde se señalan los límites de propiedad y en rojo el área donde se pretende la ubicar la planta de tratamiento proyecto.

### 1.2.2. Contexto de la industria tequilera

La industria del tequila sostiene una fracción importante de jaliscienses y es sumamente representativa de nuestro país en el mundo por sus orígenes coloniales, la magnitud de su producción a distintas escalas y su comercialización internacional.

La bebida denominada tequila, también se fabrica en los municipios de Amatitán, Arandas, Atotonilco, El Arenal, Tepatitlán, Ixtlahuacán del Río, Jocotepec, Tlajomulco y Tonaya, siendo estos los principales productores del destilado de agave.

La historia reciente del tequila comienza a finales del siglo XIX, periodo durante el cual, la producción de tequila aportó una cuarta parte del ingreso interno en Jalisco<sup>30</sup>, a mediados del siglo XX ya se contaba con presencia internacional, en gran medida por la difusión sobre el uso de la bebida en las filmaciones realizadas por casas productoras de los Estados Unidos de América. A finales del siglo pasado, se triplicó la producción total de la bebida en un orden de cien a trescientos millones de litros<sup>31</sup>, y el consumo en el mercado nacional pasó de cincuenta a noventa millones de litros.

Las cifras publicadas por el CRT, correspondientes al periodo 2014 – 2018 reportan un gradiente positivo para la producción total de tequila 100% agave, el contraste se encuentra con la producción de otros tequilas que muestra poca variación.

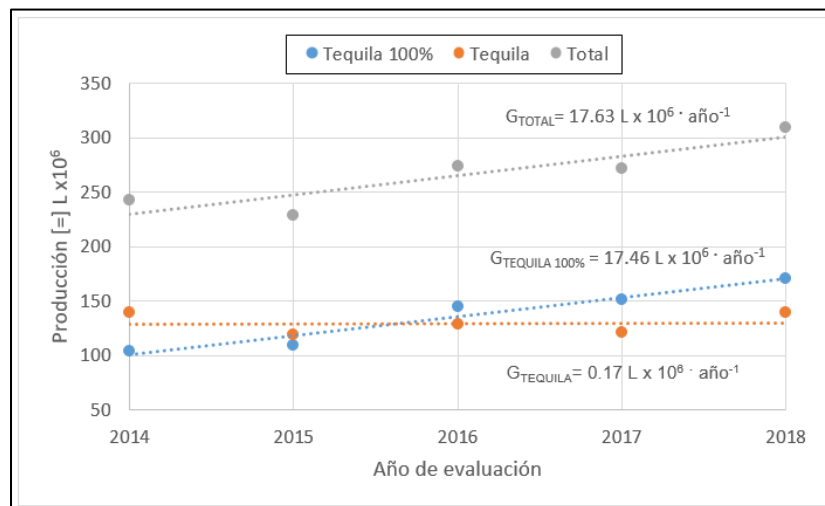


Figura 4.0, gradiente anual en la producción de tequila<sup>31</sup>.

El crecimiento sostenido de esta industria conlleva una demanda sobre el desarrollo de la cadena productiva, que incluye a los principales proveedores, como lo son aquellas empresas que proporcionan las piñas de agave, destilan el mosto fermentado por otras empresas, distribuidores,

comercializadores, entre otros. Algunas de las problemáticas intersectoriales a las que se enfrenta la cadena productiva se mencionan a continuación:

- Los productores de agave, intentan ubicar esta materia prima en un entorno comercial sujeto a un fenómeno de saturación periódica, lo cual provoca incertidumbre y volatilidad de sus precios, sin posibilidad de prever de manera precisa, el momento adecuado para cosechar y emprender nuevos cultivos.
- Los productores de tequila, buscan agave a los precios más bajos, con el objetivo de obtener mayores márgenes de ganancia y mantener un precio competitivo sobre una oferta altamente diversificada.
- Los distribuidores de tequila, toman ventaja de la incertidumbre asociada a la variabilidad en los precios, y mantienen esta situación a través de especulación.
- La Denominación de Origen Tequila (DOT), incluye a los 125 municipios de Jalisco, 8 de Nayarit, 7 de Guanajuato, 30 de Michoacán y 11 Tamaulipas, lo cual reduce las oportunidades de beneficio a medida que se aumenta el alcance sobre la DOT.
- La imagen del sector y la cadena productiva en cuanto a sus impactos ambientales, se ve reflejada en las columnas periodísticas nacionales e internacionales<sup>58</sup>, dado que persisten los titulares relacionados a los daños causados por esta industria.

### **1.2.3. Análisis causa-efecto**

Como resultado del análisis de la problemática y el contexto de la industria, se ha determinado que el efecto central que puede atender el desarrollo del presente proyecto es la contaminación ambiental provocada por las vinazas tequileras y las causas mayores son la descarga de estos desechos que no cuentan con el tratamiento apropiado, la ausencia de control regulatorio, la carga contaminante elevada y su dificultad de tratamiento. Las áreas de intervención consisten en el señalamiento de tecnologías apropiadas para el tratamiento de vinazas, el costeo de infraestructura y la validación de propuestas de reingeniería para la reducción intrínseca de características contaminantes.

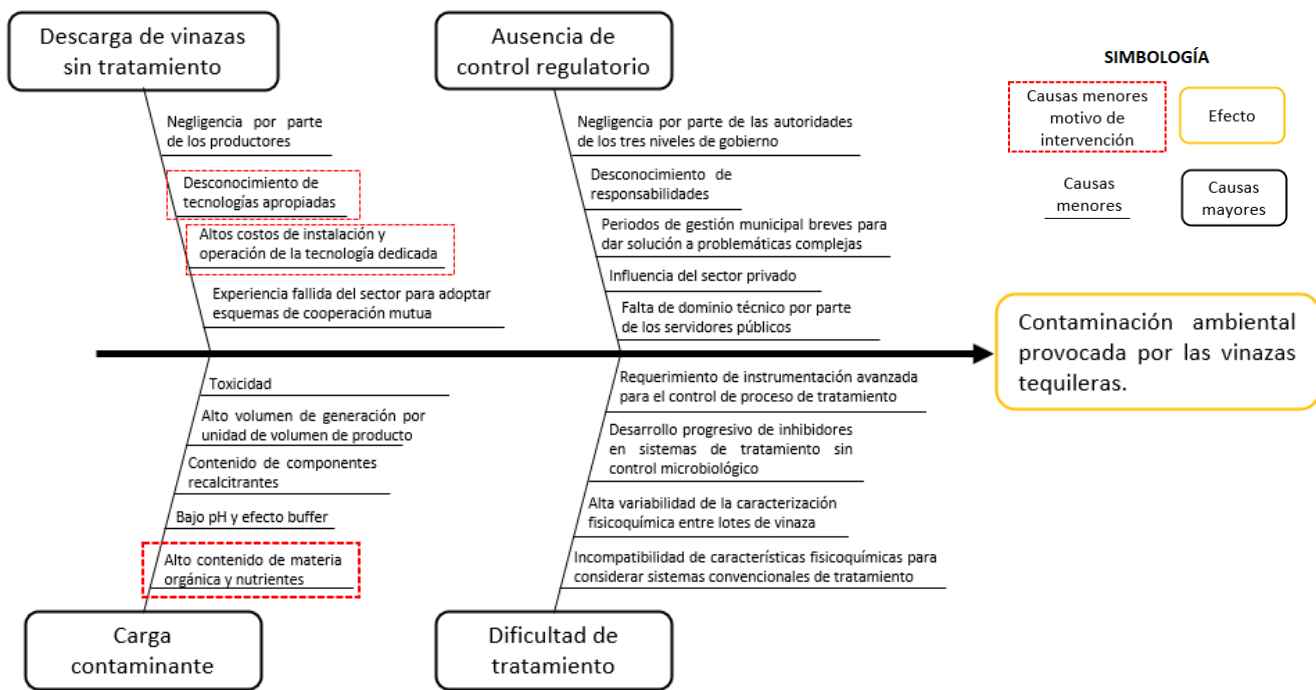


Figura 5.0, diagrama de causa-efecto para la contaminación ambiental provocada por la descarga de vinazas tequileras, se señalan los motivos de intervención sobre los alcances del proyecto.

#### 1.2.4. Matriz de marco lógico del problema

Considerando la problemática señalada, se ha diseñado una matriz de marco lógico para facilitar el proceso de intervención, estableciendo con base en la jerarquía de los objetivos, las metas que se pretende lograr, los indicadores propuestos para medir el avance alcanzado y las fuentes de verificación, a continuación, se presenta la matriz en la cual se han delimitado los aspectos de la problemática motivo de intervención:

Jerarquía de objetivos	Metas	Indicadores	Fuentes de verificación
<b>Fin (propósito)</b>	El desarrollo tecnológico para reducir los costos de inversión dedicados al tratamiento biológico de vinazas tequileras.	Costo anual total y costo de tratamiento por metro cúbico de vinaza.	Comparación de indicadores financieros bajo condiciones de igual oportunidad.
<b>Objetivo general</b>	Evaluar la tratabilidad biológica de las vinazas obtenidas del Proceso mejorado para la producción de tequila y otros destilados de agave <sup>20</sup> .	Demanda química de oxígeno biodegradable y capacidad de la infraestructura de tratamiento.	Comparación de indicadores biológicos y de ingeniería básica bajo condiciones de igual oportunidad.

Jerarquía de objetivos	Metas	Indicadores	Fuentes de verificación
<b>Objetivos particulares</b>	1.-Obtener los rendimientos del destilado ordinario en laboratorio partiendo de volúmenes iguales de mosto, con una expectativa de disminución menor al 1%.	Rendimiento en volumen y concentración en porcentaje en volumen de etanol.	Cálculo de rendimiento teórico.
	2.-Obtener la disminución en la carga contaminante de las vinazas, con una expectativa de cambio en la demanda química de oxígeno, nitrógeno y fósforo.	Resultados de las pruebas analíticas efectuadas por un laboratorio acreditado.	Comparación de indicadores bajo condiciones de igual oportunidad.
	3.-Obtener la aportación a la carga contaminante de las vinazas proveniente de las levaduras contenidas en el mosto, con una expectativa de 1.598, 0.084 y 0.014 gramos de la demanda química de oxígeno, nitrógeno y fósforo respectivamente, por cada gramo de levadura en base seca.	Demanda química de oxígeno teórica por unidad de masa, contenido de nitrógeno y fósforo para las levaduras <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .	Comparación de indicadores y argumentos con base en los valores reportados en las referencias.
	4.-Obtener el índice de biodegradabilidad y las fracciones de la demanda química de oxígeno biodegradable y no biodegradable de las vinazas a partir de balance, con una expectativa mayor al 60 % y menor al 40% respectivamente.	Índice de biodegradabilidad, relación de la demanda química de oxígeno biodegradable entre la demanda bioquímica de oxígeno (DQOb/DBO <sub>5</sub> ) y contenidos porcentuales.	Comparación de indicadores y argumentos con base en los valores reportados en las referencias.
	5.-Obtener la capacidad de la infraestructura de tratamiento por medio de ingeniería básica y simulación.	Pretratamiento, tratamiento etapa primaria, acondicionamiento, volumen del reactor biológico (UASB) y servicios auxiliares.	Comparación de indicadores y argumentos con base en los valores reportados en las referencias, así como, los obtenidos a partir de simulación.
<b>Beneficios esperados</b>	Contribuir al proceso de desarrollo sustentable de la empresa Hacienda de Oro, S. A. de C.V., y sector productivo de tequila a micro y pequeña escala, con el planteamiento y descripción de una tecnología que permite reducir los costos de inversión asociados al tratamiento biológico de las vinazas tequileras.	Difusión en congresos, promoción a través del ITESO A.C., otras instituciones de educación superior y la empresa, Tequila Hacienda, de Oro, S.A, de C.V.	Carta de satisfacción por parte de la empresa, Hacienda de Oro, S.A. de C.V., registro de acciones de difusión y promoción.

Tabla 4.0, matriz de marco lógico del problema a intervenir.

### 1.3. Objetivos de la intervención

Los objetivos consisten en obtener los siguientes productos de desarrollo que se encuentran insertados en el objetivo general del proyecto, y componen la estructura del proceso de solución planteado:

- Los rendimientos del destilado ordinario obtenido en laboratorio partiendo de volúmenes iguales de mosto, con una expectativa de disminución menor al 1%.

- La aportación a la carga contaminante de las vinazas proveniente de las levaduras contenidas en el mosto, con una expectativa de 1.598, 0.084 y 0.014 gramos de la demanda química de oxígeno, nitrógeno y fósforo respectivamente, por cada gramo de levadura en base seca.
- La disminución en la concentración de las demandas de oxígeno, nitrógeno y fósforo.
- Las fracciones de la demanda química de oxígeno biodegradable y no biodegradable de las vinazas a partir de balance, con una expectativa de mayor al 60 % y menor al 40% respectivamente.
- La capacidad de la infraestructura de tratamiento por medio de ingeniería básica y simulación.

#### **1.4. Delimitaciones y área funcional por intervenir**

Considerando un esquema de reingeniería dedicada a la implementación del proceso mejorado para la producción de tequila y otros destilados de agave<sup>20</sup>, se requiere intervenir el paso del mosto muerto a la primera destilación que recupera el destilado ordinario, en consecuencia, la intervención debe incluir la extracción de levaduras del mosto muerto y el análisis de las colas provenientes de la primera destilación, se señalan estos dos aspectos primordiales para contar con un sistema experimental menos influenciado por otros motivos adicionales de interferencia y variabilidad, como podría ser la dilución de las colas que toma lugar al mezclarlas con las flemas provenientes de la segunda destilación, este aspecto en particular permite tener una base comparativa más objetiva con respecto a los sujetos de muestra recuperados del sistema.

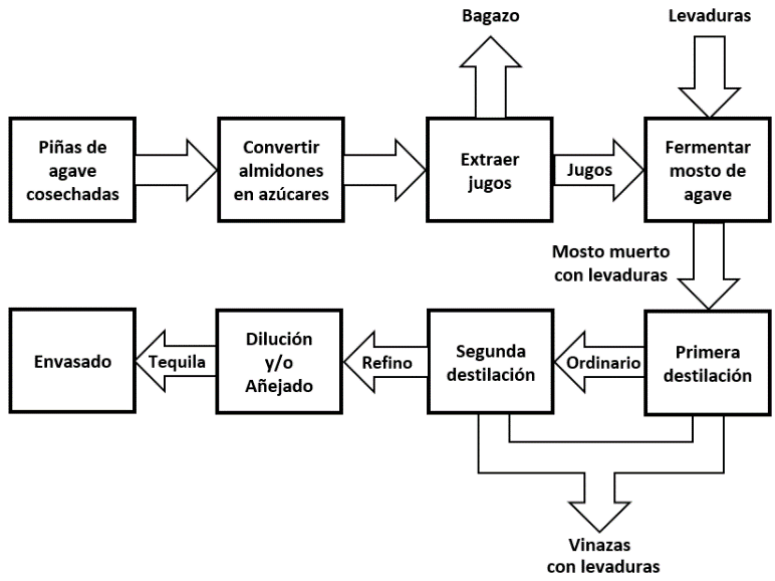


Figura 6.0, diagrama de flujo del proceso de producción convencional.

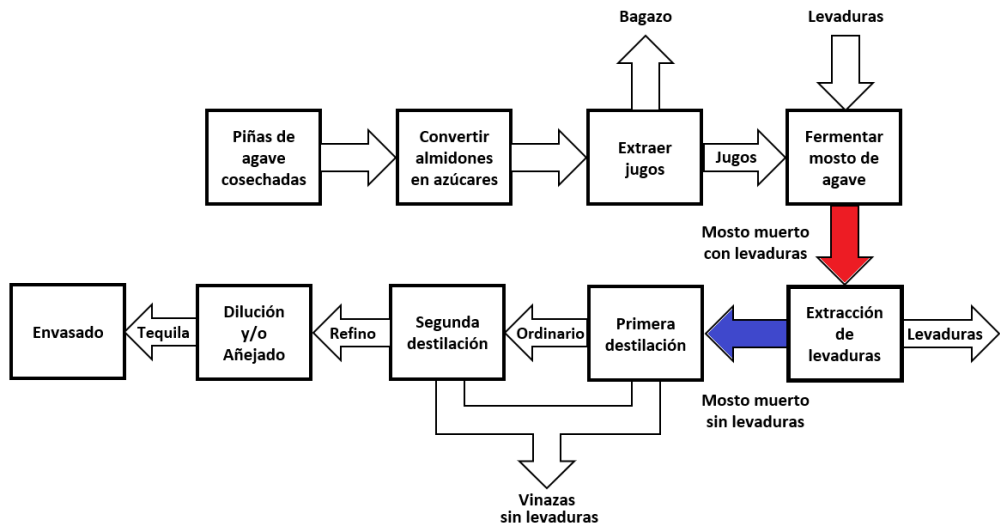


Figura 6.1, diagrama de flujo del proceso de producción mejorado.

Al valorar las distintas operaciones unitarias que integran el proceso de producción de tequila, la intervención en cuanto a la implementación del proceso mejorado se realizaría en el área de producción de la planta entre las áreas 31 y 29, que corresponden a las tinas de fermentación y los alambiques de destilación, asimismo, en relación a la infraestructura de tratamiento dedicado a las vinazas se considera una fracción del patio de maniobras, área 37, de acuerdo a lo señalado por el mentor del proyecto.

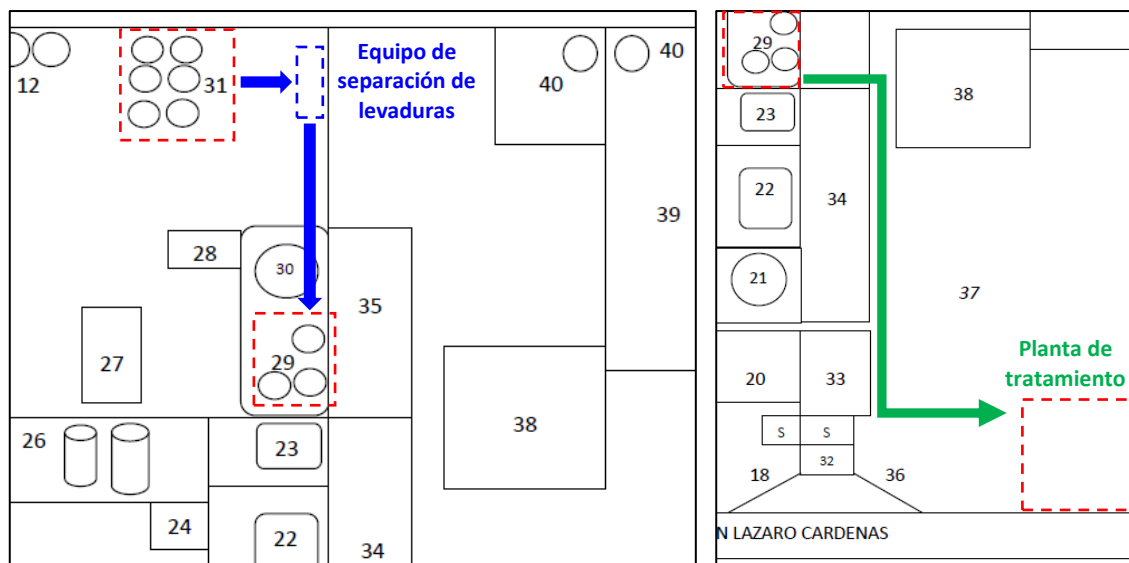


Figura 6.2, extracto del diagrama de distribución en planta<sup>28</sup>, se señalan las áreas en las que se ubican las tinas de fermentación (31), alambiques de destilación (29) y patio de maniobras (37).

### 1.5. Justificación y pertinencia del trabajo

El entorno local de los pequeños y medianos productores de tequila se enfrenta a una problemática compleja de cara a los requerimientos normativos para el tratamiento de vinazas.

El “Desarrollo tecnológico para reducir los costos de inversión dedicados al tratamiento biológico de vinazas tequileras”, aporta directamente a los conceptos relacionados a la sustentabilidad, considerando un desarrollo gradual del subsector productivo de micro y pequeñas empresas, al mostrar un esquema alternativo que, a través de la reingeniería de sus procesos, le permitirá adaptarse de manera independiente o mediante asociación empresarial. Tal como se puede constatar en el entorno nacional, los temas relacionados al tratamiento y manejo adecuado de residuos de la destilación para la producción de otras bebidas como el mezcal, el comiteco, la bacanora y la raicilla son análogos al tequila, como se señala en el siguiente titular:

*Los desechos que genera la industria mezcalera en Oaxaca dejarán de ser basura para convertirse en biogás y fuente de energía calorífica que permita incorporarse en el proceso de transformación del maguey al mezcal.<sup>32</sup>*

En este caso se aprovechan los desechos para convertirlos en biogás que será utilizado en la cocción de alimentos y se busca el llevar a cabo la adaptación para la vinaza de maguey.

Para la empresa, Hacienda de Oro, S. A. de C.V., el contar con la validación de las alternativas de ingeniería apropiada planteadas en el presente trabajo de obtención de grado, le permitirá estar en condiciones de decidir de manera informada, en cuanto a las implicaciones de una posible implementación del proceso mejorado y una planta de tratamiento para vinazas. Adicionalmente, considerando, que las normas oficiales son de observancia nacional y que los conflictos alrededor de las descargas de vinazas son similares, se estiman características de replicabilidad sobre el presente proyecto, que darán lugar a posibles acciones de tropicalización de acuerdo con los aspectos diferenciales y particulares del sector interesado.

El presente trabajo incrementa saberes de la ingeniería para procesos de tratamiento de efluentes industriales, con énfasis en los generados por la industria tequilera.

## 2. Marco conceptual o de referencia

El proyecto toma como corriente principal el enfoque de Anastas, P.T. y Zimmerman, J.B.<sup>19</sup>, relacionado a la ingeniería verde, siendo el principio de prevención de los residuos, el más adecuado para explorar la solución a la problemática de la contaminación provocada por las vinazas tequileras descargadas sin tratamiento.

Asimismo, de acuerdo a lo señalado recientemente por van-Lier, J.B. y otros<sup>33</sup>, la tecnología de los reactores anaeróbicos de manto de lodos ha evolucionado de manera importante para el tratamiento de efluentes industriales, por la combinación de dos aspectos principales, altos tiempos de retención de sólidos y altas tasas de carga volumétrica aplicables, por lo cual se ha valorado como objetivo el estudio de tecnología de tratamiento biológico por cultivos anaerobios para las vinazas tequileras.

Entre otros aspectos atractivos sobre los cultivos anaerobios, Angelidaki<sup>34</sup> y sus colaboradores, señalan en relación al sustrato que se asimila en los procesos de digestión, que el tamaño de partícula es un parámetro que tiene influencia en la tasa de producción de biogás, siendo la metanogénesis el paso de síntesis que permite separar el contenido de materia carbonácea de las vinazas, de tal forma que la implementación del proceso mejorado que considera el retiro de la fracción de sólidos contenidos en el mosto muerto de manera previa a su destilación, tiene un potencial de aplicación al favorecer este aspecto en particular.

### 2.1. Estado de la cuestión

#### **Sobre el proceso de producción y su influencia en el contenido contaminante de las vinazas**

En el proceso de producción convencional del tequila, las mieles de agave son extraídas de las piñas después de que los fructanos contenidos en el jugo crudo son transformados en azúcares fermentables a través de procesos térmicos efectuados entre 95 y 120 °C, por cocción en hornos y autoclaves<sup>35</sup>. Algunos productores utilizan un proceso distinto<sup>36</sup>, que no requiere cocción de las piñas ya que obtienen el jugo de agave crudo con agua caliente directamente de las piñas trituradas, posteriormente lo hidrolizan a una temperatura de entre 80 y 85°C, manteniendo un pH ácido con valores entre 1.8 y 3.0 unidades de pH.



Figura 7.0, equipo difusor para extracción directa<sup>37</sup> y autoclave para cocción de piñas<sup>38</sup>.

En ambos casos, el jugo de agave rico en mieles se fermenta haciendo que los azúcares hidrolizables se transformen en etanol, dióxido de carbono y otros compuestos volátiles como lo son los ésteres, los aldehídos, las cetonas y los furanos<sup>39</sup>. El mosto muerto proveniente del proceso de fermentación se destila por primera vez para obtener el destilado ordinario en el condensador y las colas en el fondo del alambique, posteriormente el destilado ordinario se hace pasar por una segunda destilación para obtener el destilado refinado o refino en el condensador y flemas en el fondo del alambique. La mezcla de colas y flemas conforma las vinazas y el refino una vez que se diluye a la concentración correspondiente es el producto identificado como tequila<sup>36</sup>.

La modificación en el proceso de producción que considera la conversión de fructanos con dos distintos índices de temperatura, puede influir en la composición de las vinazas resultantes, como se verificó en el trabajo de Rodríguez-Félix E.<sup>40</sup> y otros, en el cual se encontró que el perfil de los compuestos volátiles es distinto y presenta un aumento en el contenido de furanos y ácidos orgánicos para las vinazas que provienen de jugos de agave sometidos a mayor temperatura, y para las vinazas provenientes de jugos de agave sometidos a menor temperatura, se presenta un aumento en el contenido de compuestos fenólicos en las vinazas. Por lo anterior, es claro que las reacciones implícitas en el proceso de cocción de los jugos de agave, como la caramelización, reacciones de Maillard y oxidación-deshidratación, son favorecidas a mayor temperatura<sup>41</sup>.

Durante la destilación, se hace la separación del etanol y otros componentes del mosto fermentado. En el proceso convencional, el mosto muerto previo a su destilación contiene una cantidad importante de sólidos que consisten principalmente en celulosa, pectina y levaduras, con agregados

disueltos de sales minerales y ácidos orgánicos. Los alambiques se conforman por un recipiente para contener el mosto fermentado, una chaqueta de vapor y un condensador<sup>41</sup>.



*Figura 7.1, alambiques de acero inoxidable<sup>46</sup>*

La composición de las colas resultantes de la primera destilación incluye sustancias con alto punto de ebullición tales como alcohol isoamílico, alcohol amílico, 2-furaldehído, ácido acético y etilactato<sup>39</sup>.

Las vinazas tienen un color rojizo por el contenido de fenólicos (ácidos tánicos y húmicos), melanoidinas formadas por reacciones de Maillard<sup>47</sup>.



*Figura 7.2, medición de pH de vinazas tequileras y en tubo de centrifugación<sup>48</sup>.*

## Sobre las levaduras contenidas en el mosto fermentado y sus características

En el trabajo de Aldrete-Tapia y otros, sobre la fermentación espontánea del jugo de agave, se menciona que la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, domina el proceso de fermentación<sup>42</sup>. Las cepas de esta especie particular de levadura tienen una gran influencia en las características de sabor y aroma de las bebidas alcohólicas<sup>35</sup>.

Walker G.M. y otros, reportan que la forma de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* es elipsoide y tiene un diámetro medio de entre 5 – 10  $\mu\text{m}$ , son hongos unicelulares similares a las células eucariotas superiores, poseen pared celular, núcleo, mitocondrias, retículo endoplásmico, aparato de Golgi, vacuolas, microcuerpos y vesículas secretoras, así como, una membrana extracelular e intracelular. Asimismo, su composición celular promedio en base seca presenta un 45% en peso de proteína, 8.4% de glucógeno, 0.8% de trehalosa, 13.1% de manano, 18.4% de otros carbohidratos, 6.3% ARN, 0.4% de ADN, 1.1% de aminoácidos libres, 2.9% de lípidos y 5.0% de cenizas<sup>43</sup>.

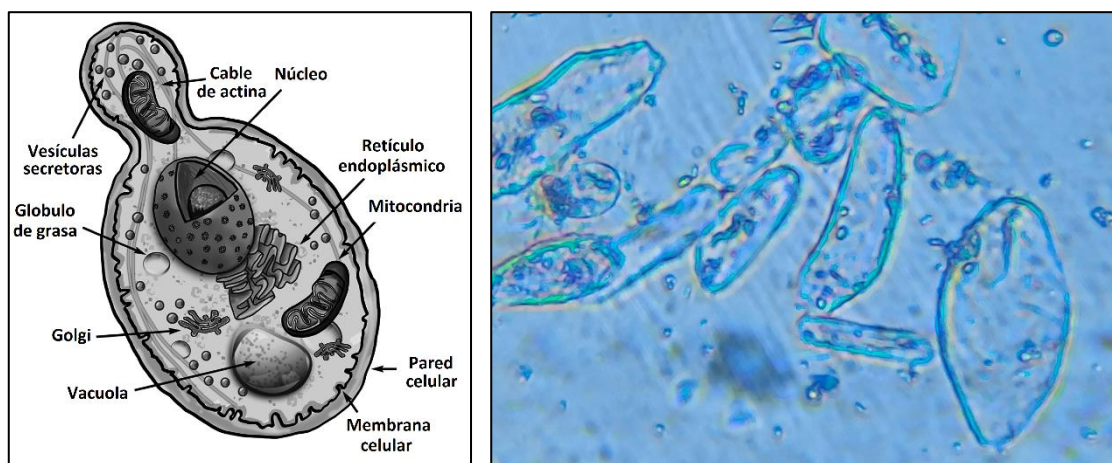
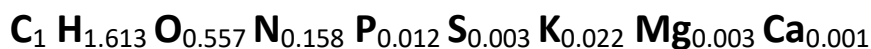


Figura 7.3, morfología de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*<sup>43</sup> y levaduras contenidas en el mosto muerto proveniente de la empresa Hacienda de Oro, S.A. de C.V.<sup>44</sup>.

El estudio realizado por Von-Stockar U. y sus colaboradores, reporta que el tejido de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, se encuentra caracterizado por lo siguiente fórmula empírica<sup>45</sup>



lo cual implica que las proporciones entre los átomos que conforman el tejido es de [1,000 : 1,613 : 557 : 158 : 12 : 3 : 22 : 3 : 1] para carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, magnesio y calcio, respectivamente.

## **Sobre la caracterización contaminante de los efluentes industriales**

La caracterización contaminante depende esencialmente de la naturaleza y concentración de los componentes, siendo importante también lo susceptibles que son de ser degradados por medios biológicos, como también menciona Germirli, F., Orhon, D.<sup>49</sup> en su publicación, agregando que la Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un parámetro confiable para medir el potencial de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica presente en las aguas residuales, y el cociente de la demanda bioquímica de oxígeno entre la demanda química de oxígeno,  $DBO_5/DQO$ , se usa como índice de biodegradabilidad, se considera que para valores superiores a 0.4, la materia carbonácea será prácticamente biodegradable en su totalidad y para valores próximos o menores indica una naturaleza recalcitrante, inhibidora o tóxica para el cultivo biológico.

Por otro lado, Tchobanoglous, G.<sup>12</sup> menciona que los valores típicos de la relación  $DBO_5/DQO$  para aguas residuales municipales crudas se encuentran en el rango de 0.3 a 0.8, y si es igual o mayor a 0.5 se considera que las aguas residuales son fácilmente biodegradables. Si la relación está por debajo de 0.3, es muy probable que las aguas residuales contengan componentes tóxicos y sería necesario evaluar su tratabilidad biológica por medio de microorganismos menos convencionales.

Un aspecto sumamente relevante sobre el uso de la demanda química de oxígeno como parámetro de diseño para los sistemas de tratamiento es que, a diferencia de la demanda bioquímica de oxígeno, una parte de la DQO no es biodegradable, por lo cual es necesario efectuar un balance de materia carbonácea para conocer la fracción biodegradable y no biodegradable. Adicionalmente, por su naturaleza física, el sustrato puede encontrarse disuelto o en forma de partículas, este último compuesto por sólidos coloidales y suspendidos.

En el caso de la DQO soluble no biodegradable, no será motivo de degradación en el proceso biológico y se encontrará en el efluente del sistema de tratamiento, mientras que el material particulado representado por la DQO no biodegradable particulada puede formar parte de la producción de biomasa del sistema por efecto de la adición floculenta.

Para conocer las fracciones biodegradable y no biodegradable de la DQO, Grady<sup>50</sup> y sus colaboradores propusieron la obtención del cociente de la DQO biodegradable entre la DBO al quinto día considerando los datos obtenidos de la cinética de la DBO, ya que observaron que la relación  $bDQO/DBO$  es mayor que la relación que guarda la DBO última entre la DBO al quinto día, porque no



## Sobre el tratamiento biológico de efluentes industriales, particularmente de la destilación

En el trabajo de revisión de Pant, D., y Adholeya<sup>47</sup>, A., señalan como características de los efluentes provenientes de los procesos de destilación, su carga contaminante elevada y efectos en el ambiente al ser vertidos sin tratamiento, tanto en cuerpos de agua como en el suelo, altos volúmenes de descarga y contenido recalcitrante, así como, la complejidad para tratarlos.

Los tratamientos biológicos son aplicados a efluentes de la destilación y han sido empleados de manera efectiva para disminuir su contenido contaminante por medio de cultivos anaerobios y aerobios. La digestión anaerobia es bien reconocida como el primer proceso secundario de tratamiento para efluentes de la destilación, con posibilidad de remover de un 50 a un 90% de la demanda química de oxígeno. El sistema UASB ha tomado su lugar como la tecnología más ampliamente aplicada para el tratamiento biológico de efluentes industriales. Su gran capacidad de tratamiento permite la construcción de infraestructura relativamente pequeña en comparación con otras tecnologías.

El tratamiento anaerobio implica el uso de bacterias especializadas de tipo *archaea* que emplean una variedad de receptores de electrones en ausencia de oxígeno molecular para producir energía en una serie de pasos conocidos como, hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis. Algunas de sus ventajas son el gran potencial de producción de energía vía la obtención de metano sin requerir una fuente de oxígeno, menor producción de lodos biológicos comparado con el proceso aerobio, así como, menores volúmenes para el cultivo, entre otros.



Figura 7.5, imágenes de lodo granular anaerobio<sup>51</sup>.

Sus oportunidades principales pueden verse durante su arranque y operación al requerir largos periodos de estabilización y la posible adición de una fuente de alcalinidad, así como el requerimiento de post tratamiento por otros principios que aseguren la reducción de materia carbonácea a los niveles normativos<sup>12</sup>.

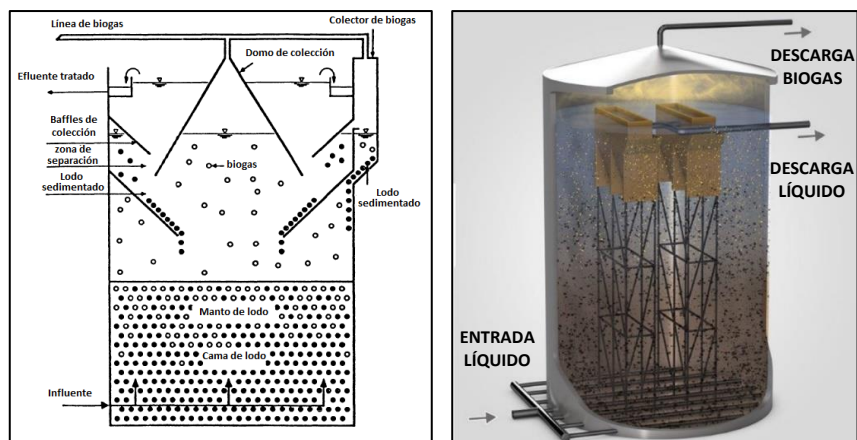


Figura 7.6, esquema reactor UASB<sup>54</sup> e imagen de reactor UASB patentado (Biopaq® UASB plus)<sup>33</sup>

Aguas residuales altamente resistentes a los tratamientos biológicos han sido tratadas con tecnología anaerobia desde mediados de los años 50's, siendo una de sus primeras aplicaciones a los efluentes de la industria del procesamiento de carnes por Schroepfer y posteriormente, Young y McCarty quienes dieron origen a los trabajos de Lettinga en los años 80's, quien desarrollo con apoyo de sus colaboradores el reactor anaerobio de flujo ascendente con manto de lodos (UASB, Upflow Anaerobic Sludge Blanket)<sup>52</sup>.

Se considera la tecnología más sobresaliente y primigenia en materia de tratamiento para efluentes de alta tasa (altas concentraciones), dado que a partir de esta tecnología se han desarrollado muchas otras que se comercializan bajo esquema de protección por patente.

El UASB maneja el flujo de agua residual con una disposición ascendente a través de un denso manto granular de bacterias anaerobias, cuenta con un mezclado efectivo que es provocado por la velocidad de ascensión de las aguas residuales y por la generación de biogás.

La concentración efectiva de biomasa oscila entre 35 y 40 kg/m<sup>3</sup> (en la zona de mayor concentración), un separador sólido-líquido-gas garantiza la permanencia de la biomasa dentro del reactor, la salida del líquido con el sustrato disuelto en equilibrio y la extracción del biogás.

El tiempo de retención de sólidos puede llegar a ser mayor a 30 días y los tiempos de retención hidráulica se encuentran en el rango de 4 a 8 horas, se diseñan para cargas de DQO de entre 5 y 20 kg/m<sup>3</sup>·d (dependiendo del contenido de ácidos grasos volátiles) con alturas de 5 a 20 m y velocidades de ascensión de entre 1 y 6 m/h.

En el caso de que los efluentes contaminantes tengan un contenido de sustrato particulado elevado, los tiempos de retención hidráulica suelen ser mayores, al requerir más volumen vía la carga orgánica de diseño.

La adición de procesos a los reactores UASB se ha realizado para alcanzar mayores porcentajes de remoción de sustrato haciendo la combinación del proceso anaerobio y el aerobio<sup>54</sup>.

Temperatura [=] °C	Carga orgánica de diseño por unidad de volumen [=] kg DQO/m <sup>3</sup> ·d			
	Contenido de ácidos grasos volátiles	Sin contenido de ácidos grasos volátiles	Contenido menor al 5% de la DQOp (altamente soluble)	Contenido entre 30 y 40% de la DQOp (parcialmente soluble)
15	2 – 4	1.5 – 3	2 – 3	1.5 – 2
20	4 – 6	2 – 4	4 – 6	2 – 3
25	6 – 12	4 – 8	6 – 10	3 – 6
30	10 – 18	8 – 12	10 – 15	6 – 9
35	15 – 24	12 – 18	15 – 20	9 – 14
40	20 – 32	15 – 24	20 – 27	14 – 18

Tabla 5.0, carga orgánica de diseño en función de la temperatura de operación y tipo de sustrato<sup>52</sup>.  
(adaptada de tabla 16.11)

Temperatura [=] °C	Tiempo de retención de sólidos (SRT) [=] d
35	25
30	30
25	60
20	100
15	140

Tabla 5.1, tiempo de retención de sólidos en función de la temperatura de operación<sup>12</sup>.  
(adaptada de tabla 10.2 para aguas residuales municipales)

## Sobre la destilación por lote

De acuerdo con Diwekar, U.<sup>53</sup>, el modelo establecido para describir el proceso de destilación por lote, también llamada diferencial, supone que el vapor formado en un período corto está en equilibrio termodinámico con el líquido. Por tanto, la composición del vapor  $x_D$  está relacionada con la composición del líquido  $x_B$  mediante una relación de equilibrio de la forma funcional  $x_D = f(x_B)$ . La relación exacta para una mezcla en particular se puede obtener a partir de un análisis termodinámico y también depende de la temperatura y la presión. Para el proceso, se considera que  $F$  (moles) son alimentados con composición binaria al alambique y  $x_F$  (fracción molar) sea la composición del componente A en la alimentación, consideramos a  $B$  el número de moles de material restante en el alambique,  $x_B$  la fracción molar del componente A en el alambique, y  $x_D$  la fracción molar del componente A en el vapor  $d_B$  producido durante un intervalo de tiempo infinitesimal  $dt$ .

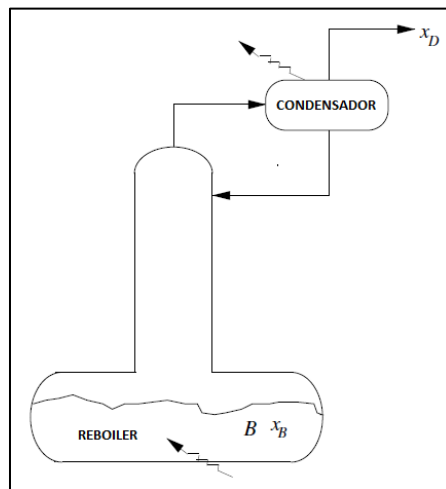


Figura 8.0, esquema de destilación por lote<sup>53</sup>

Para un sistema que sigue el comportamiento ideal dado por la ley de Raoult, la relación de equilibrio entre la composición del vapor  $y$  ( $x_D$ ) y la composición del líquido  $x$  ( $x_B$ ) del componente más volátil en una mezcla binaria se puede aproximar utilizando el concepto de volatilidad relativa constante ( $\alpha$ ) y de la sustitución en la ecuación de Rayleigh obtenemos el modelo característico<sup>53</sup>.

$$y = \frac{\alpha x}{(\alpha - 1)x + 1}$$

$$\ln\left(\frac{B}{F}\right) = \frac{1}{\alpha - 1} \ln\left[\frac{x_B(1 - x_F)}{x_F(1 - x_B)}\right] + \ln\left[\frac{1 - x_F}{1 - x_B}\right]$$

Ecuaciones 2.0 y 2.1

## **Sobre las pruebas de actividad metanogénica**

En el trabajo de Hussain, A., y Kant-Dubey, S.,<sup>59</sup> sobre las pruebas de actividad metanogénica específica para influentes a tratamiento, mencionan que bajo este tipo de estudios es posible determinar la capacidad de producción de metano de un inóculo anaerobio para un sustrato en específico y que un cambio en la actividad puede señalar fenómenos de inhibición, materia orgánica de degradación lenta o incluso no biodegradable del sustrato, asimismo, señalan que la biodegradabilidad de cualquier sustrato se determina alimentando una cantidad predefinida del inóculo.

Angelidaki<sup>34</sup> y sus colaboradores, han presentado una propuesta del protocolo para la realización de este tipo de pruebas. Cho., Y.T.<sup>60</sup> y sus colaboradores han mencionado que la concentración de biomasa, el tipo de sustrato y la concentración, y la intensidad de la mezcla son factores que pueden afectar sus resultados.

Barros, V. G. de<sup>61</sup>, han señalado que para producir metano de manera eficiente debe existir un control y monitoreo de la actividad metanogénica y particularmente al haber estudiado la digestión de vinazas en reactores de tipo UASB, las altas concentraciones de compuestos fenólicos, como las melanoidinas, presentes en las vinazas pueden disminuir e incluso inhibir la actividad microbiana.

## **2.2. Conceptos y enfoques teóricos relacionados**

En el contexto de la problemática asociada a las descargas de vinazas sin tratamiento, existen múltiples aspectos a considerar, en el siguiente diagrama representativo del mapa mental, se han incluido los señalamientos sobre los aspectos técnicos que coinciden con las líneas de trabajo especificadas en el marco lógico, a propósito de facilitar la comprensión sobre los alcances del proyecto.

Es importante mencionar que la incidencia sobre el entorno regulatorio no se señala de manera particular, sin embargo, se espera que como parte de los beneficios indirectos obtenidos a través de la difusión de los resultados se cuente con elementos para promover ante las autoridades municipales y estatales un incentivo regulatorio.

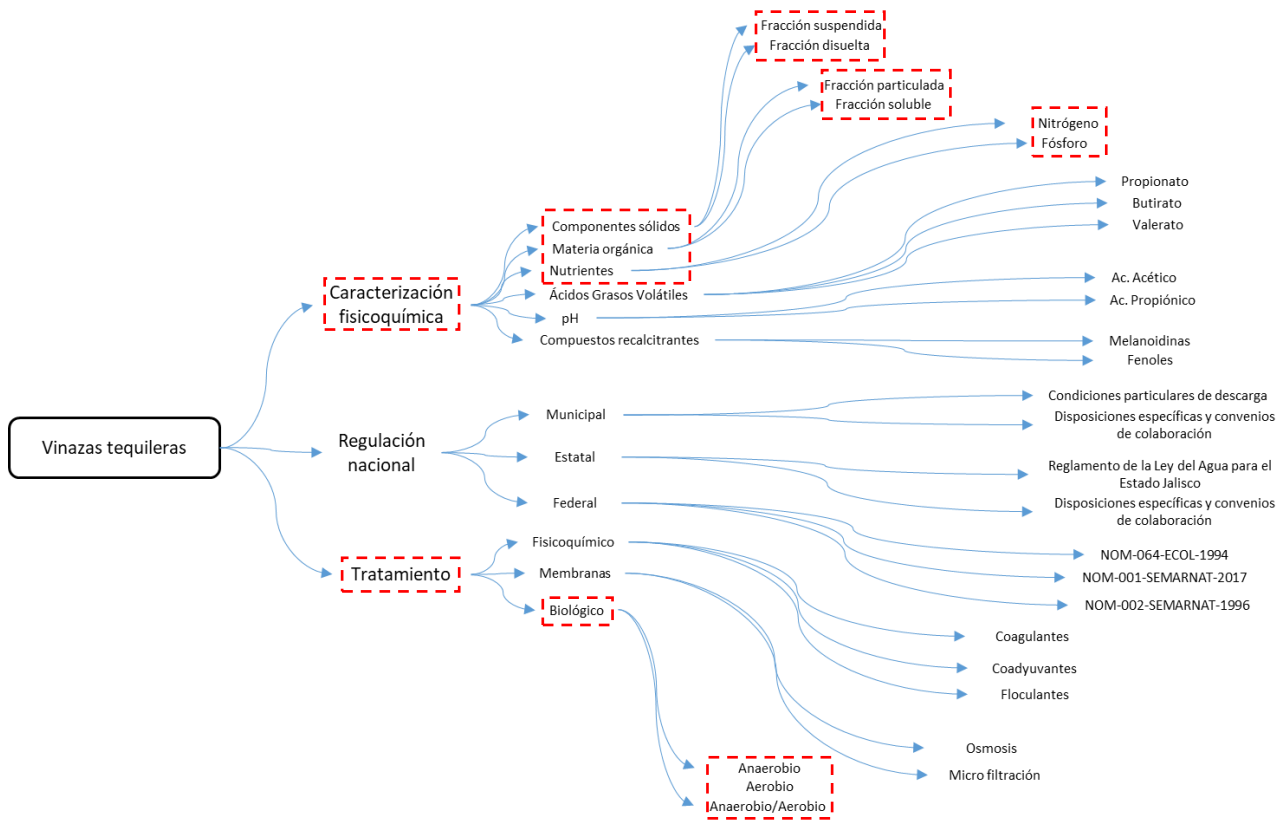


Figura 9.0, mapa mental de los aspectos técnicos derivados del estudio de las vinazas tequileras en el contexto del proyecto

En la línea que deriva de la caracterización fisicoquímica, es posible considerar el contenido de materia carbonácea del tejido celular de las levaduras. De acuerdo a van Haandel, A.C.<sup>55</sup>, es posible obtener la demanda química de oxígeno teórica por unidad de masa del tejido celular de las levaduras ( $DQO_{th}$ ), por medio de la siguiente ecuación, misma que requiere la cantidad de átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno que lo componen.

$$DQO_{th} = \frac{8(4x + y - 2z)}{12x + y + 16z} [=] \frac{gDQO}{gC_xH_yO_z}$$

Ecuación 3.0

Recurriendo a la información recuperada del estudio de Von-Stockar U.<sup>45</sup> y sus colaboradores, obtenemos entonces la aportación teórica del tejido celular de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* a la DQO total por unidad de masa.

$$DQO_{th(S.cerevisiae)} = 1.598 [=] \frac{g DQO}{g C_1H_{1.613}O_{0.557}}$$

Ecuación 3.1

De manera análoga, en el caso de la aportación de nitrógeno y fósforo por cada gramo de levadura base seca, corresponde a 0.084 g N<sub>t</sub>/g levadura y 0.014 g P<sub>t</sub>/g levadura. Estos valores, corresponde a los indicadores del objetivo particular No. 2.

De acuerdo con el cálculo anterior, la eliminación de la fracción de sólidos contenida en el mosto muerto previo a la destilación podría contribuir en una reducción de la demanda química de oxígeno, nitrógeno y el fósforo de las vinazas.

Además, si consideramos que los distintos contenidos de las levaduras, como lo son las proteínas, el glucógeno, la trehalosa y los carbohidratos, son igualmente susceptibles de transformarse en furanos y ácidos orgánicos al estar en contacto con un proceso térmico, en este caso la destilación, la existencia de estas levaduras estaría provocando un incremento en la concentración de este tipo particular de componentes que se consideran recalcitrantes o tóxicos.

### **2.3. Herramientas tecnológicas o de innovación consideradas en el trabajo**

#### **SIMBA#WATER V.4.3**

El sistema SIMBA#WATER V.4.3 es un software para simulación de sistemas de tratamiento editado por la empresa inCTRL Solutions Inc., que incluye dentro de su entorno operativo los modelos estandarizados y emitidos por la International Water Association (IWA), dedicados a la descripción del comportamiento dinámico de procesos biológicos de asimilación de sustrato, nutrientes y operaciones unitarias que conforman una planta de tratamiento.

Entre los modelos disponibles en este sistema se encuentra el Modelo de Digestión Anaerobia (ADM1), un modelo matemático estructurado que representa sustratos complejos por sus principales componentes e incluye múltiples pasos de síntesis que describen los procesos bioquímicos y fisicoquímicos de la digestión anaerobia para la degradación de compuestos orgánicos.

El enfoque de diseño de ingeniería asistido por simulación constituye uno de los pilares en cuanto al aseguramiento de las capacidades de la infraestructura dedicada al tratamiento de efluentes.

Actualmente, no es convencional el uso de software para el desarrollo de propuestas de ingeniería básica para tratamiento de aguas y se encuentra relativamente reservado a los casos en los que ya se cuenta con un producto de ingeniería de detalle, como un método de verificación, al existir requerimientos específicos en cuanto a la calibración del modelo para las características particulares de los sustratos y del mismo modo para los cultivos empleados en los sistemas de tratamiento, sin embargo, los modelos contenidos en el paquete de software se encuentran preconfigurados con las matrices de coeficientes más representativos, dando lugar a su uso en múltiples aplicaciones con un margen pequeño de variación.

Siendo uno de los objetivos particulares del presente proyecto, la descripción del proceso anaerobio para la degradación de la materia carbonácea contenida en las vinazas tequileras, el DPTI de ITESO, adquirió y renovó la licencia del software con propósitos académicos durante dos años consecutivos, comenzando en mayo de 2020 y concluyendo en mayo 2022 (Licencia con registro No. 3067 HID: 6F5D65F24BDC04E26A2ECD7101F4BECF). Para el uso del software SIMBA#WATER V.4.3, en el presente proyecto, se contó con la asesoría del Doctor Mirzaman Zamanzadeh, *Senior Process Expert*, de la empresa inCTRL Solutions Inc., quien, realizó sugerencias y recomendaciones para la configuración del modelo característico de un reactor anaerobio de tipo UASB.

### 3. Soluciones conceptuales

Se estudiaron tres alternativas principales de origen que consistieron en:

- Estudio a microescala de esquemas de tratamiento utilizando fluidos emuladores formulados para mostrar rasgos característicos de las vinazas tequileras.

Considerando los rangos de valores reportados en bibliografía y artículos científicos para los contaminantes presentes en las vinazas tequileras, se buscaron metodologías para la formulación de fluidos que tuvieran un comportamiento similar en cuanto a la capacidad buffer de las vinazas, su color característico y la demanda química de oxígeno. La propuesta tomó en cuenta la posibilidad de no efectuar destilaciones para contar con un fluido equivalente, sintético y estandarizado con el cual fuera posible efectuar pruebas de tratabilidad.

Una de las alternativas exploradas en cuanto a la creación de un fluido con capacidad buffer a partir de un pH 3.5 hasta 4.5, se estudió haciendo diversas soluciones a distintas concentraciones y mezclas de ácido acético, láctico, cítrico y fosfórico.

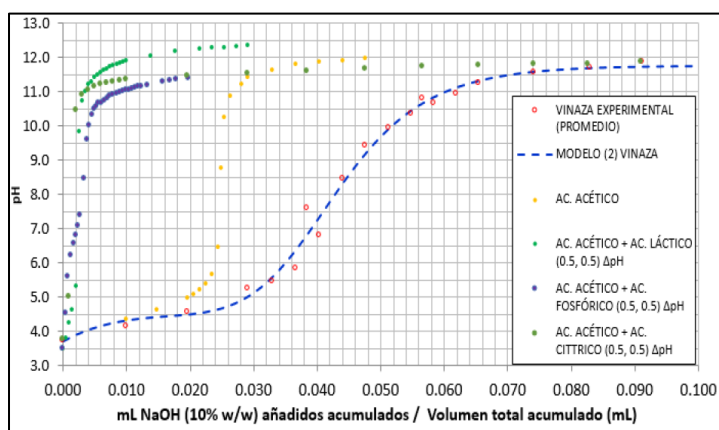


Figura 10.0, gráfico de curvas de pH para distintas formulaciones de ácidos.

Al no lograr resultados promisorios, la alternativa fue descartada, el fluido con mejores características comparativas fue la solución de ácido acético en concentración 5.7 mM.

- Estudio de esquemas de tratamiento por separado de los componentes disgregados de las vinazas tequileras (colas, flemas, cabezas y mieles amargas).

Considerando la oportunidad de aplicar nuevamente el primer principio de la ingeniería química verde, previniendo la generación de residuos al evitar la mezcla de los componentes de las vinazas tequileras, se determinaron los valores de la DQO para los componentes de las vinazas en el laboratorio de ITESO como se muestra en la tabla 6.0, en la que se calcularon las fracciones solubles y particuladas como aspecto primordial a valorar el tipo de tratamiento por separado.

Componente	DQO [=] mg/L
<b>Mieles amargas</b>	
Total	55,940.9
Soluble	51,520.3
Particulado	4,420.6
<b>Cabezas de primera destilación</b>	
Total	172,780.9
Soluble	173,543.1
Particulado	0.0
<b>Colas de primera destilación</b>	
Total	43,517.6
Soluble	33,990.5
Particulado	9,527.1
<b>Cabezas de segunda destilación</b>	
Total	303,596.3
Soluble	306,197.3
Particulado	0.0
<b>Flemas de segunda destilación</b>	
Total	14,631.5
Soluble	13,183.4
Particulado	1,448.1
<b>Tipo de tratamiento</b>	
	Mecánico (sedimentación, flotación, centrifugación)
	Biológico (anaerobio - aerobio)
	Biológico asistido (inyección de sustrato)

Tabla 6.0, valores de la DQO para componentes de las vinazas tequileras.

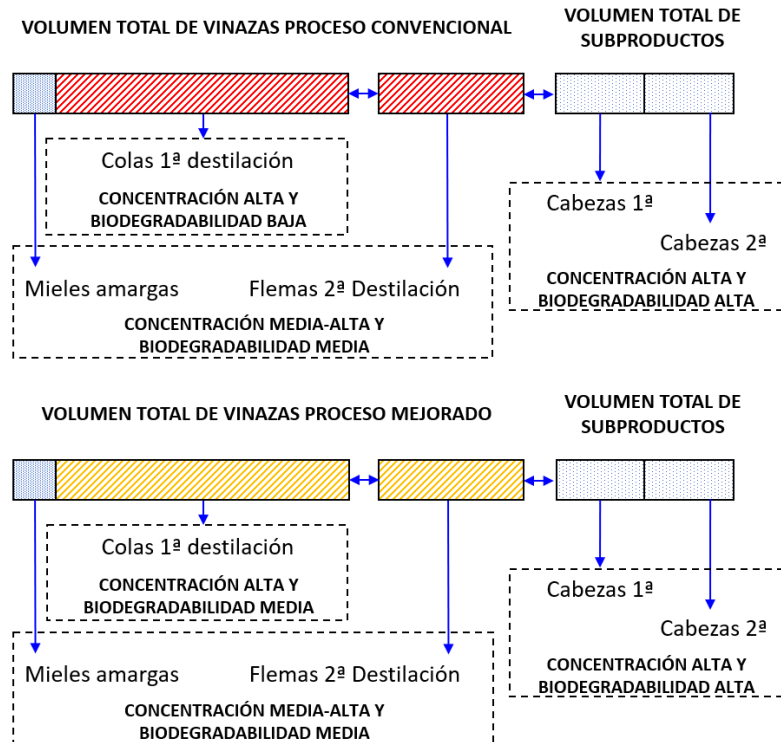


Figura 11.0, diagrama en el que se señalan los componentes de las vinazas y características de concentración para la DQO, se muestra el nivel estimado de biodegradabilidad, proceso convencional y mejorado.

El esquema de pruebas es promisorio, los valores recuperados para la DQO en las distintas fracciones permitió identificar oportunidades para la remoción mecánica de sustrato particulado en el caso de colas de primera destilación, mieles amargas y flemas; remoción biológica por medios convencionales para colas de la primera destilación, mieles amargas y flemas; y en un esquema asistido mediante la inyección de sustrato fácilmente biodegradable recuperado de las cabezas de primera y segunda destilación.

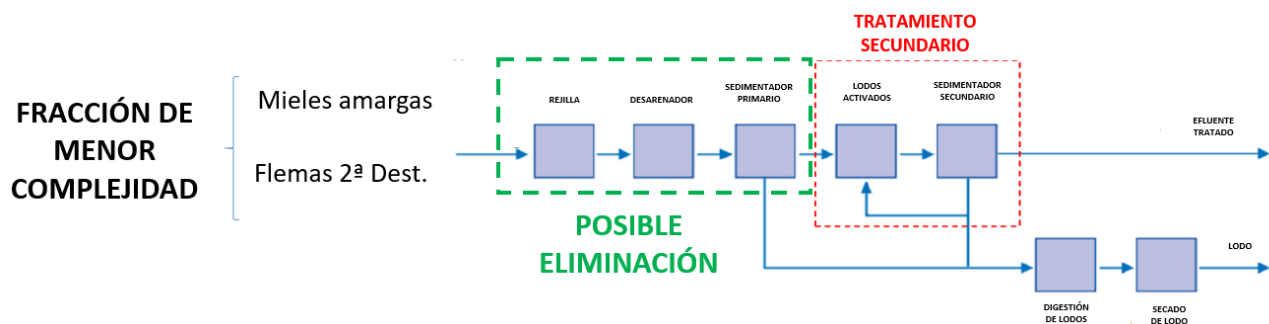


Figura 11.1, esquema de tratamiento tipo I.

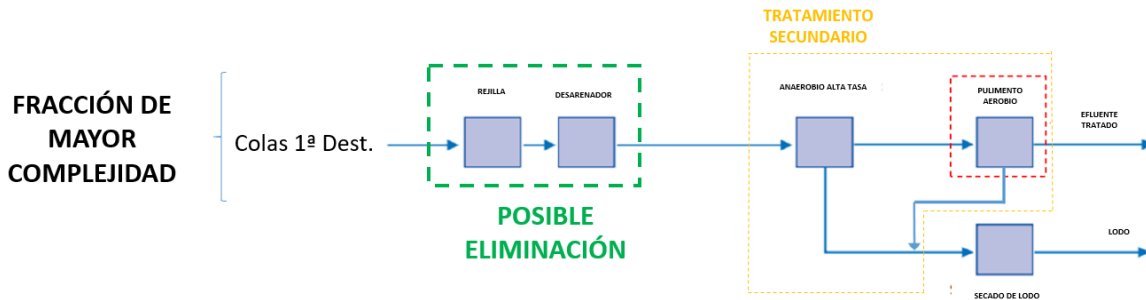


Figura 11.2, esquema de tratamiento tipo II.

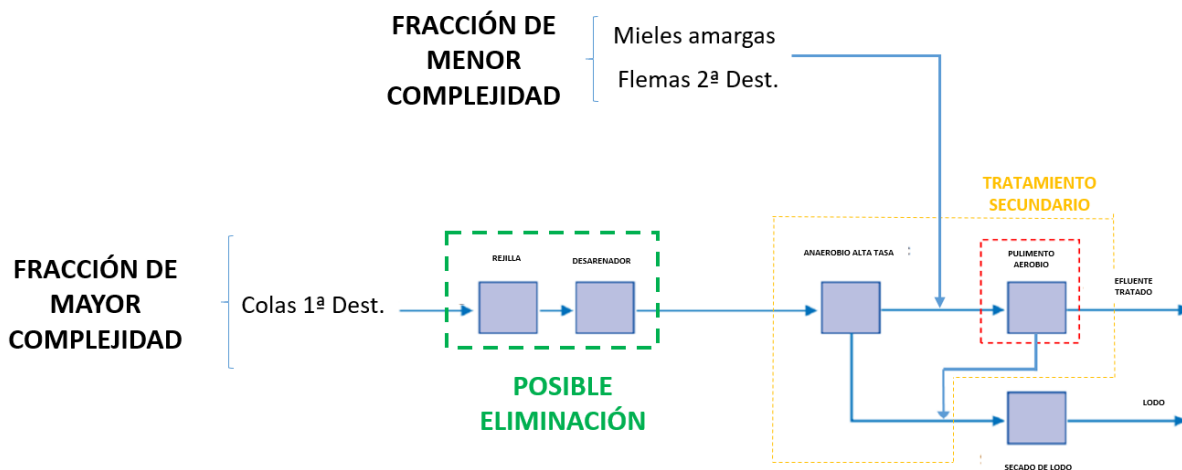


Figura 11.3, esquema de tratamiento tipo III.

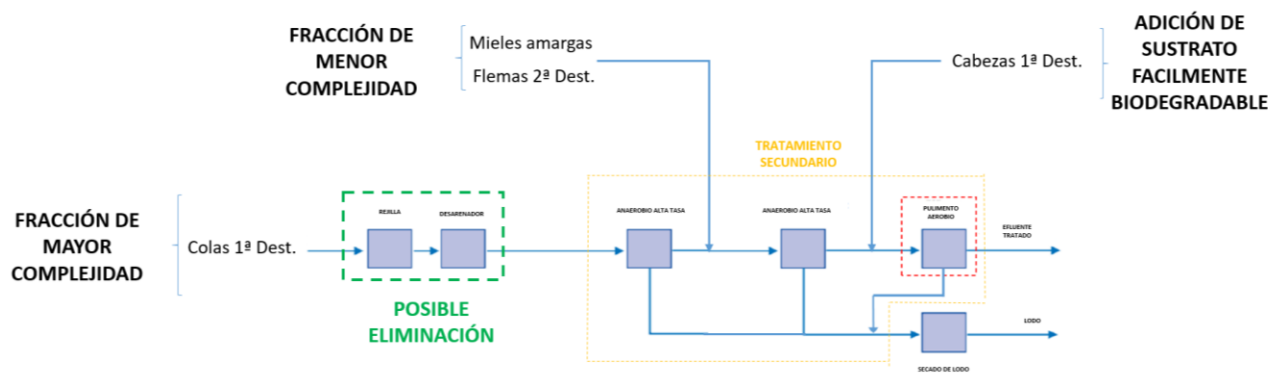


Figura 11.4, Esquema de tratamiento tipo IV.

- Estudio comparativo de las vinazas obtenidas a partir de la destilación de mosto muerto con levaduras y sin levaduras, para emular el proceso convencional de producción y el proceso mejorado para la producción de tequila y otros destilados de agave.

Se planteó un programa de trabajo para la realización del estudio comparativo con base en los pasos del proceso y requerimientos:

Paso de proceso	Requerimiento de ingeniería	Meses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Realizable (Sí/No)
Estudio de características del tejido de las levaduras tequileras	Recursos bibliográficos y equipo de cómputo	3	■	■	■										Sí
Destilación de mosto convencional y mejorado	Alambique, mosto de origen y laboratorio	4	■	■	■	■									Sí
Determinación de concentraciones contaminantes en vinazas convencionales y mejoradas	Pruebas efectuadas por laboratorio acreditado	2					■	■							Sí
Estudio de resultados analíticos para obtención de indicadores	Recursos bibliográficos y equipo de cómputo	4						■	■	■	■				Sí
Estudio conceptual para obtener especificación de las capacidades de tratamiento requeridas y costo asociado	Recursos bibliográficos y equipo de cómputo	5									■	■	■	■	Sí

*Tabla 6.1, evaluación de alternativa sobre estudio comparativo para vinazas.*

#### 4. Desarrollo de la ingeniería básica (Ing. Previa)

El enfoque del proyecto radica en brindar información relevante a la empresa Hacienda de Oro, S.A. de C.V., que le permita considerar los beneficios y limitaciones en cuanto a la implementación del proceso mejorado para la producción de tequila y otros destilados de agave en su planta productiva.

Dicha información le facilitará el desarrollo de una planeación técnica y financiera en torno al cumplimiento de sus objetivos de desarrollo sustentable.

La estrategia de intervención consiste en efectuar una comparación entre los indicadores establecidos en la matriz de marco lógico para obtener los aspectos diferenciales entre los sujetos de prueba, en este caso, las vinazas convencionales y las mejoradas. Una comparación efectiva solo es posible cuando los sujetos de prueba se encuentran en condiciones de igual oportunidad, que en el contexto del presente proyecto consiste en obtener ambos sujetos de prueba de la misma unidad original, el mosto. En este aspecto el proceso de muestreo es crítico, dado que al no existir evidencias ni motivos para establecer que ambas muestras de mosto son distintas, el efecto observado a través de las diferencias de los indicadores establecidos será atribuible al proceso de mejora implementado.

La técnica refiere a una selección adecuada de indicadores que permitan valorar el impacto de la implementación del proceso mejorado para la producción de tequila y otros destilados de agave, considerando los criterios que emanan del estado de la cuestión, con la posibilidad de generar un argumento que fortalezca las decisiones posteriores al proceso de valoración y de este modo sea posible orientar el diseño de una manera más consciente y certera.

A continuación, se presenta la tabla 7.0 con las referencias concretas, autoría e indicadores referidos a los objetivos particulares establecidos.

Objetivo particular	Indicadores	Autor	No. Referencia
1.-Obtener los rendimientos del destilado ordinario en laboratorio partiendo de volúmenes iguales de mosto.	Rendimiento y concentración en volumen de etanol.	Diwekar, U.	[53]
2.-Obtener la disminución en la carga contaminante de las vinazas.	Resultados de las pruebas analíticas efectuadas por un laboratorio acreditado.	Hernández-Gil, N.	[20]
3.-Obtener la aportación a la carga contaminante de las vinazas proveniente de las levaduras contenidas en el mosto.	Demanda química de oxígeno teórica por unidad de masa, contenido de nitrógeno y fósforo para las levaduras <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .	Aldrete-Tapia Von-Stockar, U. van Haandel, A.C.	[35] [45] [55]

Objetivo particular	Indicadores	Autor	No. Referencia
4.-Obtener el índice de biodegradabilidad y las fracciones de la demanda química de oxígeno biodegradable y no biodegradable de las vinazas a partir de balance.	Índice de biodegradabilidad (DBO <sub>5</sub> /DQO <sub>t</sub> ) y relación de la demanda química de oxígeno biodegradable entre la demanda bioquímica de oxígeno (DQOb/DBO <sub>5</sub> ) y contenidos porcentuales.	Germirli, F. Tchobanoglous, G. Grady	[49] [12] [50]
5.-Obtener la capacidad de la infraestructura de tratamiento por medio de ingeniería básica y simulación.	Pretratamiento, tratamiento etapa primaria, acondicionamiento, volumen del reactor biológico (UASB) y servicios auxiliares.	Henze M. Tchobanoglous, G.	[52] [12]

*Tabla 7.0, selección de indicadores y referencias a los autores.*

Los instrumentos implicados en el desarrollo del proyecto son aquellos que facilitan las labores de desarrollo en cada uno de sus pasos, de manera específica, para este trabajo se muestran en la Tabla 8 Instrumentos relacionados a los objetivos particulares.

Objetivo particular	Instrumentos
1.-Obtener los rendimientos del destilado ordinario en laboratorio partiendo de volúmenes iguales de mosto.	Hielera para efectuar traslado de muestras de mosto, termómetro con escala de -5 a 150 °C, alambique para destilación a escala de laboratorio 15L, registradores de temperatura con sensores tipo termopar J, equipo de cómputo, medidor de índice de refracción, 15 vasos de precipitados de 100 mL, refrigerador doméstico dedicado, 2 probetas de 250 mL, 12 recipientes de polipropileno (2 de 10 L, 2 de 5 L y 8 de 1 L).
2.-Obtener la disminución en la carga contaminante de las vinazas.	Hielera para efectuar traslado de muestras de vinazas y termómetro con escala de -5 a 150 °C
3.-Obtener la aportación a la carga contaminante de las vinazas proveniente de las levaduras contenidas en el mosto.	Equipo de cómputo para efectuar cálculos y reportar resultados
4.-Obtener el índice de biodegradabilidad y las fracciones de la demanda química de oxígeno biodegradable y no biodegradable de las vinazas.	Equipo de cómputo para efectuar cálculos y reportar resultados
5.-Obtener la capacidad de la infraestructura de tratamiento por medio de ingeniería básica y simulación.	Equipo de cómputo habilitado con software de simulación SIMBA#WATER 4.2 para efectuar cálculos y reportar resultados

*Tabla 8.0, instrumentos relacionados a los objetivos particulares.*

#### 4.1. Justificación de la estrategia de intervención

La estrategia de intervención se encuentra sustentada en el método científico, dado que la premisa del proyecto es evaluar la magnitud con la que impacta la implementación del proceso mejorado para la producción de tequila y otros destilados de agave en el contenido contaminante de las vinazas tequileras y sus efectos en la tratabilidad, misma que tiene relación directa con la capacidad

requerida de la infraestructura dedicada a su tratamiento biológico y el costo, a continuación se muestra el diagrama de flujo en relación al método de investigación.

En la figura 12: Diagrama de flujo del método de investigación, se muestra en forma esquemática las actividades realizadas para completar la información requerida.

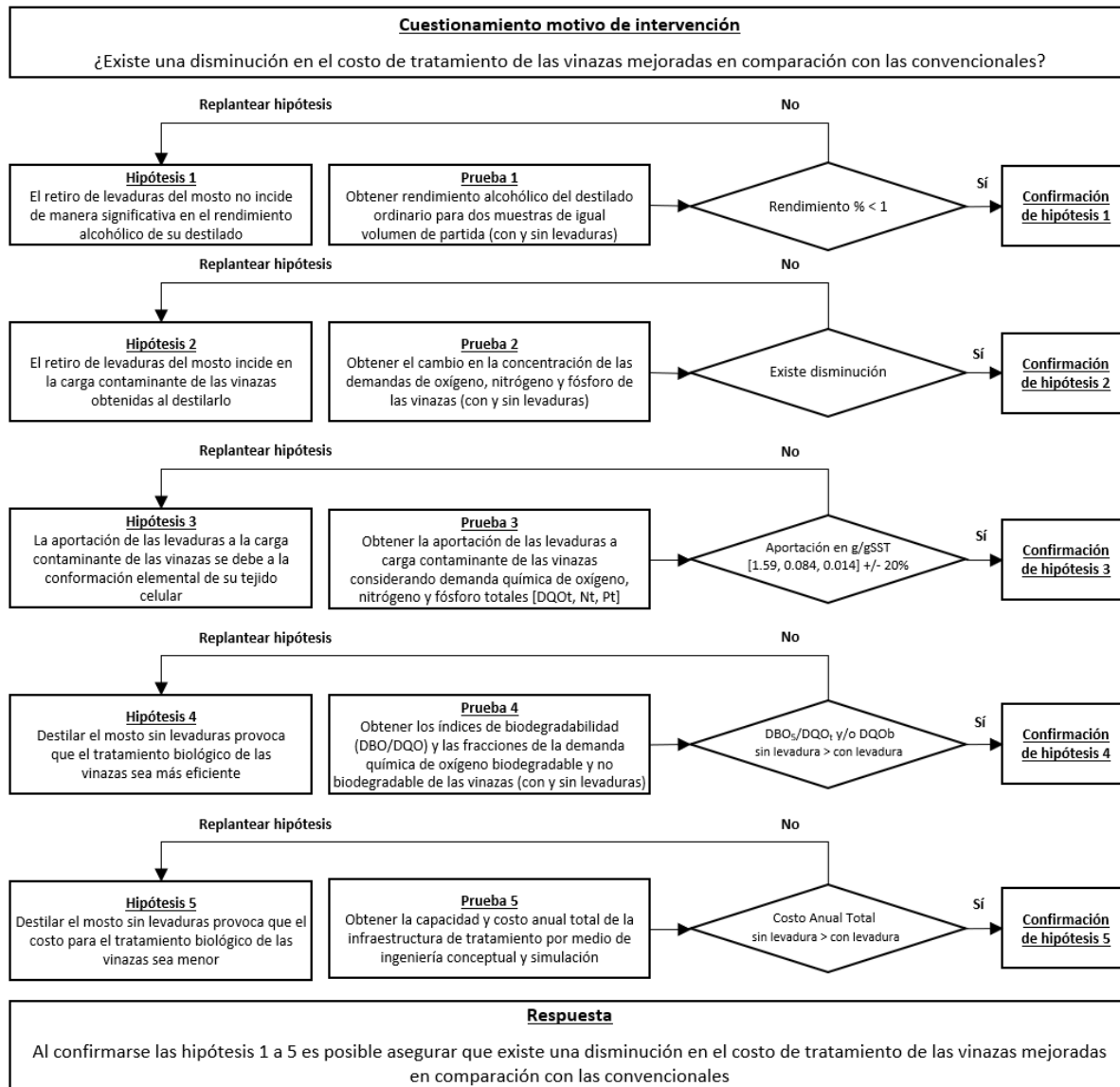


Figura 12.0, diagrama de flujo del método de investigación.

El desarrollo del método implica replanteamientos de las hipótesis en caso de no cumplir con las especificaciones de las pruebas, mismas que fueron diseñadas conforme a la técnica referida en la tabla e indicadores seleccionados que se muestran en la tabla 7.0, dando lugar a los argumentos en cuanto a los resultados obtenidos.

#### 4.1.1. Consideraciones costo/beneficio de la estrategia

Los recursos dedicados a las actividades se reportan en la tabla 9.0, en la que también se han relacionado los beneficios específicos sobre la confirmación de las hipótesis planteadas en la metodología.

Metas	Insumos materiales, software y servicios requeridos	Costo	Beneficios
1.-Obtener los rendimientos del destilado ordinario obtenido en laboratorio partiendo de volúmenes iguales de mosto.	-Material de laboratorio* -Mosto muerto -Recipientes y material de acarreo -Refrigerador tipo doméstico	\$12,354.30	Confirmación de hipótesis 1 El retiro de levaduras del mosto no incide de manera significativa en el rendimiento alcohólico de su destilado
2.-Obtener la disminución en la concentración de las demandas de oxígeno, nitrógeno y fósforo.	-Pruebas analíticas efectuadas por un laboratorio acreditado, CIATEJ, A.C.	\$9,413.40	Confirmación de hipótesis 2 El retiro de levaduras del mosto incide en la carga contaminante de las vinazas obtenidas al destilarlo
3.-Obtener la aportación a la carga contaminante de las vinazas proveniente de las levaduras contenidas en el mosto.	-Pruebas analíticas efectuadas por un laboratorio acreditado, CIATEJ, A.C.*	\$4,732.80	Confirmación de hipótesis 3 La aportación de las levaduras a la carga contaminante de las vinazas se debe a la conformación elemental de su tejido celular
4.-Obtener el índice de biodegradabilidad y las fracciones de la demanda química de oxígeno biodegradable y no biodegradable de las vinazas a partir de balance.	-Pruebas analíticas efectuadas por un laboratorio acreditado, CIATEJ, A.C.	\$9,413.40	Confirmación de hipótesis 4 Destilar el mosto sin levaduras provoca que el tratamiento biológico de las vinazas sea más eficiente
Aspectos adicionales sobre la investigación en relación a la digestión anaerobia de vinazas tequileras	-Pruebas analíticas efectuadas en laboratorio, UDG.**	\$44,691.60	Confirmación de hipótesis 4 Destilar el mosto sin levaduras provoca que el tratamiento biológico de las vinazas sea más eficiente
5.-Obtener la capacidad de la infraestructura de tratamiento por medio de ingeniería básica y simulación.	-Software SIMBA#WATER V4.2 (licencia ITESO x 2 años)*	\$146,931.00	Confirmación de hipótesis 5 Destilar el mosto sin levaduras provoca que el costo para el tratamiento biológico de las vinazas sea menor
<b>Total con IVA, otros impuestos y retenciones incluidos</b>		<b>\$227,536.50</b>	Hay que aseverar que existe una disminución en el costo de tratamiento de las vinazas mejoradas en comparación con las convencionales
* Costos y materiales cubiertos por el DPTI (Departamento de Procesos Tecnológico e Industriales) de ITESO.			
** Costos cubiertos por el FAI (Fondo de Apoyo a la Investigación) de ITESO.			

*Tabla 9.0, relación costo beneficio del proyecto.*

Las consideraciones en cuanto a la cantidad de réplicas necesarias para las pruebas analíticas fueron efectuadas valorando el impacto en los intervalos de confianza de los resultados, tomando en cuenta que las hipótesis son de tipo causa – efecto, en las cuales la comparación directa es el instrumento idóneo para hacer la decisión sobre los resultados de las pruebas.

A continuación, se muestran los gráficos y resultados de las valoraciones, en las cuales se tomó el costo promedio por muestra para la determinación analítica de la batería, que incluyó entre otros, la demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo y sólidos totales. La valoración se realizó en tres partes, considerando las desviaciones estándar de tres de las determinaciones que engloban los rangos de incertidumbre implicados, para la DQO (250 mg/L), para sólidos totales (10 mg/L) y para nitrógeno total Kjeldahl (0.5 mg/L).

Réplicas (n)	t de Student	Margen de confianza	Costo (Pesos)
	$t_{(0.95/2)}$	$\pm t_{(0.95/2)} S/n^{1/2}$	IVA incluido
1	+00	+00	\$290.00
2	12.706	2,246.16	\$580.00
3	4.303	621.03	\$870.00
4	3.182	397.81	\$1,160.00
5	2.776	310.42	\$1,450.00

-Análisis de costo pruebas CIATEJ (DQO [=] mg/L)  
 -Calculado para una desviación estándar típica S = 250 mg/L  
 -Nivel de confianza (1- $\alpha$ ) de 0.05

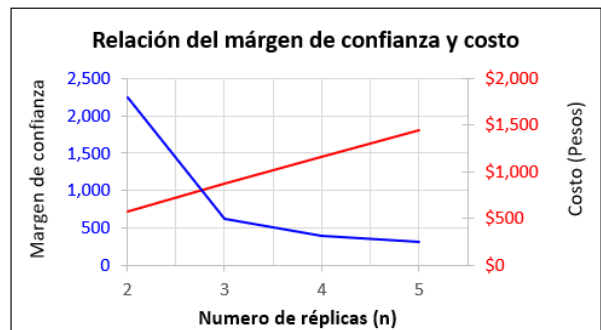


Tabla 10.0 y figura 13.0, valoración del margen de confianza y costo por número de réplicas pruebas de DQO.

Réplicas (n)	t de Student	Margen de confianza	Costo (Pesos)
	$t_{(0.95/2)}$	$\pm t_{(0.95/2)} S/n^{1/2}$	IVA incluido
1	+00	+00	\$127.60
2	12.706	89.85	\$255.20
3	4.303	24.84	\$382.80
4	3.182	15.91	\$510.40
5	2.776	12.42	\$638.00

-Costo pruebas CIATEJ (sólidos totales [=] mg/L)  
 -Calculado para una desviación estándar típica de 10 mg/L  
 -Nivel de confianza (1- $\alpha$ ) de 0.05

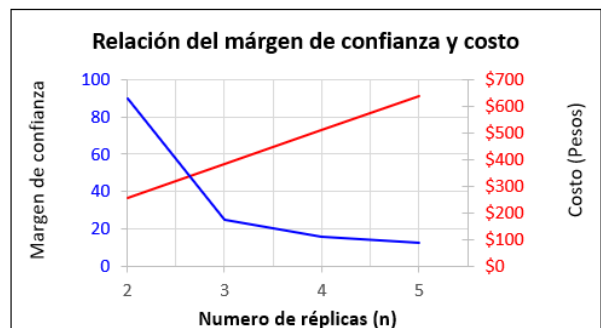


Tabla 10.1 y figura 13.1, valoración del margen de confianza y costo por número de réplicas pruebas de sólidos totales.

Réplicas (n)	t de Student	Margen de confianza	Costo (Pesos)
	$t_{(0.95/2)}$	$\pm t_{(0.95/2)} S/n^{1/2}$	IVA incluido
1	+00	+00	\$313.20
2	12.706	4.49	\$626.40
3	4.303	1.24	\$939.60
4	3.182	0.80	\$1,252.80
5	2.776	0.62	\$1,566.00

-Costo pruebas CIATEJ (nitrógeno total kjeldahl [=] mg/L)  
 -Calculado para una desviación estándar típica de 0.5 mg/L  
 -Nivel de confianza (1- $\alpha$ ) de 0.05

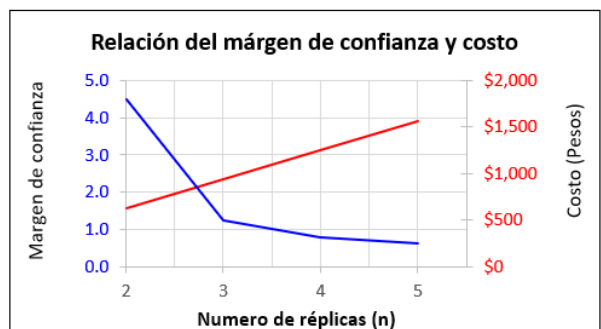


Tabla 10.2 y figura 13.2, valoración del margen de confianza y costo por número de réplicas pruebas de nitrógeno total Kjeldahl.

En los tres casos analizados (Tablas 10.0 a 10.2 y Figuras 13.0 a 13.2) se seleccionaron 3 réplicas al verificar que los márgenes de confianza son viables para las comparaciones y su costo asociado es factible, los incrementos de costo para 4 y más replicas no disminuyen el margen de confianza de manera significativa.

#### 4.2. Muestra o sujetos de investigación

Es imprescindible contar con una muestra representativa de mosto proveniente de la empresa Hacienda de Oro S.A. de C.V., se efectuó su traslado bajo condiciones de conservación al laboratorio del DPTI – ITESO para evitar efectos de degradación y de este modo contar con las muestras en un estado adecuado para efectuar las destilaciones. Las muestras de vinaza permanecieron en almacenamiento hasta su traslado al laboratorio del CIATEJ, en donde se realizaron los análisis fisicoquímicos y biológicos para conocer su contenido contaminante. En la siguiente tabla se muestra el esquema de movimientos y aspectos de conservación indispensables.

Proceso	Muestra	Sitio de muestreo	Traslado a	Tiempo (Horas)	Tipo de conservación	Medio de verificación
Destilación	Mosto muerto	Área de producción de la empresa	Laboratorio del DPTI - ITESO	2	Térmica 2 - 8 °C	Termómetro
Almacenamiento	Vinazas	Laboratorio del DPTI - ITESO	Domicilio particular	24	Térmica 2 - 8 °C	Termómetro
Pruebas analíticas	Vinazas	Domicilio particular	Laboratorio CIATEJ	1	Térmica 2 - 8 °C	Termómetro
Pruebas analíticas	Vinazas	Domicilio particular	Laboratorio UDG	1	Térmica 2 - 8 °C	Termómetro

*Tabla 11.0, esquema de movimientos, tiempos y aspectos de conservación de las muestras.*

Asimismo, la homogeneidad de las muestras de mosto proveniente de la empresa es un aspecto clave, por lo cual, se enlistan en la tabla 12.0 las medidas de mitigación efectuadas durante el muestreo de mosto muerto del fermentador.

Paso de muestreo	Procedimiento	Aspecto de procuración
1.- Preparación de lote de mosto muerto proveniente del fermentador.	Efectuar el mezclado del mosto inyectando aire a través del difusor durante 15 minutos previos a la descarga.	Asegurar que el mosto muerto tiene el contenido de sólidos representativo del lote.
2.- Vaciado de línea de descarga	Efectuar el vaciado de la línea de descarga del fermentador descargando a la fosa de formulación de jugos el volumen correspondiente a 3 líneas de llenado (80 L aproximadamente).	Garantizar que la muestra tomada del fermentador no se interfiera con restos de mosto preexistentes en la línea de descarga.
3.- Llenado de recipiente primario (20 L)	Una vez vaciada la línea de descarga con el mosto homogeneizado, tomar el recipiente primario y llenarlo para transferir el mosto a los recipientes de traslado.	Confirmar el estado del mosto previo al llenado de los recipientes de traslado.
4.- Puesta en conservación de los recipientes de traslado (10 L)	Hacer la transferencia del mosto homogéneo a los recipientes de traslado con tapa y cerrarla, ponerlos en conservación dentro de la hielera prellenada con hielo y ponerlos en el vehículo.	Impedir contaminación del mosto y conservar térmicamente para evitar su degradación.

*Tabla 12.0, procedimiento y aspectos de procuración para el manejo del mosto.*

## 5. Exposición de hallazgos

### Sobre el proceso de muestreo del mosto y separación de levaduras

El muestreo del mosto se realizó en las instalaciones de la empresa Hacienda de Oro, S.A. de C.V., con el apoyo del mentor del proyecto, siguiendo sus indicaciones y atendiendo al procedimiento señalado en la tabla 12.0, recuperando 20 litros de mosto homogéneo, posteriormente se realizó el traslado del mosto a los laboratorios del ITESO en dónde realizó el proceso de separación de las levaduras para 7.8 litros de mosto de partida, posteriormente se mantuvo en refrigeración hasta la realización del proceso de destilado.



Figura 14.0, imágenes del proceso de muestreo, línea de descarga y recipiente de traslado, muestra de mosto homogéneo.

El proceso de separación de levaduras del mosto se llevó a cabo utilizando una centrífuga Babcock que opera a una velocidad angular de 875 RPM (200 G) y cuenta con una corona de doce (12) plazas para tubos de 50 mL. Se procesaron trece (13) lotes con un tiempo de centrifugación de 10 minutos, registrando los volúmenes recuperados, como se muestra en la tabla 17.0.



Figura 14.1, imágenes del proceso de separación, homogeneizado previo al llenado de tubos y centrifugación de mosto.

Tubo/Lote	Volumen de sobrenadante colectado después de centrifugación [=] mL												
	i	ii	iii	iv	v	vi	vii	viii	ix	x	xi	xii	xiii
1	44	46	46	46	47	45	47	48	46	46	48	44	45
2	46	44	48	44	48	43	43	45	44	44	48	46	45
3	47	48	48	49	47	49	45	45	49	48	44	47	47
4	45	46	49	48	48	46	50	46	48	46	48	45	49
5	46	45	45	46	48	47	47	47	46	45	46	46	44
6	46	46	46	47	49	49	48	48	47	46	47	46	48
7	49	46	45	42	42	45	48	43	42	46	46	49	49
8	48	42	42	50	48	47	48	48	50	42	48	48	46
9	41	48	49	43	47	48	48	49	43	48	47	41	46
10	50	43	43	49	49	46	49	47	49	43	45	50	46
11	43	47	48	46	48	45	46	48	46	47	48	43	45
12	49	47	47	49	43	43	47	46	49	47	46	49	47
<b>Total x lote</b>	<b>554</b>	<b>548</b>	<b>556</b>	<b>559</b>	<b>564</b>	<b>553</b>	<b>566</b>	<b>560</b>	<b>559</b>	<b>548</b>	<b>561</b>	<b>554</b>	<b>557</b>
<b>Recuperado</b>	<b>7,239</b>												
<b>Inicial</b>	<b>7,800</b>												
<b>%</b>	<b>92.81%</b>												

Tabla 13.0, volumen de mosto recuperado después de separación.

En el proceso de separación se logró un rendimiento de 92.81% con respecto al volumen de partida de 7,800 mL y se recuperaron aproximadamente 561 mL de levaduras húmedas. Al concluir el proceso de separación se almacenaron en refrigeración los volúmenes de mosto con levaduras y mosto sin levaduras.

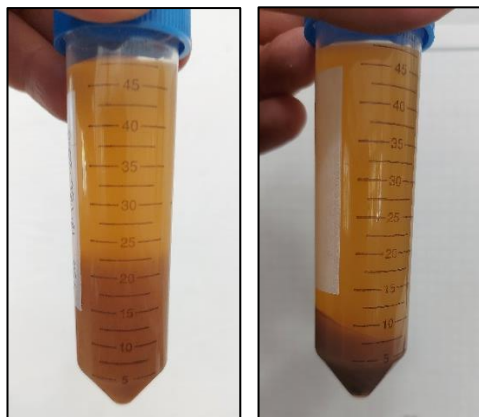


Figura 14., imágenes del mosto en los tubos de centrifugación, antes y después del proceso respectivamente.

### **Sobre el proceso de destilación de los mostos con levaduras y sin levaduras**

El proceso de destilación del mosto se realizó haciendo la preparación de la caldera, marca Fulton Electric Steam y modelo FB-018-L, para proporcionar vapor al alambique de destilación a escala de laboratorio, se procedió al llenado del alambique, de 15L en material de acero inoxidable y con chaqueta exterior para vapor, con el volumen recuperado de mosto sin levaduras y se inició la alimentación gradualmente hasta identificar condensado de vapor en la descarga de la chaqueta, durante el proceso se registró la temperatura de líquido, temperatura de vapor y los volúmenes colectados de condensado ordinario, asimismo se midieron los valores de Brix de los volúmenes colectados para estimar el contenido porcentual de etanol.



Figura 15.0, imágenes del proceso de destilación.

Resultado del proceso de destilación se colectaron 1,210 mL de ordinario con una concentración aproximada de 15% v.v. de etanol y se retuvieron 6,600 mL de vinazas para el mosto no

centrifugado, para el mosto centrifugado se colectó un volumen de 1,240 mL de ordinario con una concentración aproximada de 14.5 % v.v. de etanol y se retuvieron 5,850 mL de vinazas.

NO CENTRIFUGADO					
Delta V [=] mL	V aditivo [=] mL	T (líquido) [=] °C	T (vapor) [=] °C	Brix	% EtOH
10	10	14.23	89.36	17.5	53
10	20	15.22	96.03	15	46
10	30	16.44	96.58	13	39.5
10	40	17.4	96.71	11	33
10	50	21.37	96.84	10	30
10	60	37.79	96.76	9	27
40	100	86.12	96.32	7.5	22
100	200	89.39	97.01	6.5	19
100	300	89.65	96.97	6	18
100	400	89.44	97.38	5	14.5
100	500	90.25	98.07	4	11.5
100	600	88.58	98.42	3.5	10
100	700	88.64	98.14	3	8.5
100	800	90.25	98.07	4	11.5
100	900	88.58	98.42	3.5	10
100	1000	88.64	98.14	3	8.5
100	1100	89.21	98.66	2.8	8
110	1210	90.27	97.73	2.8	8
<b>FINAL</b>				<b>5.2</b>	<b>15</b>

CENTRIFUGADO					
Delta V [=] mL	V aditivo [=] mL	T (líquido) [=] °C	T (vapor) [=] °C	Brix	% EtOH
5	5	17.74	92.81	16.5	52
15	20	17.95	95.29	15	46
15	35	33.8	96.41	14	42
15	50	65.8	96.55	13	40
15	65	77.21	96.55	12	36
20	85	84.06	96.57	11	33
50	135	85.78	96.46	10	30.5
105	240	87.07	96.71	7	21
100	340	87.92	97.12	6	18
100	440	88.53	97.43	5	15
100	540	88.5	97.85	5	14
100	640	88.88	97.99	4	11.5
100	740	88.53	97.43	5	14
100	840	88.5	97.85	5	14
100	940	88.88	97.99	4	11.5
100	1040	89.26	98.17	3	8.5
100	1140	89.25	98.36	3	8.5
100	1240	88.8	98.24	3	8.5
<b>FINAL</b>				<b>5</b>	<b>14.5</b>

Tablas 14.0 y 14.1, registro de datos del proceso de destilación, mosto no centrifugado y centrifugado.

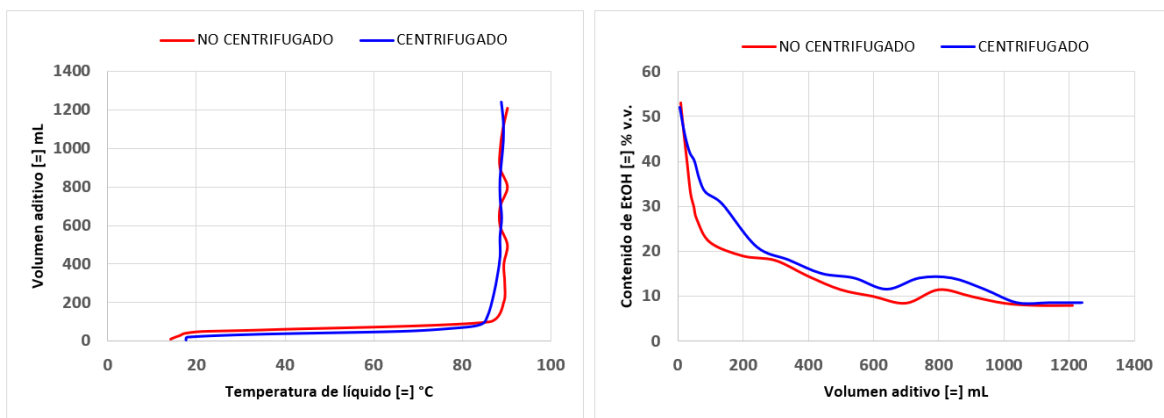


Figura 15.1, gráficos del proceso de destilación, volumen aditivo, temperatura y contenido de etanol.

Se realizaron los cálculos para verificar los volúmenes y concentraciones de etanol obtenidas durante el proceso de destilación, verificando que tanto los volúmenes como las concentraciones de etanol coinciden con los observados en el laboratorio.

Se puede observar como parte de la verificación ilustrada en las tablas 14.2 y 14.3, que el volumen inicial en el cálculo es de 7.77 L y el de partida en el experimento fue de 7.8 L, la generación de vinazas en el cálculo fue de 6.6 L y la recuperación de vinazas en el laboratorio fue de 6.6 L, la concentración de etanol en el cálculo para destilado ordinario fue de 15.2 %v.v. y la medición en laboratorio corresponde a 15% v.v.

**MOSTO NO CENTRIFUGADO**

**FRACCIÓN DE ETANOL EN EL MOSTO AL INICIO DE LA DESTILACIÓN**

<b>F</b>	423.4809	423.481	mol	totales	7741.99	g	totales	X et (w.w.)	X et (v.v.)	Densidad (g/L)	Volumen (L)
<b>x<sub>F</sub></b>	0.0095	4.023	mol	etanol	185.34	g	etanol	0.024	<b>0.027</b>	995.300	7.779
<b>1-x<sub>F</sub></b>	0.9905	419.458	mol	agua	7556.65	g	agua				

**FRACCIÓN DE ETANOL EN LAS COLAS AL FINAL DE LA DESTILACIÓN**

<b>B</b>	365.6562	365.656	mol	totales	6616.33	g	totales	X et (w.w.)	X et (v.v.)	Dens (g/L)	Volumen (L)
<b>x<sub>B</sub></b>	0.0028	1.031	mol	etanol	47.51	g	etanol	0.007	0.005	997.406	6.634
<b>1-x<sub>B</sub></b>	0.9972	364.625	mol	agua	6568.82	g	agua				

**FRACCIÓN DE ETANOL EN EL ORDINARIO AL FINAL DE LA DESTILACIÓN**

<b>D</b>	57.8247	57.825	mol	totales	1125.66	g	totales	X et (w.w.)	X et (v.v.)	Dens (g/L)	Volumen (L)
<b>x<sub>D</sub></b>	0.0517	2.992	mol	etanol	137.83	g	etanol	0.122	<b>0.152</b>	981.957	1.146
<b>1-x<sub>D</sub></b>	0.9483	54.833	mol	agua	987.83	g	agua				

**CÁLCULO DE LA RELACIÓN B/F POR INTEGRACIÓN NUMÉRICA (ECUACIÓN DE RAYLEIGH)**

<b>Ln(B/F)</b>	-0.1468			
<b>B/F</b>	0.8635			
<b>1-(B/F)</b>	0.1365			
<b>B+D</b>	423.481	mol	totales	

M\_CH3-CH2-OH      46.07 g/mol

M\_H2O                18.01528 g/mol

*Tablas 14.2, cálculos de verificación para la destilación de mosto con levaduras.*

**MOSTO CENTRIFUGADO**

**FRACCIÓN DE ETANOL EN EL MOSTO AL INICIO DE LA DESTILACIÓN**

<b>F</b>	387.0265	387.026	mol	totales	7075.54	g	totales	X et (w.w.)	X et (v.v.)	Densidad (g/L)	Volumen (L)
<b>x<sub>F</sub></b>	0.0095	3.677	mol	etanol	169.39	g	etanol	0.024	<b>0.027</b>	995.300	7.109
<b>1-x<sub>F</sub></b>	0.9905	383.350	mol	agua	6906.15	g	agua				

**FRACCIÓN DE ETANOL EN LAS COLAS AL FINAL DE LA DESTILACIÓN**

<b>B</b>	329.0847	329.085	mol	totales	5950.48	g	totales	X et (w.w.)	X et (v.v.)	Densidad (g/L)	Volumen (L)
<b>x<sub>B</sub></b>	0.0024	0.782	mol	etanol	36.01	g	etanol	0.006	0.003	997.546	5.965
<b>1-x<sub>B</sub></b>	0.9976	328.303	mol	agua	5914.47	g	agua				

**FRACCIÓN DE ETANOL EN EL ORDINARIO AL FINAL DE LA DESTILACIÓN**

<b>D</b>	57.9418	57.942	mol	totales	1125.06	g	totales	X et (w.w.)	X et (v.v.)	Densidad (g/L)	Volumen (L)
<b>x<sub>D</sub></b>	0.0500	2.895	mol	etanol	133.38	g	etanol	0.119	<b>0.148</b>	982.515	1.145
<b>1-x<sub>D</sub></b>	0.9500	55.047	mol	agua	991.68	g	agua				

**CÁLCULO DE LA RELACIÓN B/F POR INTEGRACIÓN NUMÉRICA (ECUACIÓN DE RAYLEIGH)**

<b>Ln(B/F)</b>	-0.1622			
<b>B/F</b>	0.8503			
<b>1-(B/F)</b>	0.1497			
<b>B+D</b>	387.026	mol	totales	

M\_CH3-CH2-OH      46.07 g/mol

M\_H2O                18.0153 g/mol

*Tablas 14.3, cálculos de verificación para la destilación de mosto sin levaduras.*

Asimismo, para el mosto sin levaduras el volumen inicial en el cálculo es de 7.1 L y el de partida en el experimento fue de 7.2 L, la generación de vinazas en el cálculo fue de 5.9 L y la recuperación de vinazas en el laboratorio fue de 5.8 L, la concentración de etanol en el cálculo para destilado ordinario fue de 14.8 %v.v. y la medición en laboratorio corresponde a 14.5% v.v.



Figura 15.2, imagen de la recuperación de vinazas del alambique posterior a la destilación.

Los volúmenes de etanol recuperados fueron de 181.5 y 179.8 mL para los mostos no centrifugado y centrifugado respectivamente, de los cuales es posible establecer la disminución en el rendimiento es de 0.936 %

Las vinazas recuperadas del mosto con levaduras fueron identificadas como (A2) y las vinazas recuperadas del mosto sin levaduras como (B2), posterior al proceso de destilación las muestras de mosto y vinazas fueron puestas en almacenamiento refrigerado para su posterior análisis.



Figura 15.3, imagen de las muestras de mosto y vinazas en almacenamiento refrigerado.

## Sobre el proceso de análisis en laboratorio de los mostos y las vinazas A2 y B2

Con el propósito de realizar los análisis en el laboratorio del CIATEJ, A.C., se entregaron las muestras correspondientes en sus instalaciones y se solicitó efectuar una batería analítica completa, conforme a la planeación establecida en el punto 4.3, metas de información.

Los reportes analíticos se recibieron al cabo de 4 semanas aproximadamente, dado que se solicitó realizar pruebas de la demanda bioquímica de oxígeno al veinteavo día, posterior a este periodo se recibieron los certificados y se procedió a analizar los datos con fines de verificación estadística, en el ANEXO 1: INFORMES DE RESULTADOS ANALÍTICOS DE CIATEJ, A.C., se incluye una copia fiel de los certificados.

En el primer bloque de resultados se muestran valores para los mostos A2 y B2 en las tablas 15.0 y 15.1.

PARÁMETRO	A2-X	A2-S	n	alfa	t(alfa/2)	A2-INF	A2-SUP
Sólidos suspendidos volátiles, mg/L	760.42	10.49	4.00	0.95	3.1824	743.73	777.10
Sólidos totales, mg/L	24,540.75	7.27	4.00	0.95	3.1824	24,529.17	24,552.33
Sólidos suspendidos totales, mg/L	7,656.25	10.48	4.00	0.95	3.1824	7,639.57	7,672.93
Alcohol vol. @ 20 °C, %v.v.	2.82	0.02	4.00	0.95	3.1824	2.78	2.85

*Tabla 15.0, valores promedio de parámetros analíticos de mosto A2, se muestran los márgenes de confianza inferior y superior.*

PARÁMETRO	B2-X	B2-S	n	alfa	t(alfa/2)	B2-INF	B2-SUP
Sólidos suspendidos volátiles, mg/L	1.00	0.00	4.00	0.95	3.1824	1.00	1.00
Sólidos totales, mg/L	22,553.25	8.26	4.00	0.95	3.1824	22,540.10	22,566.40
Sólidos suspendidos totales, mg/L	380.47	5.34	4.00	0.95	3.1824	371.98	388.96
Alcohol vol. @ 20 °C, %v.v.	2.59	0.01	4.00	0.95	3.1824	2.58	2.61

*Tabla 15.1, valores promedio de parámetros analíticos de mosto B2, se muestran los márgenes de confianza inferior y superior.*

Se puede apreciar en las tablas 19.0 y 19.1, que los márgenes de confianza no se traslapan, por lo cual es posible confirmar que existe diferencia significativa entre las medias de los parámetros analíticos para los mostos A2 y B2.

Una vez confirmado que existe diferencia significativa entre los valores promedio, se procedió a realizar la diferencia entre los promedios correspondientes a mosto A2 menos B2 para obtener su porcentaje de diferencia con respecto a A2.

Parámetro	A2	B2	B2 - A2	100 (B2 - A2)/A2 [=] %
Sólidos suspendidos volátiles, mg/L	760.42	1.00	-759.42	-99.87
Sólidos totales, mg/L	24,540.75	22,553.25	-1,987.50	-8.10
Sólidos suspendidos totales, mg/L	7,656.25	380.47	-7,275.78	-95.03
Alcohol vol. @ 20 °C, %v.v.	2.82	2.59	-0.23	-0.23*

\*En el caso del contenido de alcohol no se reporta con respecto al valor A2 dado que el indicador corresponde directamente a la diferencia entre los valores de B2-A2.

Tabla 15.2, diferencia entre valores promedio y porcentaje de disminución para los mostos A2 y B2.

De la revisión de la tabla 15.2, se confirma que todos los parámetros analíticos tienen una disminución, particularmente 8.1% para los sólidos totales y 0.23% para el contenido de etanol.

A continuación, se muestra el gráfico 16.0 representativo de las diferencias observadas en los resultados analíticos de sólidos para los mostos.

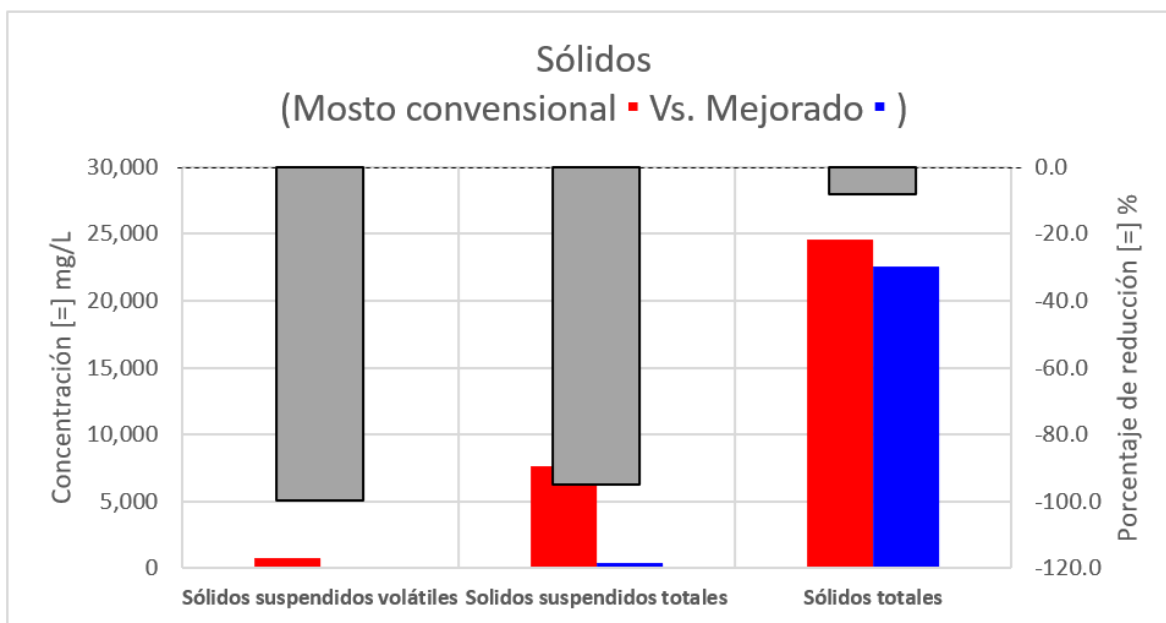


Figura 16.0, gráfico de valores promedio y diferencias porcentuales del cambio en las concentraciones de los parámetros analíticos de sólidos obtenidos para los mostos.

En el segundo bloque de resultados se muestran valores para las vinazas A2 y B2.

Parámetro	A2-X	A2-S	n	alfa	t(alfa/2)	A2-INF	A2-SUP
DQO, mg/L	66,113.67	425.70	3.00	0.95	4.3027	65,056.18	67,171.16
DQO soluble, mg/L	50,384.03	425.70	3.00	0.95	4.3027	49,326.54	51,441.52
DBO <sub>5</sub> , mg/L	34,042.55	0.00	3.00	0.95	4.3027	34,042.55	34,042.55
DBO <sub>5</sub> soluble, mg/L	24,316.11	0.00	3.00	0.95	4.3027	24,316.11	24,316.11
Sólidos totales, mg/L	29,622.33	11.02	3.00	0.95	4.3027	29,594.97	29,649.70
Sólidos suspendidos totales, mg/L	9,498.33	2.89	3.00	0.95	4.3027	9,491.16	9,505.50
Sólidos suspendidos volátiles, mg/L	779.17	14.43	3.00	0.95	4.3027	743.31	815.02
Nitrógeno total Kjeldahl, mg/L	202.12	0.23	3.00	0.95	4.3027	201.54	202.69
Nitrógeno amoniacal, mg/L	11.67	0.04	3.00	0.95	4.3027	11.57	11.77
Fósforo total, mg/L	4.16	0.03	3.00	0.95	4.3027	4.08	4.23
Fósforo soluble, mg/L	2.83	0.01	3.00	0.95	4.3027	2.81	2.85

Tabla 15.3, valores promedio de parámetros analíticos de vinazas A2, se muestran los márgenes de confianza inferior y superior.

Parámetro	B2-X	B2-S	n	alfa	t(alfa/2)	B2-INF	B2-SUP
DQO, mg/L	63,655.92	425.70	3.00	0.95	4.3027	62,598.43	64,713.41
DQO soluble, mg/L	47,188.94	0.00	3.00	0.95	4.3027	47,188.94	47,188.94
DBO <sub>5</sub> , mg/L	31,610.94	0.00	3.00	0.95	4.3027	31,610.94	31,610.94
DBO <sub>5</sub> soluble, mg/L	19,452.89	0.00	3.00	0.95	4.3027	19,452.89	19,452.89
Sólidos totales, mg/L	27,740.00	40.00	3.00	0.95	4.3027	27,640.63	27,839.37
Sólidos suspendidos totales, mg/L	187.47	3.23	3.00	0.95	4.3027	179.44	195.50
Sólidos suspendidos volátiles, mg/L	1.00	0.00	3.00	0.95	4.3027	1.00	1.00
Nitrógeno total Kjeldahl, mg/L	101.77	0.08	3.00	0.95	4.3027	101.59	101.96
Nitrógeno amoniacal, mg/L	6.84	0.08	3.00	0.95	4.3027	6.66	7.03
Fósforo total, mg/L	3.70	0.05	3.00	0.95	4.3027	3.57	3.82
Fósforo soluble, mg/L	1.52	0.01	3.00	0.95	4.3027	1.51	1.54

Tabla 15.4, valores promedio de parámetros analíticos de vinazas B2, se muestran los márgenes de confianza inferior y superior.

Se puede apreciar en las tablas 15.3 y 15.4, que los márgenes de confianza no se traslapan, por lo cual es posible confirmar que existe diferencia significativa entre las medias de los parámetros analíticos de las vinazas A2 y B2.

Una vez confirmado que existe diferencia significativa entre los valores promedio, se procedió a realizar la diferencia entre los promedios correspondientes a vinazas A2 menos B2 para obtener su porcentaje de diferencia con respecto a A2.

Parámetro	A2 [=] mg/L	B2 [=] mg/L	B2 - A2 [=] mg/L	100 (B2 - A2)/A2 [=] %
DBO <sub>5</sub> total	34,042.55	31,610.94	-2,431.61	-7.14
DBO <sub>5</sub> soluble	24,316.11	19,452.89	-4,863.22	-20.00
DQO total	66,113.67	63,655.92	-2,457.76	-3.72
DQO soluble	50,384.03	47,188.94	-3,195.09	-6.34
P total	4.16	3.70	-0.46	-11.07
P soluble	2.83	1.52	-1.31	-46.17
N amoniacal	11.67	6.84	-4.83	-41.38
N total Kjeldahl	202.12	101.77	-100.34	-49.65
SST	9,498.33	187.47	-9,310.87	-98.03
SSV	779.17	1.00	-778.17	-99.87
ST	29,622.33	27,740.00	-1,882.33	-6.35

Tabla 15.5, diferencia entre valores promedio y porcentaje de disminución para las vinazas A2 y B2.

De la revisión de la tabla 15.5, se confirma que todos los parámetros analíticos tienen una disminución apreciable, particularmente 3.72% para la DQO total, 49.65% para el nitrógeno total Kjeldahl y 11.07% para el fósforo total.

A continuación, se muestran los gráficos 16.1 a 16.3 representativos de las diferencias observadas en los resultados analíticos para las vinazas.

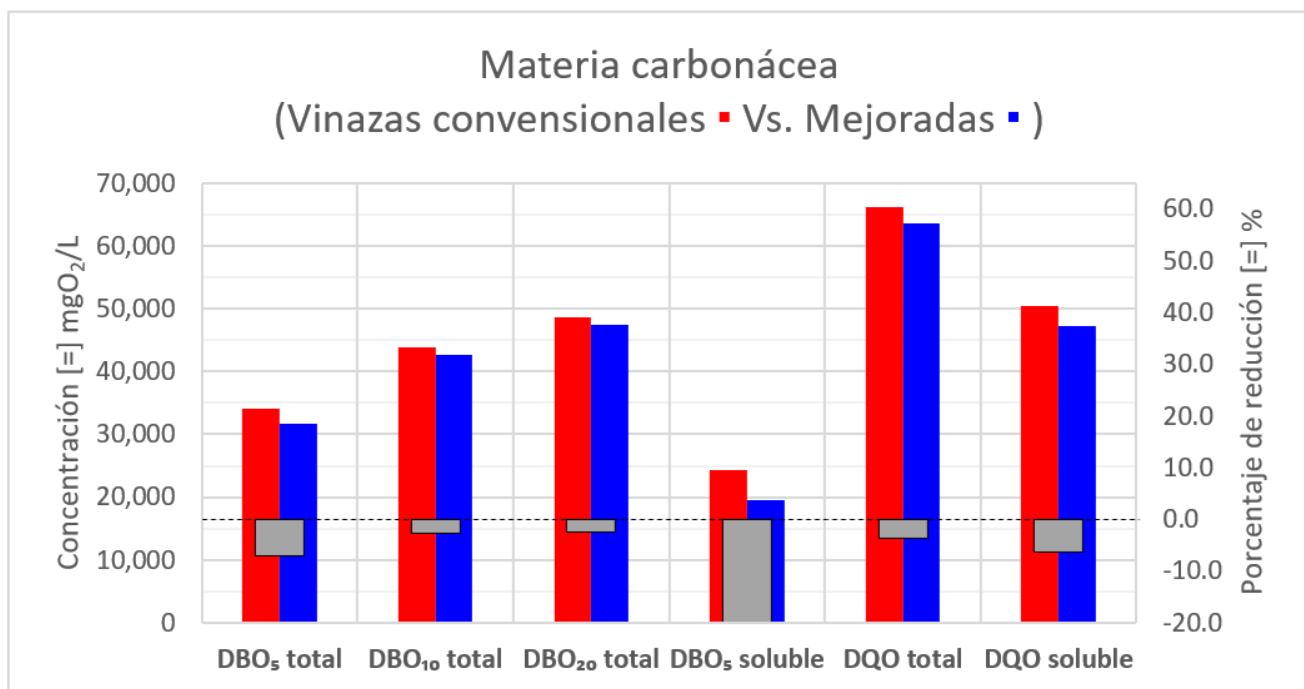


Figura 16.1, gráfico de valores promedio y diferencias porcentuales del cambio en las concentraciones de los parámetros analíticos referidos a demandas de oxígeno para las vinazas.

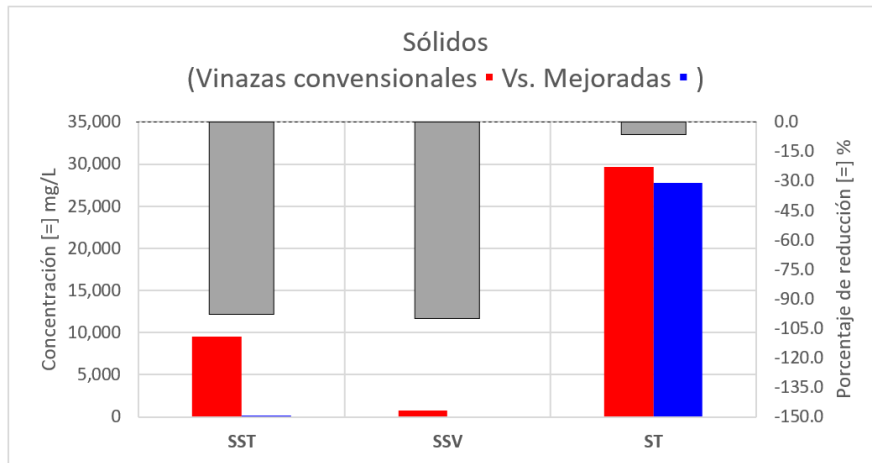


Figura 16.1, gráfico de valores promedio y diferencias porcentuales del cambio en las concentraciones de los parámetros analíticos referidos a sólidos para las vinazas.

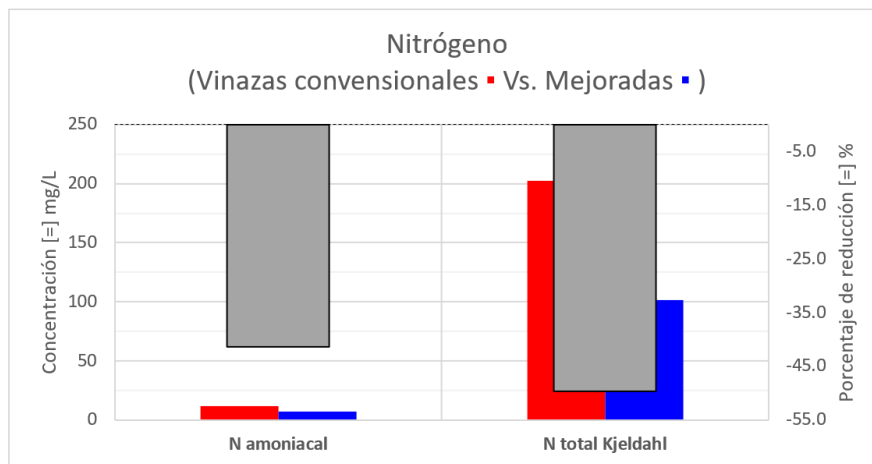


Figura 16.2, gráfico de valores promedio y diferencias porcentuales del cambio en las concentraciones de los parámetros analíticos referidos a nitrógeno para las vinazas.

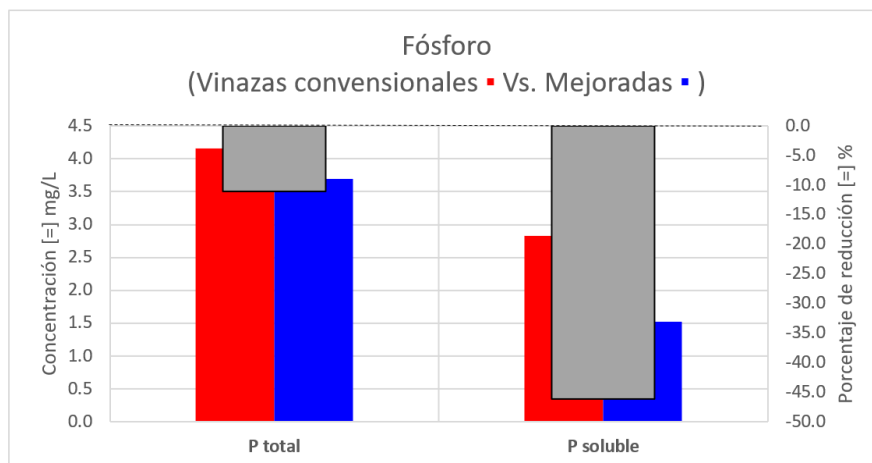


Figura 16.3, gráfico de valores promedio y diferencias porcentuales del cambio en las concentraciones de los parámetros analíticos referidos a fósforo para las vinazas.

## Sobre la aportación a la carga contaminante de las vinazas proveniente de las levaduras contenidas en el mosto

Considerando el planteamiento efectuado en los conceptos y enfoques teóricos relacionados, sobre la base para el cálculo de la contribución a la carga contaminante de las vinazas proveniente de las levaduras contenidas en el mosto, para la demanda química de oxígeno, nitrógeno y fósforo por cada gramo de levadura en base seca, se han reportado en la tabla 16 los valores estimados y su diferencia porcentual contra el valor teórico.

Parámetro	A2	B2	B2 - A2
DQO total, mg/L	66,113.7	63,655.9	-2,457.8
Nitrógeno total Kjeldahl, mg/L	202.1	101.8	-100.3
Fósforo total, mg/L	4.2	3.7	-0.5
Sólidos totales, mg/L	29,622.3	27,740.0	-1,882.3

Cálculo de aportación con base en la diferencia de sólidos totales					Diferencia %
Valor teórico	1.598	$\Delta DQO/\Delta SST$	1.306	gDQO/gST	-18.3
	0.08446	$\Delta Nt/\Delta SST$	0.0533	gNt/gST	-36.9
	0.01419	$\Delta Pt/\Delta SST$	0.00024	gPt/gST	-98.3

Tabla 16.0, comparación entre la aportación teórica y la estimada a partir de las diferencias en los parámetros característicos para las vinazas A2 y B2.

De la revisión de la tabla 16.0, se aprecia que las diferencias para las aportaciones son negativas y la magnitud para la DQO es de 18.3%, para el nitrógeno 36.9% y de 98.3% para el fósforo.

## Sobre la obtención del índice de biodegradabilidad y las fracciones de la DQO biodegradable y no biodegradable de las vinazas

De acuerdo con el procedimiento convencional para la obtención del índice de biodegradabilidad, se presentan en la tabla 17.0 los valores de los índices para las vinazas A2 y B2.

PARÁMETRO	A2	B2
DQOt, mg/L	66,113.67	63,655.92
DBO <sub>5</sub> , mg/L	34,042.55	31,610.94
DBO <sub>5</sub> /DQOt	0.515	0.497

Tabla 17.0, valores del índice de biodegradabilidad para las vinazas.

Para el caso del cálculo de las fracciones biodegradables y no biodegradables de las vinazas, es necesario estimar el valor de la demanda bioquímica última por medio de regresión, utilizando los valores de la DBO obtenidos en el quinto, décimo y veinteavo día, así como, el modelo de consumo de oxígeno sin nitrificación, considerando que el efecto de nitrificación no se encuentra presente, en la tabla 17.1, se presentan los datos para la regresión.

$$DBO_{(t)} = DBO_u(1 - e^{-kt})$$

Ecuación 4.0

t (d)	A2-X, mg/L	B2-X, mg/L
0	0.00	0.00
5	34,042.55	31,610.94
10	43,769.00	42,553.19
20	48,632.22	47,416.41

Tabla 17.1, valores promedio de la DBO obtenidos en los días 5, 10 y 20 de incubación.

En la tabla 17.2 se presentan los parámetros cinéticos obtenidos para el modelo ajustado a los datos de las vinazas A2 y B2, así como la bondad de regresión.

Parámetros cinéticos de la DBO			
Vinaza	DBOu, mg/L	k, 1/d	R <sup>2</sup>
A2	48,840	0.2356	0.9998
B2	48,110	0.2146	0.9999

Tabla 17.2, parámetros cinéticos de la DBO para vinazas A2 y B2.

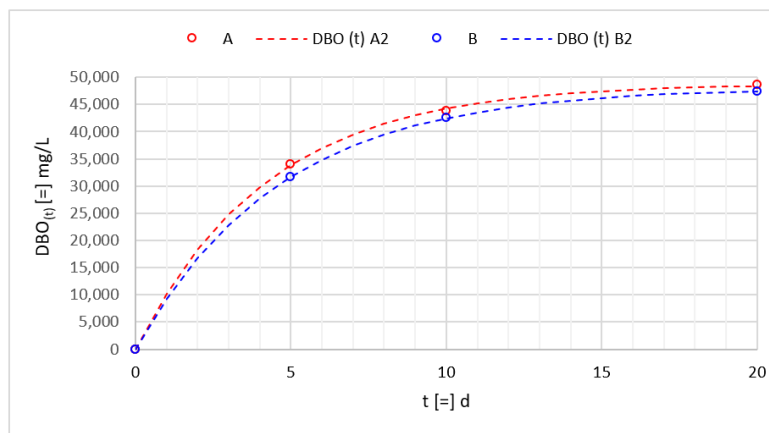


Figura 17.0, gráfico de los valores experimentales de la DBO y curvas de regresión para las vinazas A2 y B2.

De la gráfica 17.0 es posible apreciar que el efecto de nitrificación no se encuentra presente al no existir un segundo gradiente de cambio en el consumo de oxígeno ya avanzado el proceso de incubación, mismo que es característico de una presencia de bacterias nitrificantes.

Con los valores estimados de la DBOu, se procede a calcular el cociente de la DQOb entre la DBO mediante la ecuación 1.0, en la tabla 17.3 se muestran los resultados. Es importante mencionar que se considera el uso de un coeficiente de producción de biomasa (Y) de 0.40 gramos de sólidos suspendidos volátiles y una proporción de restos celulares (fd) de 0.10 en ambos casos, para bacterias heterotróficas típicamente encontradas en los inóculos empleados para hacer las pruebas de la DBO en aguas residuales industriales, mismas que provienen de aguas sanitarias.

Parámetro	A2	B2
DBOu, mg/L	48,840.00	48,110.00
DBO <sub>5</sub> total, mg/L	34,042.55	31,610.94
k, 1/d	0.2356	0.2146
fd, gSSV/gSSV	0.10	0.10
Y, gSSV/gDQOb	0.40	0.40
<b>DQOb/DBO</b>	<b>1.52</b>	<b>1.61</b>

Tabla 17.3, valores del cociente DQOb/DBO y parámetros cinéticos empleados.

Es importante señalar que el valor de la DQOb/DBO para las vinazas B2 es mayor al de A2, lo cual indica que una fracción mayor de la DBO total medida al quinto día se reflejará como DQO biodegradable.

En la tabla 17.4 y las figuras 17.1 y 17.2, se presentan los resultados del balance considerando los valores calculados del cociente DQOb/DBO para cada vinaza.

Parámetro, mg/L	A2	B2	Parámetro, mg/L	A2	B2
DBO <sub>5</sub> total	34,042.55	31,610.94	DQO biodegradable	51,781.17	51,007.21
DBO <sub>5</sub> soluble	24,316.11	19,452.89	DQO biodegradable soluble	36,986.55	31,389.06
DBO <sub>5</sub> particulado	9,726.44	12,158.05	DQO biodegradable particulado	14,794.62	19,618.15
DQO total	66,113.67	63,655.92	DQO No biodegradable	14,332.50	12,648.71
DQO soluble	50,384.03	47,188.94	DQO No biodegradable soluble	13,397.47	15,799.88
DQO particulado	15,729.65	16,466.98	DQO No biodegradable particulado	935.03	-3,151.17

Tabla 17.4, valores del balance de materia carbonácea para las vinazas.

**BALANCE DE MATERIA CARBÓNICA**  
**VINAZA TIPO A**

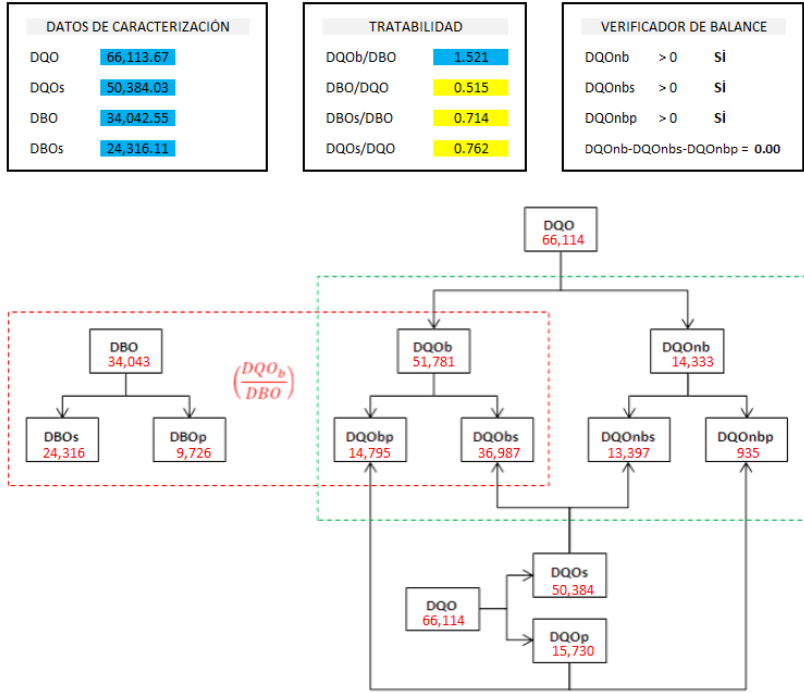


Figura 17.1, diagrama del balance de materia carbonácea para la vinaza A2.

**BALANCE DE MATERIA CARBÓNICA**  
**VINAZA TIPO B**

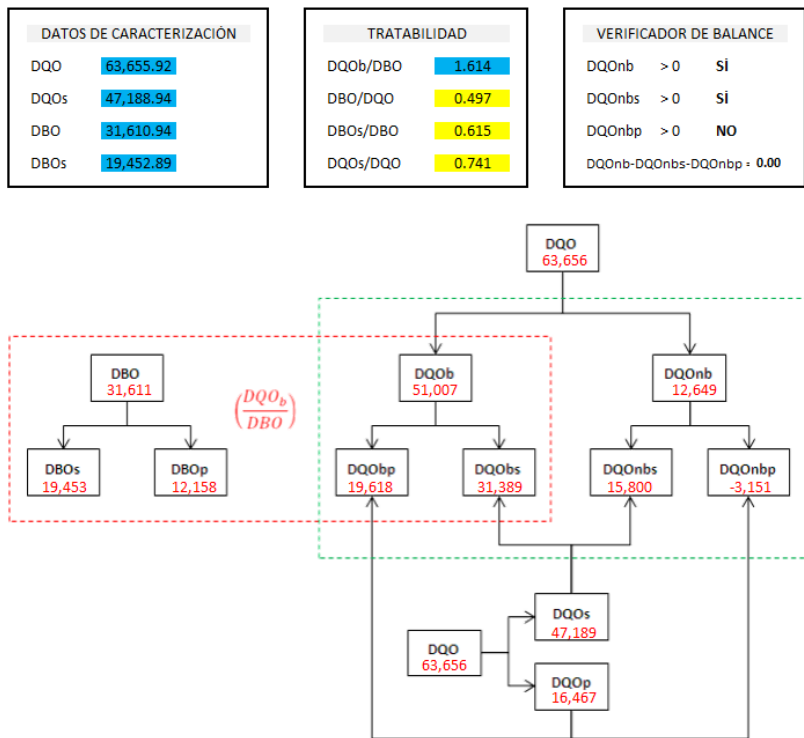


Figura 17.2, diagrama del balance de materia carbonácea para la vinaza B2.

## Sobre la obtención de la capacidad de la infraestructura de tratamiento por medio de ingeniería básica y simulación

Utilizando los resultados del balance de materia carbonácea para las vinazas A2 y B2, se utilizó el software SIMBA#WATER V4.2 con la configuración del modelo para digestión anaerobia ADM1, con el propósito de describir la operación de un reactor de flujo ascendente de manto de lodos, mediante el acoplamiento de un sedimentador secundario ideal, lo cual permite una descripción adecuada del comportamiento de este tipo de reactores que cuentan con un separador sólido – líquido gas y se empleó el módulo de interfase ASM3h – ADM1 que admite las fracciones de sustrato carbonáceo referidas en el balance.

El diseño tomó en cuenta los siguientes aspectos para obtener el volumen mínimo de reactor para lograr la misma DQO total en el efluente, como se muestra en la figura 18.0:

- Flujo de entrada a tratamiento de  $12.5 \text{ m}^3/\text{d}$ , conforme a los datos señalados por el mentor de la empresa Hacienda de Oro, S.A. de C.V.
- El establecimiento de una concentración de biomasa en la zona de alta concentración de  $30,000 \text{ mg/L}$ , conforme a las recomendaciones de diseño.
- Un tiempo de retención de sólidos menor a 100 días, conforme a las recomendaciones de diseño.

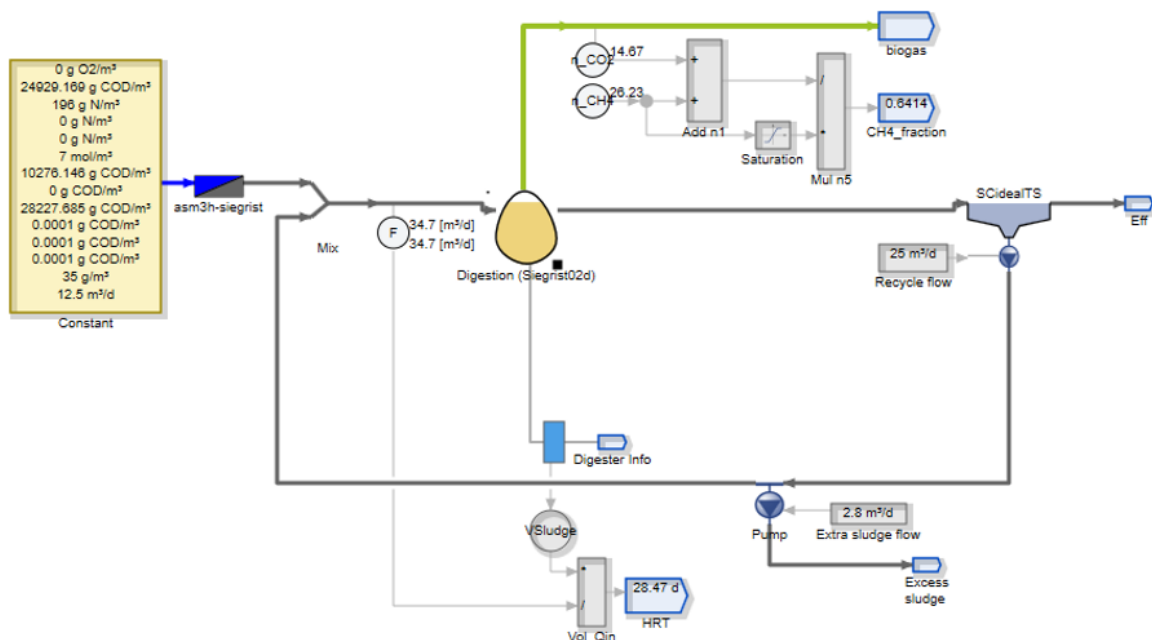


Figura 18.0, diagrama del modelo de simulación configurado en SIMBA#WATER V4.2.

A continuación, se presenta en las tablas 18.0 y 18.1 y la figura 18.1, los resultados de simulación para el estado estacionario alcanzado al alimentar vinazas A2 y B2 respectivamente, al establecer valores de la corriente de lodos residuales Qw que cumplieran con las condiciones de diseño, recuperando el volumen establecido como dominio de la simulación.

V [=] m <sup>3</sup>	MLVSS [=] g/m <sup>3</sup>	QW [=] m <sup>3</sup> /d	XRVSS [=] g/m <sup>3</sup>	SRT [=] d	HRT [=] d	DQOe [=] mg/L
40	30,000	1.584	42,300	17.90	3.2	17,428.58
45	30,010	1.414	42,490	22.47	3.6	16,997.02
50	30,030	1.27	42,690	27.69	4	16,739.89
60	30,030	1.06	42,920	39.60	4.8	16,452.43
75	30,000	0.86	43,350	60.35	6	16,299.05
90	30,000	0.72	43,260	86.68	7.2	16,221.76
95	30,000	0.6824	43,300	96.45	7.6	16,217.25
96.5	30,000	0.672	43,310	99.46	7.72	16,210.73
98	30,000	0.6615	43,320	102.59	7.84	16,204.58

Tabla 18.0, diseño de reactor UASB para vinazas A2.

V [=] m <sup>3</sup>	MLVSS [=] g/m <sup>3</sup>	QW [=] m <sup>3</sup> /d	XRVSS [=] g/m <sup>3</sup>	SRT [=] d	HRT [=] d	DQOe [=] mg/L
30	30,010	2.264	41,600	9.55	2.4	17,850.7
32	30,000	2.14	41,700	10.75	2.56	17,077.91
35	30,010	1.949	41,930	12.85	2.8	16,366.13
37	30,000	1.83	42,030	14.43	2.96	16,072.42
40	30,000	1.66	42,220	17.12	3.2	15,786.15
45	30,010	1.41	42,520	22.52	3.6	15,545.034
50	30,000	1.207	42,730	29.08	4	15,446.13
60	30,000	0.915	43,050	45.69	4.8	15,403.48
75	30,010	0.661	43,350	78.54	6	15,407.74
82	30,000	0.5825	43,430	97.24	6.56	15,406.58
83	30,010	0.572	43,460	100.19	6.64	15,413.97

Tabla 18.1, diseño de reactor UASB para vinazas B2.

Atendiendo los resultados tabulados para el diseño de los reactores dedicados al tratamiento de las vinazas A2 y B2, se identifica que para el tratamiento de vinazas convencionales con un volumen de 75 m<sup>3</sup> se logra alcanzar una DQO en el efluente de 16,299 mg/L aproximadamente (75.3% de remoción) y para el tratamiento de vinazas mejoradas con un volumen de 35 m<sup>3</sup> se logra alcanzar una DQO en el efluente de 16,366 mg/L aproximadamente (74.2%).

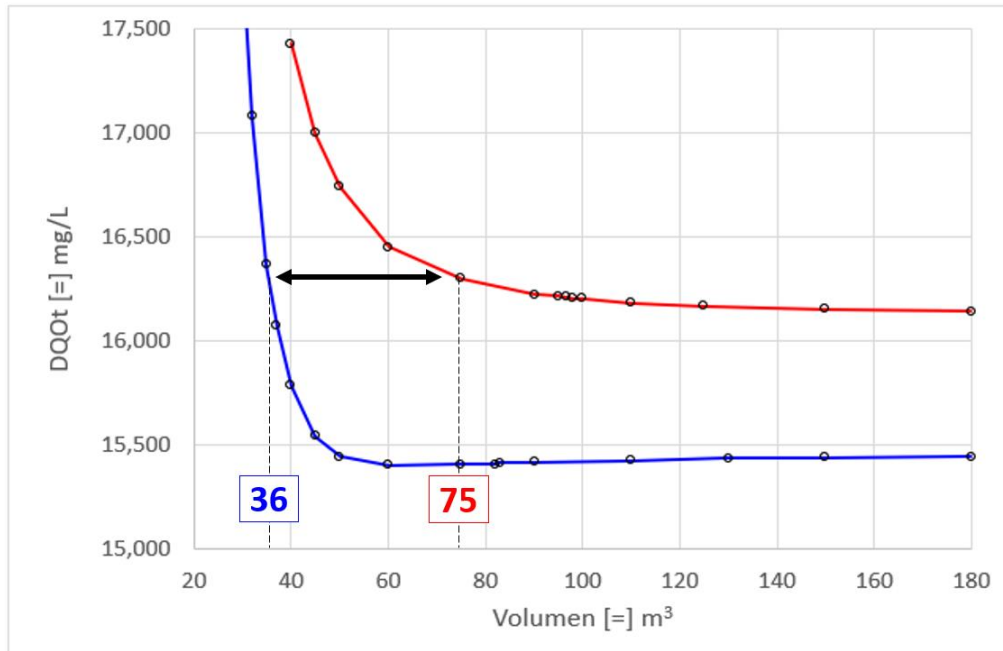


Figura 18.1, gráfico de valores de la DQOt en el efluente para los diseños de reactor dedicado al tratamiento de las vinazas convencionales (línea roja) y mejoradas (línea azul).

En el Anexo 2: Resultados de diseño del software SIMBA#WATER V4.2, se incluye información de respaldo sobre resultados de simulación.

### Sobre el análisis económico y financiero de las alternativas

La obtención del costo anual total de la infraestructura de tratamiento se efectúa mediante criterios de ingeniería básica, el cálculo considera el costo de los equipos, materiales de construcción, instalación, energía eléctrica e insumos básicos de operación.

Las alternativas en el esquema de costeo son diferenciables en cuanto al volumen de tratamiento anaerobio, siendo que se ha planteado obtener un costo que refiera de manera directa a los aspectos valorados en el alcance del trabajo de obtención de grado, de tal manera que el sistema de tratamiento se compone de:

- Cárcamo de alimentación de vinazas
- Sistema de acondicionamiento mediante inyección de solución de hidróxido de sodio
- Reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente UASB
- Sistema para manejo de biogás

A continuación, se presenta el resumen de indicadores asociados a la evaluación financiera, para el cual se estableció una tasa interbancaria de 25% anual y un periodo útil de 15 años, en las tablas 19.0 y 19.1, se muestran los resultados.

SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA VINAZAS ORDINARIAS				
ALTERNATIVA (A2)	CONSTRUCCIÓN DE REACTOR UASB (CONCRETO) + CÁRCAMO Y SISTEMA BIOGAS			
Concepto	CI total [=] \$	CAE Ins. [=] \$/AÑO	CO anual. [=] \$/AÑO	CAT infra. [=] \$/AÑO
CÁRCAMO	\$145,309.71	\$37,652.20	\$5,482.68	\$43,134.90
UASB	\$1,368,141.97	\$354,508.66	\$189,146.20	\$543,654.86
<b>TOTAL</b>	<b>\$1'513,451.68</b>	<b>\$392,160.86</b>	<b>\$194,628.88</b>	<b>\$586,789.76</b>
<b>COSTO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE VINAZA TRATADA [=] \$/m<sup>3</sup></b>			<b>\$42.66</b>	<b>\$128.61</b>

SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA VINAZAS MEJORADAS				
ALTERNATIVA (B2)	CONSTRUCCIÓN DE REACTOR UASB (CONCRETO) + CÁRCAMO Y SISTEMA BIOGAS			
Concepto	CI total [=] \$	CAE Ins. [=] \$/AÑO	CO anual. [=] \$/AÑO	CAT infra. [=] \$/AÑO
CÁRCAMO	\$145,309.71	\$37,652.20	\$5,482.68	\$43,134.90
UASB	\$972,436.61	\$251,974.73	\$189,146.20	\$441,120.93
<b>TOTAL</b>	<b>\$1'117,746.32</b>	<b>\$289,626.93</b>	<b>\$194,628.88</b>	<b>\$484,255.83</b>
<b>COSTO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE VINAZA TRATADA [=] \$/m<sup>3</sup></b>			<b>\$42.66</b>	<b>\$106.14</b>

Tabla 19.0, análisis financiero de la infraestructura de tratamiento para las vinazas A2 y B2 a 15 años.

ANÁLISIS DIFERENCIAL ALTERNATIVA B2 - A2				
Concepto	CI total [=] \$	CAE Ins. [=] \$/AÑO	CO anual. [=] \$/AÑO	CAT infra. [=] \$/AÑO
CÁRCAMO	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
UASB	-\$395,705.36	-\$102,533.93	\$0.00	-\$102,533.93
<b>TOTAL</b>	<b>-\$395,705.36</b>	<b>-\$102,533.93</b>	<b>\$0.00</b>	<b>-\$102,533.93</b>
<b>AHORRO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE VINAZA TRATADA [=] \$/m<sup>3</sup></b>			<b>\$0.00</b>	<b>-\$22.47</b>

Tabla 19.1, análisis diferencial de los indicadores financieros para las alternativas de tratamiento sobre las vinazas A2 y B2 a 15 años, se muestra el ahorro derivado de la implementación.

El sistema de tratamiento diseñado para las vinazas A2 presenta un costo de instalación de \$1'513,451.68 pesos con un costo anual equivalente de \$392,160.86 pesos, un costo de operación de \$194,628.88 pesos y un costo anual total de \$586,789.76 pesos, lo cual implica un costo de operación por metro cúbico de vinaza tratada de \$42.66 pesos y un costo total por metro cúbico de vinaza tratada de \$128.61 pesos.

El sistema de tratamiento diseñado para las vinazas B2 presenta un costo de instalación de \$1'117,746.32 pesos con un costo anual equivalente de \$289,626.93 pesos, un costo de operación de \$194,628.88 pesos y un costo anual total de \$484,255.83 pesos, lo cual implica un costo de operación por metro cúbico de vinaza tratada de \$42.66 pesos y un costo total por metro cúbico de vinaza tratada de \$106.14 pesos.

El análisis diferencial muestra un ahorro en los indicadores de costo de instalación y costo total por metro cúbico de vinaza tratada de \$395,705.36 pesos y \$22.47 pesos, respectivamente.

Es importante señalar que no es apreciable un ahorro en los indicadores de costo de operación y costo de operación por metro cúbico de vinaza tratada dado que la infraestructura para hacer el bombeo consume la misma energía eléctrica y el acondicionamiento por medio de la inyección de hidróxido de sodio se ha considerado relativamente similar.

El esquema dimensional de los sistemas de tratamiento se muestra en la figura 19.0, en el cual se puede apreciar sobre el área dedicada a la planta de tratamiento proyecto, 20 x 20 metros, que la planta que trata vinazas mejoradas ocupa un menor espacio.

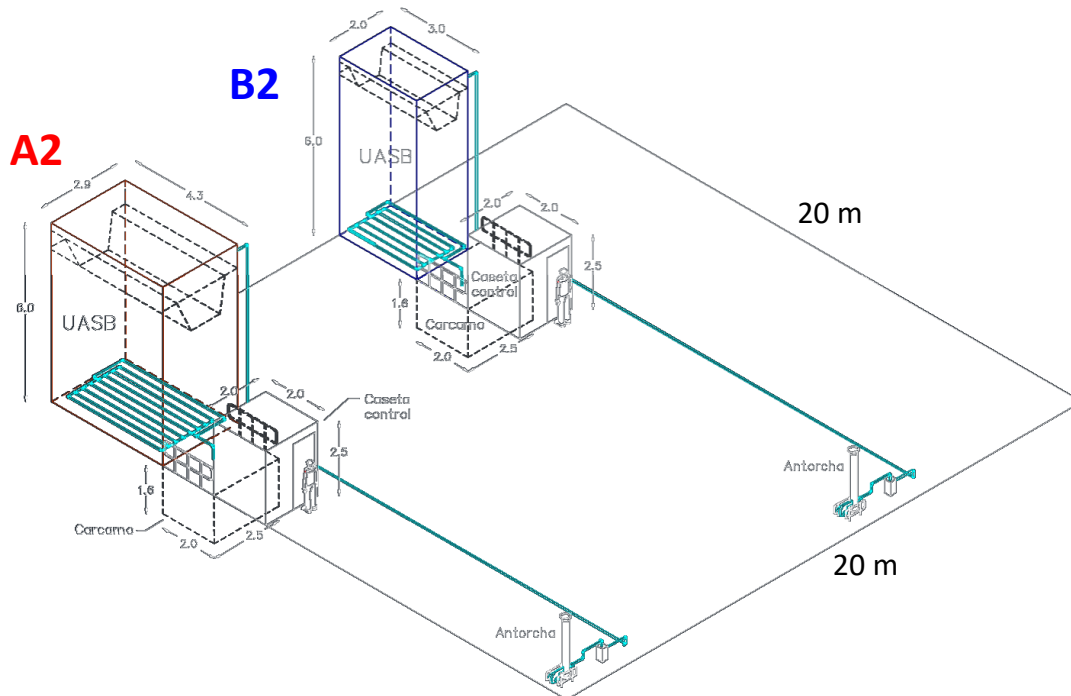


Figura 19.0, esquema del área reservada para la construcción de la planta de tratamiento de vinazas, comparativo de reactores UASB para vinazas A2 (Rojo, izquierda) y vinazas B2 (azul, derecha).

En el Anexo 3: Fichas de costo e ingeniería básica, se incluyen las fichas con los cálculos resultantes del diseño de ingeniería básica e indicadores económicos como respaldo de la evaluación de las alternativas de tratamiento sobre las vinazas A2 y B2.

### Sobre las pruebas de actividad metanogénica

Las muestras de vinazas A2 y B2 fueron entregadas al laboratorio de la UDG en dónde se les practicaron los análisis de potencia bioquímica de metano en un equipo AMPTS® II, sin agregado de nutrientes y con agregado de nutrientes, las muestras fueron diluidas hasta una concentración de 5 g DQOs/L antes de efectuar la digestión en viales de 500 mL con un volumen de llenado de sustrato de 360 mL, en las tablas 20.0 y 20.1 se muestra un resumen de los resultados obtenidos.



Figura 20.0, equipo AMPTS® II<sup>62</sup>, sistema automático de prueba para potencial de metano.

Parámetro	A2 (sin nutrientes)
DQOs inicial (promedio) mg/L	5,063
DQOs final (promedio) mg/L	4,173
Remoción % de DQOs	17.59%
PBM, NmL/g DQOs adicionada	-5.99
PBM, NmL/g SV	-3.04
PBM, NmL/g DQOs removida	-35.42
Producción respecto teórica % (NmL CH <sub>4</sub> /g DQO removida)	-10.12%
Productividad de metano NmL CH <sub>4</sub> /L·h	-0.45

Parámetro	B2 (sin nutrientes)
DQOs inicial (promedio) mg/L	5,152
DQOs final (promedio) mg/L	4,253
Remoción % de DQOs	17.46%
PBM, NmL/g DQOs adicionada	-6.79
PBM, NmL/g SV	-3.5
PBM, NmL/g DQOs removida	-39.38
Producción respecto teórica % (NmL CH <sub>4</sub> /g DQO removida)	-11.25%
Productividad de metano NmL CH <sub>4</sub> /L·h	-0.74

Tabla 20.0, resumen de resultados actividad metanogénica de las vinazas A2 y B2 sin nutrientes.

De acuerdo con los resultados, ambas vinazas tienen un desempeño similar durante la digestión anaerobia, logrando porcentajes de remoción de 17.59 y 17.46% para las vinazas A2 y B2 sin nutrientes respectivamente, con un efecto marcado sobre la falta de nutrientes para el desarrollo de la digestión anaerobia, como se muestra en la tabla 20.0.

En el caso de las vinazas con agregado de nutrientes de acuerdo con las concentraciones referidas por Angelidaki<sup>34</sup>, los porcentajes de conversión del sustrato a metano aumentaron drásticamente, hasta 93.54% y 89.33% para las vinazas A2 y B2, respectivamente, como se muestra en la tabla 20.1.

Parámetro	A2 (con nutrientes)	Parámetro	B2 (con nutrientes)
DQOs inicial (promedio) mg/L	5,189	DQOs inicial (promedio) mg/L	5,308
DQOs final (promedio) mg/L	335	DQOs final (promedio) mg/L	566
Remoción % de DQOs	93.54%	Remoción % de DQOs	89.33%
PBM, NmL/g DQOs adicionada	235.43	PBM, NmL/g DQOs adicionada	222.5
PBM, NmL/g SV	122.15	PBM, NmL/g SV	118.12
PBM, NmL/g DQOs removida	215.63	PBM, NmL/g DQOs removida	249.06
Producción respecto teórica % (NmL CH <sub>4</sub> /g DQO removida)	71.89%	Producción respecto teórica % (NmL CH <sub>4</sub> /g DQO removida)	71.16%
Productividad de metano NmL CH <sub>4</sub> /L·h	10.62	Productividad de metano NmL CH <sub>4</sub> /L·h	10.45

Tabla 20.1, resumen de resultados actividad metanogénica de las vinazas A2 y B2 con nutrientes.

A partir de la información obtenida, se calcularon las fracciones de la DQO total considerando el valor de la DQO soluble inicial y el factor DQOs/DQOt proveniente de los estudios realizados en el CIATEJ, 0.762 para vinazas convencionales y 0.741 para vinazas mejoradas, encontrando que las fracciones de la DQO no biodegradable soluble recuperadas al final del proceso de digestión en ambos casos refieren a menos del 10% de la DQO total, lo cual se considera deseable. En el Anexo 4: Resumen de resultados de las pruebas de PBM, UDG., se cuenta con los datos del resumen del estudio.

Parámetro, mg/L	A2 (con nutrientes)	Parámetro, mg/L	B2 (con nutrientes)
DQOs	5,189	DQOs	5,308
DQOt	6,810	DQOt	7,163
DQOp	1,621	DQOp	1,855
DQObs	4,854	DQObs	4,742
DQOnbs	335	DQOnbs	566
DQOnbs/DQOt*	0.049	DQOnbs/DQOt*	0.079

\*Gramos de DQO no biodegradable soluble por cada gramo de DQOtotal

Tabla 20.2, estimación de parámetros adicionales con respecto a las pruebas metanogénicas.

## **5.1. Organización de la información obtenida**

### **Sobre la hipótesis 1**

De acuerdo a las pruebas realizadas el porcentaje de disminución en el rendimiento alcohólico del mosto al pasar por el proceso mejorado es menor al 1%.

### **Sobre la hipótesis 2**

De acuerdo con las pruebas realizadas sí existe disminución de la carga contaminante de las vinazas en cuanto a la demanda química de oxígeno, nitrógeno y fósforo totales.

### **Sobre la hipótesis 3**

De acuerdo con las pruebas realizadas la aportación a la carga contaminante de las vinazas por efecto del contenido de levaduras sí corresponde con la aportación teórica para la DQO.

### **Sobre la hipótesis 4**

De acuerdo a las pruebas realizadas existe un aumento en el indicador de la demanda química de oxígeno biodegradable por unidad de demanda bioquímica de oxígeno para las vinazas mejoradas.

### **Sobre la hipótesis 5**

De acuerdo con las pruebas realizadas existe un potencial de beneficio económico al implementar el proceso mejorado, para costo anual total y costo por metro cúbico de vinaza tratada.

## **5.2. Impacto de la estrategia en la solución del problema**

De acuerdo con los hallazgos confirmados a través del método de investigación, es posible aseverar que existe un beneficio económico en cuanto a la implementación de la tecnología dedicada a la separación de levaduras durante el proceso de producción de tequila.

### **5.2.1. Alineación con la estrategia general de la organización**

Al considerar la alternativa de implementación del proceso mejorado en la empresa, tendía un beneficio sobre el costo de instalación de la infraestructura de tratamiento que se ve reflejado en el costo anual total e impacta el costo de tratamiento por metro cúbico de vinaza tratada, asimismo en el área a intervenir para la construcción del reactor dentro del espacio reservado para la planta de tratamiento proyecto se ocuparía un área menor.

## 6. Discusión final

El proceso mejorado para la producción de tequila y otros destilados de agave es una tecnología que explora un principio contundente de la ingeniería verde: prevenir la contaminación. Su aplicación logra beneficios, hasta ahora no valorados, en el entorno de ingeniería para el tratamiento de aguas residuales. Su potencial de aplicación aumenta en función del contenido de levaduras en el mosto y ha mostrado, bajo criterios ordinarios de diseño, que logra disminuir las dimensiones de los sistemas de tratamiento haciéndolos más accesibles.

Los micro y pequeños productores no serían los únicos beneficiados de su implementación, la mejora en la tratabilidad que ofrece, tendría incluso un mayor impacto en grandes volúmenes de descarga, haciendo posible que plantas existentes tuvieran mayor capacidad de tratamiento, con la posibilidad de obtener recursos adicionales bajo la premisa de aprovechar o comercializar las levaduras retiradas.

Finalmente, la tecnología del proceso mejorado para la producción de tequila y otros destilados de agave es aplicable a vinazas provenientes de otras fermentaciones alcohólicas, y permitiría obtener ventajas replicables en otros entornos industriales.

### **6.1. Consecuencias de la aplicación de la estrategia de innovación**

El trabajo de obtención de grado ha explorado aspectos relevantes y presenta saberes deseables para la ingeniería de tratamiento de vinazas.

#### **6.1.1. Aspectos de mejora para intervenciones subsecuentes**

Trabajos futuros que incluyan el desarrollo de ingeniería básica para el tratamiento de vinazas deben incluir un análisis detallado del requerimiento de nutrientes para la digestión anaerobia.

### **6.2. Relevancia y trascendencia disciplinaria del caso**

La aplicación del trabajo de obtención de grado en la empresa Hacienda de Oro, S.A. de C.V., puede motivar a continuar con el desarrollo de la ingeniería de detalle y su eventual implantación.

La información obtenida en el trabajo de obtención de grado puede ser utilizada en el entorno de ingeniería para el tratamiento de aguas residuales, desprovisto actualmente de información en cuanto beneficios del retiro de levaduras del mosto y su impacto en la caracterización de las vinazas.

## Índice de figuras

Número de figura y descripción	Página
Figura 1.0, diagrama de una planta de tratamiento biológico para vinazas, basado en el principio de hibridación (anaerobio – aerobio) con capacidad nominal de 1,100 m <sup>3</sup> /día <sup>56</sup>	15
Figura 2.0, evidencia del manejo inadecuado de vinazas, descarga sobre cultivo de agave <sup>18</sup>	16
Figura 3.0, cultivos de agave y piñas en proceso de recepción <sup>25</sup>	19
Figura 3.1, autoclaves descargando piñas cocida 26 y desgarradores en proceso de extracción <sup>25</sup> .	20
Figura 3.2, fermentadores y alambique para destilación <sup>27</sup>	20
Figura 3.3, barricas de añejamiento y principales productos de la empresa <sup>25</sup>	21
Figura 3.4, diagrama esquemático de distribución de áreas en planta y detalle de simbología <sup>28</sup>	22
Figura 3.5, imagen satelital del polígono de la empresa, en verde se señalan los límites de propiedad y en rojo el área donde se pretende la ubicar la planta de tratamiento proyecto.	22
Figura 4.0, gradiente anual en la producción de tequila <sup>31</sup>	23
Figura 5.0, diagrama de causa-efecto para la contaminación ambiental provocada por la descarga de vinazas tequileras, se señalan los motivos de intervención sobre los alcances del proyecto.	25
Figura 6.0, diagrama de flujo del proceso de producción convencional.	28
Figura 6.1, diagrama de flujo del proceso de producción mejorado.	28
Figura 6.2, extracto del diagrama de distribución en planta <sup>28</sup> , se señalan las áreas en las que se ubican las tinas de fermentación (31), alambiques de destilación (29) y patio de maniobras (37).	29
Figura 7.0, equipo difusor para extracción directa <sup>37</sup> y autoclave para cocción de piñas <sup>38</sup>	32
Figura 7.1, alambiques de acero inoxidable <sup>46</sup>	33
Figura 7.2, medición de pH de vinazas tequileras y en tubo de centrifugación <sup>48</sup>	33
Figura 7.3, morfología de la levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> <sup>43</sup> y levaduras contenidas en el mosto muerto proveniente de la empresa Hacienda de Oro, S.A. de C.V. <sup>44</sup>	34
Figura 7.4, esquema del balance de materia carbonácea con base en el coeficiente DQOb/DBO.	36
Figura 7.5, imágenes de lodo granular anaerobio <sup>51</sup>	37
Figura 7.6, esquema reactor UASB <sup>54</sup> e imagen de reactor UASB patentado (Biopaq® UASB plus) <sup>33</sup>	38
Figura 8.0, esquema de destilación por lote <sup>53</sup>	40

Número de figura y descripción	Página
Figura 9.0, mapa mental de los aspectos técnicos derivados del estudio de las vinazas tequileras en el contexto del proyecto	42
Figura 10.0, gráfico de curvas de pH para distintas formulaciones de ácidos.	45
Figura 11.0, diagrama en el que se señalan los componentes de las vinazas y características de concentración para la DQO, se muestra el nivel estimado de biodegradabilidad, proceso convencional y mejorado.	47
Figura 11.1, esquema de tratamiento tipo I.	47
Figura 11.2, esquema de tratamiento tipo II.	48
Figura 11.3, esquema de tratamiento tipo III.	48
Figura 11.4, esquema de tratamiento tipo IV.	48
Figura 12.0, diagrama de flujo del método de investigación.	52
Figura 13.0, valoración del margen de confianza y costo por número de réplicas pruebas de DQO.	54
Figura 13.1, valoración del margen de confianza y costo por número de réplicas pruebas de sólidos totales.	54
Figura 13.2, valoración del margen de confianza y costo por número de réplicas pruebas de nitrógeno total Kjeldahl.	54
Figura 14.0, imágenes del proceso de muestreo, línea de descarga y recipiente de traslado, muestra de mosto homogéneo.	57
Figura 14.1, imágenes del proceso de separación, homogeneizado previo al llenado de tubos y centrifugación de mosto.	58
Figura 14.2, imágenes del mosto en los tubos de centrifugación, antes y después del proceso respectivamente.	59
Figura 15.0, imágenes del proceso de destilación.	59
Figura 15.1, gráficos del proceso de destilación, volumen aditivo, temperatura y contenido de etanol.	60
Figura 15.2, imagen de la recuperación de vinazas del alambique posterior a la destilación.	62
Figura 15.3, imagen de las muestras de mosto y vinazas en almacenamiento refrigerado.	62
Figura 16.0, gráfico de valores promedio y diferencias porcentuales del cambio en las concentraciones de los parámetros analíticos de sólidos obtenidos para los mostos.	64
Figura 16.1, gráfico de valores promedio y diferencias porcentuales del cambio en las concentraciones de los parámetros analíticos referidos a demandas de oxígeno para las vinazas.	66
Figura 16.1, gráfico de valores promedio y diferencias porcentuales del cambio en las concentraciones de los parámetros analíticos referidos a sólidos para las vinazas.	67

Número de figura y descripción	Página
Figura 16.2, gráfico de valores promedio y diferencias porcentuales del cambio en las concentraciones de los parámetros analíticos referidos a nitrógeno para las vinazas.	67
Figura 16.3, gráfico de valores promedio y diferencias porcentuales del cambio en las concentraciones de los parámetros analíticos referidos a fósforo para las vinazas.	67
Figura 17.0, gráfico de los valores experimentales de la DBO y curvas de regresión para las vinazas A2 y B2.	69
Figura 17.1, diagrama del balance de materia carbonácea para la vinaza A2.	71
Figura 17.2, diagrama del balance de materia carbonácea para la vinaza B2.	71
Figura 18.0, diagrama del modelo de simulación configurado en SIMBA#WATER V4.2.	72
Figura 18.1, gráfico de valores de la DQO en el efluente para los diseños de reactor dedicado al tratamiento de las vinazas convencionales (línea roja) y mejoradas (línea azul).	74
Figura 19.0, esquema dimensional del área requerida para la construcción del reactor UASB dedicado a tratar vinazas A2 (Rojo, izquierda) y vinazas B2 (azul, derecha).	76
Figura 20.0, equipo AMPTS® II, sistema automático de prueba para potencial de metano.	77

## Índice de tablas

<b><u>Número de tabla y descripción</u></b>	<b><u>Página</u></b>
Tabla 1.0, límites permisibles de contaminantes básicos para demanda de oxígeno y nutrientes.	11
Tabla 2.0, trenes de tratamiento dedicados a lograr un nivel progresivo de calidad en el efluente y motivos de reúso del agua tratada.	14
Tabla 3.0, perfil sectorial de productores de tequila <sup>29</sup> .	21
Tabla 4.0, matriz de marco lógico del problema a intervenir.	25
Tabla 5.0, carga orgánica de diseño en función de la temperatura de operación y tipo de sustrato <sup>52</sup> . (adaptada de tabla 16.11)	39
Tabla 5.1, tiempo de retención de sólidos en función de la temperatura de operación <sup>12</sup> . (adaptada de tabla 10.2 para aguas residuales municipales)	39
Tabla 6.0, valores de la DQO para componentes de las vinazas tequileras.	46
Tabla 6.1, evaluación de alternativa sobre estudio comparativo para vinazas.	49
Tabla 7.0, selección de indicadores y referencias a los autores.	50
Tabla 8.0, instrumentos relacionados a los objetivos particulares.	51
Tabla 9.0, relación costo beneficio del proyecto.	53
Tabla 10.0, valoración del margen de confianza y costo por número de réplicas pruebas de DQO.	45
Tabla 10.1, valoración del margen de confianza y costo por número de réplicas pruebas de sólidos totales.	45
Tabla 10.2, valoración del margen de confianza y costo por número de réplicas pruebas de nitrógeno total Kjeldahl.	45
Tabla 11.0, esquema de movimientos, tiempos y aspectos de conservación de las muestras.	55
Tabla 12.0, Procedimiento y aspectos de procuración para el manejo del mosto.	56
Tabla 13.0, volumen de mosto recuperado después de separación.	58
Tabla 14.0, registro de datos del proceso de destilación, mosto no centrifugado.	60
Tabla 14.1, registro de datos del proceso de destilación, mosto centrifugado.	60
Tabla 14.2, cálculos de verificación para la destilación de mosto con levaduras.	61
Tabla 14.3, cálculos de verificación para la destilación de mosto sin levaduras.	61
Tabla 15.0, valores promedio de parámetros analíticos de mosto A2, se muestran los márgenes de confianza inferior y superior.	63
Tabla 15.1, valores promedio de parámetros analíticos de mosto B2, se muestran los márgenes de confianza inferior y superior.	63

<b>Número de tabla y descripción</b>	<b>Página</b>
Tabla 15.2, diferencia entre valores promedio y porcentaje de disminución para los mostos A2 y B2.	64
Tabla 15.3, valores promedio de parámetros analíticos de vinazas A2, se muestran los márgenes de confianza inferior y superior.	65
Tabla 15.4, valores promedio de parámetros analíticos de vinazas B2, se muestran los márgenes de confianza inferior y superior.	65
Tabla 15.5, diferencia entre valores promedio y porcentaje de disminución para las vinazas A2 y B2.	66
Tabla 16.0, comparación entre la aportación teórica y la estimada a partir de las diferencias en los parámetros característicos para las vinazas A2 y B2.	68
Tabla 17.0, valores del índice de biodegradabilidad para las vinazas.	68
Tabla 17.1, valores promedio de la DBO obtenidos en los días 5, 10 y 20 de incubación.	69
Tabla 17.2, parámetros cinéticos de la DBO para vinazas A2 y B2.	69
Tabla 17.3, valores del cociente DQOb/DBO y parámetros cinéticos empleados.	70
Tabla 17.4, valores del balance de materia carbonácea para las vinazas.	70
Tabla 18.0, diseño de reactor UASB para vinazas A2.	73
Tabla 18.1, diseño de reactor UASB para vinazas B2.	73
Tabla 19.0, análisis financiero de la infraestructura de tratamiento para las vinazas A2 y B2 a 15 años.	75
Tabla 19.1, análisis diferencial de los indicadores financieros para las alternativas de tratamiento sobre las vinazas A2 y B2 a 15 años, se muestra el ahorro derivado de la implementación.	75
Tabla 20.0, resumen de resultados actividad metanogénica de las vinazas A2 y B2 sin nutrientes.	77
Tabla 20.1, resumen de resultados actividad metanogénica de las vinazas A2 y B2 con nutrientes.	78
Tabla 20.2, estimación de parámetros adicionales con respecto a las pruebas metanogénicas.	78

## Índice de siglas

<b>Siglas</b>	<b>Significado</b>
ADM1	Anaerobic Digestion Model No.1
AAEJ	Agencia de Energía del Estado de Jalisco
CAT	Costo Anual Total
CRT	Consejo Regulador del Tequila
DAF	Flotación por Aire Difuso
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DOT	Denominación de Origen Tequila
DQO	Demanda Química de Oxígeno
FAI	Fondo de Apoyo a la Investigación
ITESO	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Asociación Civil
IWA	International Water Association
NOM	Norma Oficial Mexicana
PROEPA	Procuraduría Estatal para la Protección al Ambiente
PSNA	Programa de Superación del Nivel Académico
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos
SRT	Tiempo de retención de sólidos
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

## Referencias

- [1] sin autor, "Olvidan protección de Paisaje Agavero; detectan contaminación en el agua", informador.mx, 01/04/2019, publicación en línea recuperada de, <https://www.informador.mx/Olvidan-proteccion-de-Paisaje-Agavero-detectancontaminacion-en-el-agua-l201904010001.html>
- [2] sin autor, "Paisaje de agaves y antiguas instalaciones industriales de Tequila", publicación en línea recuperada de, <https://whc.unesco.org/es/list/1209>
- [3] sin autor, "The Criteria for Selection", publicación en línea recuperada de, <http://whc.unesco.org/en/criteria/>
- [4] sin autor, "Pactan frenar contaminación por hacer tequila", informador.mx, 09/12/2019, publicación en línea recuperada de, <https://www.informador.mx/Pactan-frenar-contaminacion-por-hacer-tequila-l201912090003.html>
- [5] sin autor, "Agencia de Energía del Estado de Jalisco y Consejo Regulador del Tequila concretan convenio para el desarrollo de proyectos sostenibles", página web del gobierno del estado de Jalisco, 11/07/2022, publicación en línea recuperada de, <https://www.jalisco.gob.mx/es/prensa/noticias/146382>
- [6] Desarrollo de una estrategia de sustentabilidad de la cadena Agave-Tequila, Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos Sobre Energía y Medio Ambiente A.C., 2016.
- [7] López-López A., Dávila-Vazquez G., León-Becerril E., Villegas-García E., Gallardo-Valdez J. Tequila vinasses: generation and full scale Treatment processes. (2010). Rev. Environ. Sci Biotechnol.9 (1): 110.
- [8] Ramos J., Opciones para el tratamiento de los residuos de la industria tequilera, 2017, publicación en línea recuperada de, <https://www.casasauza.com/procesos-tequila-sauza/manejo-sustentable-residuos-industria-tequilera-casa-sauza>
- [9] NOM-064-ECOL-1994, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de la destilería. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; 1994.

- [10] NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; 2021.
- [11] sin autor, "BIOTHANE® ADVANCED UASB", 11/03/2020, publicación en línea recuperada de, <https://www.biothanesolutions.com/technologies/biothane-advanced-uasb>
- [12] Tchobanoglous G., Stensel H.D., Tsuchihashi R., Burton F.L., (2014) Wastewater engineering, treatment and reuse, 5<sup>th</sup>, Edition by Metcalf & Eddy. Mc Graw-Hill, New York.
- [13] sin autor, "Methanisierung von industriellen Abwässern Weil viel Energie drin steckt" 19/06/2020, Swiss Federal Office of Energy (SFOE), publicación en línea recuperada de, <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/10111>
- [14] Tuesta Popolizio, D. A. (2017). Efecto De La Aplicación De Vinazas De La Industria Del Tequila En El Cultivo Del Maíz Y En La Asociación Plnata-Hongos Micorrízicos Arbusculares (Hma) [Maestría, Centro De Investigación Y Asistencia En Tecnología Y Diseño Del Estado De Jalisco, A.C. (CIATEJ)]. <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1023/382>
- [15] Edelman W., Engeli H., Glauser M., Hofer H., Membrez Y., Meylan J-H. Schwitzguebel J-P., (1993) Fermentation of household wastes and industrial waste water; Vergaerung von haeuslichen Abfaellen und Industrieabwaessern. Suiza.
- [16] Annachhatre, A. P. (1996). Anaerobic treatment of industrial wastewaters. Resources, Conservation and Recycling, 16(1-4), 161–166. [https://doi.org/10.1016/0921-3449\(95\)00053-4](https://doi.org/10.1016/0921-3449(95)00053-4)
- [17] sin autor, "informe anual PROEPA", publicación en línea recuperada de, <https://semadet.jalisco.gob.mx/acerca/proepa/estadisticas>
- [18] Villalobos A., "Clausura PROEPA a tequilera ubicada en el municipio de Amatitán, Jalisco.", publicación en línea recuperada de, <https://semadet.jalisco.gob.mx/prensa/noticia/931>
- [19] Anastas, P.T., Zimmerman, J.B., Design through the Twelve Principles of Green Engineering", Env. Sci.&Tech., 37, 5, 94A-101A, 2003.
- [20] Hernández-Gil, N. (2022). *Proceso mejorado para la producción de Tequila y otros destilados de agave* (México Patente No. 392817, IMPI).

<https://vidoc.impi.gob.mx/visor?usr=SIGA&texp=SI&tdoc=E&id=MX/a/2016/004087>

[21] Galnares, F., Hernández-Gil, N., “Estudio del uso de los sólidos sedimentables de las vinazas tequileras como fuente de combustible” Proyecto de Aplicación Profesional. Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente. Guadalajara, Jalisco. 2014.

[22] De-la-Mora, F., Hernández-Gil, N., “Tratamiento de vinazas tequileras” Proyecto de Aplicación Profesional. Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente. Guadalajara, Jalisco. 2013.

[23] Galnares, F., Hernández-Gil, N., “Biorremediación de las vinazas tequileras con UltraZyme Powder®” Proyecto de Aplicación Profesional. Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente. Guadalajara, Jalisco. 2014.

[24] Esquivel, G., Valverde, P., Herrera, A. “Diseño de un reactor y sistema de control de pH como pretratamiento para vinazas tequileras” Proyecto de Aplicación Profesional. Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente. Guadalajara, Jalisco. 2015.

[25] sin autor, contenido y descripción de la empresa, inicio, nuestros tequilas, proceso, recorridos y contacto, publicación en línea recuperada de, <http://amatitense.com>

[26] Herrera, A. (2022) Equipos en planta productiva de la empresa Hacienda de Oro, S. A. de C.V., Amatitán, Jalisco, México.

[27] Partida, D. (2020) Equipos en planta productiva de la empresa Hacienda de Oro, S. A. de C.V., Amatitán, Jalisco, México.

[28] Partida, D. (2020) Diagramas de la empresa Hacienda de Oro, S. A. de C.V., Amatitán, Jalisco, México.

[29] Linero-Gil, J.E., Guzmán-Carrillo, A., Tratamiento de efluentes y aprovechamiento de residuos, Capítulo 7, Ciencia y Tecnología del Tequila. Avances y Perspectivas, CIATEJ, Guadalajara Jalisco, 2004.

- [30] Rodríguez, G., La denominación de origen del tequila: pugnas de poder y la construcción de la especificidad cultural del agave azul, Nueva Antropología, Numero Especial, Los Futuros de la Antropología, 2007.
- [31] CRT (2012), Estadísticas, Consejo Regulador del Tequila. Recuperado de: <https://www.crt.org.mx/EstadisticasCRTweb/> consultado el 14/05/2019.
- [32] Hernández, F., “Empujan producción de mezcal sustentable y ecológica”, publicación en línea recuperada de, <https://newsweekspanol.com/2019/03/empujan-produccion-mezcal-sustentable-ecologica/>
- [33] van Lier, J.B., van der Zee, F.P., Frijters, C.T.M.J. et al. Celebrating 40 years anaerobic sludge bed reactors for industrial wastewater treatment. Rev Environ Sci Biotechnol 14, 681–702 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11157-015-9375-5>
- [34] I. Angelidaki, M. Alves, D. Bolzonella, L. Borzacconi, J. L. Campos, A. J. Guwy, S. Kalyuzhnyi, P. Jenicek, J. B. van Lier; Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. Water Sci Technol 1 March 2009; 59 (5): 927–934. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2009.040>
- [35] Manual del técnico tequilero, Consejo Regulador del Tequila (CRT), 2019, Guadalajara, Jalisco.
- [36] Cedeño-Cruz M., Alvarez-Jacobs J., Production of tequila from agave: Historical influences and contemporary processes., The Alcohol Textbook: A Reference for the Beverage, Fuel and Industrial Alcohol Industries, Nottingham University Press, Alltech Inc., Nottingham, UK, 1999; pp. 225–241.
- [37] Imagen de difusor, recuperada de, <https://www.casasauza.com/procesos-tequila-sauza/procesos-extraccion-azucar-agave>
- [38] Imagen de autoclave, recuperada de, <https://www.flickr.com/photos/bbum/372251240>
- [39] Villanueva-Rodríguez S., Escalona-Buendía H., Tequila and mezcal: Sensory Attributes and Sensory Evaluation, Woodhead Publishing Limited: Cambridge, UK, 2011, ISBN 9780857090515.
- [40] Rodríguez-Félix E., Contreras-Ramos S.M., Davila-Vazquez G, Rodríguez-Campos J., Marino-Marmolejo E.N., Identification and Quantification of Volatile Compounds Found in Vinasses from Two Different Processes of Tequila Production, Energies (2018), 11, 490; pp 1-18.

- [41] Villanueva-Rodríguez S., Rodríguez-Garay B., Prado-Ramírez R., Gschaedler A., Tequila: Tequila Raw Material, Classification, Process, and Quality Parameters., Encyclopedia of Food and Health (FOHE); Academic Press: Waltham, MA, USA, 2015; pp. 1–7.
- [42] Aldrete-Tapia A., Martínez-Peniche R., Miranda-Castilleja D., Hernández-Iturriaga M., Saccharomyces cerevisiae associated with the spontaneous fermentation of tequila agave juice, J. Inst. Brew. 2018; 124: 284–290 (2018) The Institute of Brewing & Distilling.
- [43] Walker G.M., Stewart G.G., Saccharomyces cerevisiae in the Production of Fermented Beverages, Beverages (2016), 2, 30.
- [44] Herrera, A. (2022) Imagen obtenida de microscopio National Geographic expuesta a 40X, levaduras contenidas en el mosto muerto recuperado de la empresa Hacienda de Oro, S. A. de C.V., Guadalajara, Jalisco, México.
- [45] Von-Stockar U., Liu J.S., Does microbial life always feed on negative entropy? Thermodynamic analysis of microbial growth, Biochimica et Biophysica Acta 1412 (1999) 191-211.
- [46] Imagen de alambique, recuperada de, <http://ansan.com.mx/index.html#QQ=230250276&slide=24>
- [47] Pant D., Adholeya A. (2007) Biological approaches for treatment of distillery wastewater: a review. Bioresour Technol, 98(12):2321–2334.
- [48] Herrera, A. (2017) Vinazas tequileras, ITESO A.C., Tlaquepaque, Jalisco, México.
- [49] F. Germirli Babuna, D. Orhon, Biodegradation characteristics of wastewaters, in: K.W. Canton (Ed.), Fluid Waste Disposal, Nova Publishers, 2010, ISBN: 978-1-60741-915-0.
- [50] Grady, C. P. L., Jr., G. T. Daigger, and H.C. Lim (1999) Biological Wastewater Treatment, 2d ed., Marcel Dekker, Inc., New York.
- [51] sin autor, imagen de lodo granular anaerobio, recuperada de, <http://www.hydrothane-stp.com/pdf/eng/Anaerobic-Biomass-Brochure-ENG.pdf>
- [52] Henze M., Van-Loosdrecht M., Ekama G., Brdjanovic D., Biological Wastewater Treatment Principles, Modelling and Design, IWA (2008), Cambridge University Press.
- [53] Diwekar, U. (2011). Batch distillation: simulation, optimal design, and control. CRC press.

- [54] Vardar-Sukan F., Sukan S.S., Recent advances in Biotechnology, Springer-Science+Business Media, B.V., NATO Advanced Study Institute, 1991.
- [55] van Haandel, A.C., Lubbe, J.G.M. van der, Handbook Biological Wastewater Treatment. Design and Optimisation of Activated Sludge, Systems. Leidschendam, pp188-191. 2012.
- [56] Sin autor, imagen presentada bajo acuerdo de confidencialidad, 2007.
- [57] Herrera A., imagen satelital del polígono de la empresa Hacienda de Oro, A.A. de C.V., recuperada de, <https://www.google.com/intl/es-419/earth/>, 2021.
- [58] sin autor, Nach Leck in Tequila-Fabrik: In Mexiko verenden Zehntausende Fische – Fischer vor dem Ruin, publicación en línea recuperada de, <https://www.watson.ch/international/umwelt/269909759-leck-in-tequila-fabrik-in-mexiko-verenden-zehntausende-fische>
- [59] Hussain, A., Dubey, S.K. Specific methanogenic activity test for anaerobic degradation of influents. Appl Water Sci 7, 535–542 (2017). <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0305-z>
- [60] Y.T. Cho, J.C. Young, J.A. Jordan, H.M. Moon; Factors affecting measurement of specific methanogenic activity. Water Sci Technol 1 July 2005; 52 (1-2): 435–440. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0550>
- [61] Barros, V. G. de, Duda, R. M., & Oliveira, R. A. de. (2016). Biomethane production from vinasse in upflow anaerobic sludge blanket reactors inoculated with granular sludge. Brazilian Journal of Microbiology, 47(3), 628–639. doi:10.1016/j.bjm.2016.04.021
- [62] sin autor, imagen del equipo AMPTS® II, recuperada de, [https://bpcinstruments.com/bpc\\_products/automatic-methane-potential-test-system/](https://bpcinstruments.com/bpc_products/automatic-methane-potential-test-system/)

# Anexo 1: Informes de resultados analíticos del CIATEJ, A.C.



## INFORME DE RESULTADOS.



Fecha de emisión: **2022-05-10**

US 2200646/2022

**Ciente:**

Iteso A.C.  
Periferico Sur Manuel Gomez Morin No. 8685  
Iteso C.P. 45604  
Tlaquepaque, Jalisco

Héctor Andrés  
andresherrera@iteso.mx

**Información de la muestra:**

**Producto:** Mosto  
**Descripción:**  
1) Mosto A2-1

**Fecha de recepción:** 2022-05-03  
**Muestreado/Fecha:** Por el cliente/NA  
**Fecha de ensayo:** 2022-05-03 al 2022-05-10

**Resultados de Análisis**

Determinación	Resultados	Unidad	Método	Analizado
Solidos Suspendidos Volátiles	750,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Solidos totales	24 548,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Solidos suspendidos totales	7 658,33	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Alcohol volumen 20° C	2,84	% de alcohol volumen	NMX-V-013-NORMEX-2013	JLPS

**Observaciones:**

El informe de resultados sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos.  
El informe de resultado no debe reproducirse en forma parcial, únicamente podrá reproducirse en su totalidad con autorización por escrito del CIATEJ, A.C.  
El signo decimal es una coma “,” sobre la línea de acuerdo a la norma NOM-008-SCFI-2002.  
Cualquier duda o aclaración deberá solicitarse dentro de 20 días hábiles.

P.A.

T.Q.F. Rubén Cejas Gutiérrez.  
Responsable del Laboratorio de Físicoquímicos.



Sandra Bravo

M. en C. Sandra Daniela Bravo.  
Responsable del Laboratorio de Cromatografía

Avenida Normalistas No. 800, Colinas de la Normal. C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México  
Tel. 01 (33) 3345.5200 - [www.ciatej.mx](http://www.ciatej.mx)  
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.  
Unidad de Servicios Analíticos y Metrologicos (USAM)

FOR-SM/US-07-02 r1.1

1 de 8



# INFORME DE RESULTADOS.



Fecha de emisión: 2022-05-10

US 2200646/2022

**Ciente:**

Iteso A.C.  
Periferico Sur Manuel Gomez Morin No. 8685  
Iteso C.P. 45604  
Tlaquepaque, Jalisco

Héctor Andrés  
andresherrera@iteso.mx

**Información de la muestra:**

Producto: Mosto  
Descripción:  
2) Mosto A2-2

Fecha de recepción: 2022-05-03  
Muestreado/Fecha: Por el cliente/NA  
Fecha de ensayo: 2022-05-03 al 2022-05-10

**Resultados de Análisis**

Determinación	Resultados	Unidad	Método	Analizado
Solidos Suspendidos Volátiles	775,00	mg/L	- NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Solidos totales	24 531,00	mg/L	- NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Solidos suspendidos totales	7 641,67	mg/L	- NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Alcohol volumen 20° C	2,80	% de alcohol volumen	- NMX-V-013-NORMEX-2013	JLPS

**Observaciones:**

El informe de resultados sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos.  
El informe de resultado no debe reproducirse en forma parcial, únicamente podrá reproducirse en su totalidad con autorización por escrito del CIATEJ, A.C.  
El signo decimal es una coma "," sobre la línea de acuerdo a la norma NOM-008-SCFI-2002.  
Cualquier duda o aclaración deberá solicitarse dentro de 20 días hábiles.

P.A.

T.Q.I. Rubén Cejas Gutiérrez.  
Responsable del Laboratorio de  
Fisicoquímicos.

M. en C. Sandra Daniela Bravo.  
Responsable del Laboratorio de  
Cromatografía

Avenida Normalistas No. 800, Colinas de la Normal, C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México  
Tel. 01 (33) 3345.5200 - [www.ciatej.mx](http://www.ciatej.mx)  
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.  
Unidad de Servicios Analíticos y Metrológicos (USAM)

FOR-SM/US-07-02 r1.1

2 de 8



# INFORME DE RESULTADOS.



Fecha de emisión: **2022-05-10**

US 2200646/2022

**Ciente:**

Iteso A.C.  
Periferico Sur Manuel Gomez Morin No. 8685  
Iteso C.P. 45604  
Tlaquepaque, Jalisco

Héctor Andrés  
andresherrera@iteso.mx

**Información de la muestra:**

**Producto:** Mosto  
**Descripción:**  
3) Mosto A2-3


**Fecha de recepción:** 2022-05-03  
**Muestreado/Fecha:** Por el cliente/NA  
**Fecha de ensayo:** 2022-05-03 al 2022-05-10

**Resultados de Análisis**

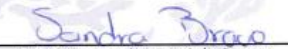
Determinación	Resultados	Unidad	Método	Analizado
Solidos Suspendidos Volátiles	758,33	mg/L	- NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Solidos totales	24 540,00	mg/L	- NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Solidos suspendidos totales	7 666,67	mg/L	- NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Alcohol volumen 20° C	2,80	% de alcohol volumen	- NMX-V-013-NORMEX-2013	JLPS

**Observaciones:**

El informe de resultados sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos.  
El informe de resultado no debe reproducirse en forma parcial, únicamente podrá reproducirse en su totalidad con autorización por escrito del CIATEJ, A.C.  
El signo decimal es una coma "," sobre la línea de acuerdo a la norma NDM-008-SCFI-2002.  
Cualquier duda o aclaración deberá solicitarse dentro de 20 días hábiles.

  
T.Q.I. Rubén Cejas Gutiérrez.  
Responsable del Laboratorio de Físicoquímicos.



  
M. en C. Sandra Daniela Bravo.  
Responsable del Laboratorio de Cromatografía

Avenida Normalistas No. 800, Colinas de la Normal, C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México  
Tel. 01 (33) 3345.5200 - [www.ciatej.mx](http://www.ciatej.mx)  
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.  
Unidad de Servicios Analíticos y Metroológicos (USAM)



# INFORME DE RESULTADOS.



Fecha de emisión: 2022-05-10

US 2200646/2022

**Ciente:**

Iteso A.C.  
Periferico Sur Manuel Gomez Morin No. 8685  
Iteso C.P. 45604  
Tlaquepaque, Jalisco

Héctor Andrés  
andresherrera@iteso.mx

**Información de la muestra:**

**Producto:** Mosto

**Descripción:**

4) Mosto A2-4

**Fecha de recepción:** 2022-05-03

**Muestreado/Fecha:** Por el cliente/NA

**Fecha de ensayo:** 2022-05-03 al 2022-05-10

**Resultados de Análisis**

Determinación	Resultados	Unidad	Método	Analizado
Solidos Suspendidos Volátiles	758,33	mg/L	- NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Solidos totales	24 544,00	mg/L	- NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Solidos suspendidos totales	7 658,33	mg/L	- NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Alcohol volumen 20° C	2,83	% de alcohol volumen	- NMX-V-013-NORMEX-2013	JLPS

**Observaciones:**

El informe de resultados sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos.

El informe de resultado no debe reproducirse en forma parcial, únicamente podrá reproducirse en su totalidad con autorización por escrito del CIATEJ, A.C.

El signo decimal es una coma "," sobre la línea de acuerdo a la norma NOM-008-SCFI-2002.

Cualquier duda o aclaración deberá solicitarse dentro de 20 días hábiles.

P.A.

T.Q.I. Rubén Cejas Gutiérrez.  
Responsable del Laboratorio de Físicoquímicos.



Sandra Bravo

M. en C. Sandra Daniela Bravo.  
Responsable del Laboratorio de Cromatografía

Avenida Normalistas No. 800, Colinas de la Normal, C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México  
Tel. 01 (33) 3345.5200 - www.ciatej.mx  
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.  
Unidad de Servicios Analíticos y Memológicos (USAM)



# INFORME DE RESULTADOS.



Fecha de emisión: 2022-05-10

US 2200646/2022

**Ciente:**

Iteso A.C.  
Periférico Sur Manuel Gomez Morin No. 8685  
Iteso C.P. 45604  
Tlaquepaque, Jalisco

Héctor Andrés  
andresherrera@iteso.mx

**Información de la muestra:**

Producto: Mosto  
Descripción:  
5) Mosto B2-1

Fecha de recepción: 2022-05-03  
Muestreado/Fecha: Por el cliente/NA  
Fecha de ensayo: 2022-05-03 al 2022-05-10

**Resultados de Análisis**

Determinación	Resultados	Unidad	Método	Analizado
Solidos Suspendidos Volátiles	< 1,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Solidos totales	22 548,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Solidos suspendidos totales	375,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Alcohol volumen 20° C	2,60	% de alcohol volumen	NMX-V-013-NORMEX-2013	JLPS

**Observaciones:**

El informe de resultados sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos.

El informe de resultado no debe reproducirse en forma parcial, únicamente podrá reproducirse en su totalidad con autorización por escrito del CIATEJ, A.C.

El signo decimal es una coma "," sobre la línea de acuerdo a la norma NOM-008-SCFI-2002.

Cualquier duda o aclaración deberá solicitarse dentro de 20 días hábiles.

P.A.

T.Q.I. Rubén Cejas Gutiérrez.  
Responsable del Laboratorio de  
Fisicoquímicos.

M. en C. Sandra Daniela Bravo.  
Responsable del Laboratorio de  
Cromatografía

Avenida Normalistas No. 800, Colinas de la Normal. C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México  
Tel. 01 (33) 3345.5200 - www.ciatej.mx  
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.  
Unidad de Servicios Analíticos y Metrológicos (USAM)



# INFORME DE RESULTADOS.



Fecha de emisión: 2022-05-10

US 2200646/2022

**Ciente:**

Iteso A.C.  
Periferico Sur Manuel Gomez Morin No. 8685  
Iteso C.P. 45604  
Tlaquepaque, Jalisco

Héctor Andrés  
andresherrera@iteso.mx

**Información de la muestra:**

**Producto:** Mosto  
**Descripción:**  
6) Mosto B2-2

**Fecha de recepción:** 2022-05-03  
**Muestreado/Fecha:** Por el cliente/NA  
**Fecha de ensayo:** 2022-05-03 al 2022-05-10

**Resultados de Análisis**

Determinación	Resultados	Unidad	Método	Analizado
Solidos Suspendidos Volátiles	< 1,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Solidos totales	22 563,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Solidos suspendidos totales	378,13	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Alcohol volumen 20° C	2,58	% de alcohol volumen	NMX-V-013-NORMEX-2013	JLPS

**Observaciones:**

El informe de resultados sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos.  
El informe de resultado no debe reproducirse en forma parcial, únicamente podrá reproducirse en su totalidad con autorización por escrito del CIATEJ, A.C.  
El signo decimal es una coma "," sobre la línea de acuerdo a la norma NOM-008-SCFI-2002.  
Cualquier duda o aclaración deberá solicitarse dentro de 20 días hábiles.

P.A.

T.Q.I. Rubén Cejas Gutiérrez.  
Responsable del Laboratorio de Físicoquímicos.



Sandra Bravo

M. en C. Sandra Daniela Bravo.  
Responsable del Laboratorio de Cromatografía

Avenida Normalistas No. 800, Colinas de la Normal. C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México  
Tel. 01 (33) 3345.5200 - www.ciatej.mx  
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.  
Unidad de Servicios Analíticos y Metrológicos (USAM)



# INFORME DE RESULTADOS.



Fecha de emisión: 2022-05-10

US 2200646/2022

**Ciente:**

Iteso A.C.  
Periferico Sur Manuel Gomez Morin No. 8685  
Iteso C.P. 45604  
Tlaquepaque, Jalisco

Héctor Andrés  
andresherrera@iteso.mx

**Información de la muestra:**

**Producto:** Mosto

**Descripción:**

7) Mosto B2-3

**Fecha de recepción:** 2022-05-03

**Muestreado/Fecha:** Por el cliente/NA

**Fecha de ensayo:** 2022-05-03 al 2022-05-10

**Resultados de Análisis**

Determinación	Resultados	Unidad	Método	Analizado
Solidos Suspendidos Volátiles	< 1,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Solidos totales	22 545,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Solidos suspendidos totales	381,25	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Alcohol volumen 20° C	2,59	% de alcohol volumen	NMX-V-013-NORMEX-2013	JLPS

**Observaciones:**

El informe de resultados sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos.

El informe de resultado no debe reproducirse en forma parcial, únicamente podrá reproducirse en su totalidad con autorización por escrito del CIATEJ, A.C.

El signo decimal es una coma “,” sobre la línea de acuerdo a la norma NOM-008-SCFI-2002.

Cualquier duda o aclaración deberá solicitarse dentro de 20 días hábiles.

P.A.

T.Q.I. Rubén Cejas Gutiérrez.  
Responsable del Laboratorio de Físicoquímicos.

Sandra Bravo

M. en C. Sandra Daniela Bravo.  
Responsable del Laboratorio de Cromatografía

Avenida Normalistas No. 800, Colinas de la Normal. C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México  
Tel. 01 (33) 3345.5200 - [www.ciatej.mx](http://www.ciatej.mx)  
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.  
Unidad de Servicios Analíticos y Metrológicos (USAM)



# INFORME DE RESULTADOS.



Fecha de emisión: **2022-05-10**

**US 2200646/2022**

**Ciente:**

Iteso A.C.  
Periferico Sur Manuel Gomez Morin No. 8685  
Iteso C.P. 45604  
Tlaquepaque, Jalisco

Héctor Andrés  
andresherrera@iteso.mx

**Información de la muestra:**

**Producto:** Mosto  
**Descripción:**  
8) Mosto B2-4

**Fecha de recepción:** 2022-05-03  
**Muestreado/Fecha:** Por el cliente/NA  
**Fecha de ensayo:** 2022-05-03 al 2022-05-10

**Resultados de Análisis**

Determinación	Resultados	Unidad	Método	Analizado
Solidos Suspendidos Volátiles	< 1,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Solidos totales	22 557,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Solidos suspendidos totales	387,50	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Alcohol volumen 20° C	2,60	% de alcohol volumen	NMX-V-013-NORMEX-2013	JLPS

**Observaciones:**

El informe de resultados sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos.  
El informe de resultado no debe reproducirse en forma parcial, únicamente podrá reproducirse en su totalidad con autorización por escrito del CIATEJ, A.C.  
El signo decimal es una coma "," sobre la línea de acuerdo a la norma NOM-008-SCFI-2002.  
Cualquier duda o aclaración deberá solicitarse dentro de 20 días hábiles.

P.A.

T.Q.I. Rubén Cejas Gutiérrez.  
Responsable del Laboratorio de  
Fisicoquímicos.



Sandra Bravo

M. en C. Sandra Daniela Bravo.  
Responsable del Laboratorio de  
Cromatografía

Avenida Normalistas No. 800, Colinas de la Normal. C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México  
Tel. 01 (33) 3345.5200 - [www.ciatej.mx](http://www.ciatej.mx)  
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.  
Unidad de Servicios Analíticos y Metrológicos (USAM)

FOR-SM/US-07-02 r1.1

8 de 8

Fecha de emisión: 2022-04-28

US 2200575/2022

**Ciente:**

María Guadalupe Horner Valencia



Andrés Herrera

andresherrera@iteso.mx

**Información de la muestra:**

**Producto:** Vinazas Tequileras

**Descripción:**

1) Vinaza A2-1

**Fecha de recepción:** 2022-03-23

**Muestreado/Fecha:** Por el cliente/NA

**Fecha de ensayo:** 2022-03-23 al 2022-04-28

**Resultados de Análisis**

Determinación	Resultados	Unidad	Método	Analizado
Fósforo total	4,19	mg/L	NMX-AA-029-SCFI-2001	RGC
Fósforo total soluble	2,84	mg/L	NMX-AA-029-SCFI-2001	RGC
Sólidos Suspendidos Volátiles	787,50	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Demanda bioquímica de oxígeno Soluble	24 316,11	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2003	RGC
Demanda Química de Oxígeno Soluble	50 138,25	mg/L	NMX-AA-030/1-SCFI-2012	RGC
Demanda Química de Oxígeno	66 359,45	mg/L	NMX-AA-030/1-SCFI-2012	RGC
Nitrógeno total Kjeldahl	202,38	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2010	RGC
Nitrógeno amoniacal	11,65	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2010	RGC
Sólidos totales	29 635,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Sólidos suspendidos totales	9 500,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC


**Observaciones:**

El informe de resultados sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos.

El informe de resultado no debe reproducirse en forma parcial, únicamente podrá reproducirse en su totalidad con autorización por escrito del CIATEJ, A.C.

El signo decimal es una coma "," sobre la línea de acuerdo a la norma NOM-008-SCFI-2002.

Cualquier duda o aclaración deberá solicitarse dentro de 20 días hábiles.



T.O.J. Rubén Cejas Gutiérrez.  
Responsable del Laboratorio de Físicoquímicos.

Avenida Normalistas No. 800, Colinas de la Normal. C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México  
Tel, 01 (33) 3345.5200 - www.ciatej.mx  
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.  
Unidad de Servicios Analíticos y Metroológicos (USAM)

Fecha de emisión: 2022-04-28

US 2200575/2022

**Ciente:**

María Guadalupe Horner Valencia



Andrés Herrera

andresherrera@iteso.mx

**Información de la muestra:**

**Producto:** Vinazas Tequileras

**Descripción:**  
2) Vinaza A2-2

**Fecha de recepción:** 2022-03-23

**Muestreado/Fecha:** Por el cliente/NA

**Fecha de ensayo:** 2022-03-23 al 2022-04-28

**Resultados de Análisis**

Determinación	Resultados	Unidad	Método	Analizado
Fósforo total	4,13	mg/L	NMX-AA-029-SCFI-2001	RGC
Fósforo total soluble	2,82	mg/L	NMX-AA-029-SCFI-2001	RGC
Sólidos Suspendidos Volátiles	787,50	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Demanda bioquímica de oxígeno Soluble	24 316,11	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RGC
Demanda Química de Oxígeno Soluble	50 875,58	mg/L	NMX-AA-030/1-SCFI-2012	RGC
Demanda Química de Oxígeno	65 622,12	mg/L	NMX-AA-030/1-SCFI-2012	RGC
Nitrógeno total Kjeldahl	202,02	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2010	RGC
Nitrógeno amoniacal	11,72	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2010	RGC
Sólidos totales	29 615,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Sólidos suspendidos totales	9 500,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC

**Observaciones:**

El informe de resultados sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos.

El informe de resultado no debe reproducirse en forma parcial, únicamente podrá reproducirse en su totalidad con autorización por escrito del CIATEJ, A.C.

El signo decimal es una coma "," sobre la línea de acuerdo a la norma NOM-008-SCFI-2002.

Cualquier duda o aclaración deberá solicitarse dentro de 20 días hábiles.

F.C.I. Rubén Cejas Gutiérrez,  
Responsable del Laboratorio de  
Fisicoquímicos.

Avenida Normalistas No. 800, Colinas de la Normal. C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México

Tel. 01 (33) 3345.5200 - [www.ciatej.mx](http://www.ciatej.mx)

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.

Unidad de Servicios Analíticos y Metroológicos (USAM)



# INFORME DE RESULTADOS.



Fecha de emisión: 2022-04-28

US 2200575/2022

**Ciente:**

María Guadalupe Horner Valencia



Andrés Herrera

andresherrera@iteso.mx

**Información de la muestra:**

**Producto:** Vinazas Tequileras

**Descripción:**

3) Vinaza A2-3

**Fecha de recepción:** 2022-03-23

**Muestreado/Fecha:** Por el cliente/NA

**Fecha de ensayo:** 2022-03-23 al 2022-04-28

**Resultados de Análisis**

Determinación	Resultados	Unidad	Método	Analizado
Fósforo total	4,15	mg/L	NMX-AA-029-SCFI-2001	RGC
Fósforo total soluble	2,83	mg/L	NMX-AA-029-SCFI-2001	RGC
Solidos Suspendidos Volátiles	762,50	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Demanda bioquímica de oxígeno Soluble	24 316,11	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RGC
Demanda Química de Oxígeno Soluble	50 138,25	mg/L	NMX-AA-030/1-SCFI-2012	RGC
Demanda Química de Oxígeno	66 359,45	mg/L	NMX-AA-030/1-SCFI-2012	RGC
Nitrógeno total Kjeldahl	201,95	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2010	RGC
Nitrógeno amoniacal	11,65	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2010	RGC
Solidos totales	29 617,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Solidos suspendidos totales	9 495,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC

**Observaciones:**

El informe de resultados sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos.

El informe de resultado no debe reproducirse en forma parcial, únicamente podrá reproducirse en su totalidad con autorización por escrito del CIATEJ, A.C.

El signo decimal es una coma "," sobre la línea de acuerdo a la norma NOM-008-SCFI-2002.

Cualquier duda o aclaración deberá solicitarse dentro de 20 días hábiles.

T.O.I. Rubén Cejas Gutiérrez.  
Responsable del Laboratorio de Físicoquímicos.

Avenida Normalistas No. 800, Colinas de la Normal. C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México  
Tel. 01 (33) 3345.5200 - [www.ciatej.mx](http://www.ciatej.mx)  
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.  
Unidad de Servicios Analíticos y Metroológicos (USAM)

Fecha de emisión: 2022-04-28

US 2200575/2022

**Ciente:**

María Guadalupe Horner Valencia

Andrés Herrera

andresherrera@iteso.mx



**Información de la muestra:**

**Producto:** Vinazas Tequileras

**Descripción:**

4) Vinaza B2-4

**Fecha de recepción:** 2022-03-23

**Muestreado/Fecha:** Por el cliente/NA

**Fecha de ensayo:** 2022-03-23 al 2022-04-28

**Resultados de Análisis**

Determinación	Resultados	Unidad	Método	Analizado
Fósforo total	3,71	mg/L	NMX-AA-029-SCFI-2001	RGC
Fósforo total soluble	1,52	mg/L	NMX-AA-029-SCFI-2001	RGC
Sólidos Suspendedos Volátiles	< 1,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Demanda bioquímica de oxígeno Soluble	19 452,89	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RGC
Demanda Química de Oxígeno Soluble	47 188,94	mg/L	NMX-AA-030/1-SCFI-2012	RGC
Demanda Química de Oxígeno	63 410,14	mg/L	NMX-AA-030/1-SCFI-2012	RGC
Nitrógeno total Kjeldahl	101,70	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2010	RGC
Nitrógeno amoniacal	6,77	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2010	RGC
Sólidos totales	27 700,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Sólidos suspendidos totales	184,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC

**Observaciones:**

El informe de resultados sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos.

El informe de resultado no debe reproducirse en forma parcial, únicamente podrá reproducirse en su totalidad con autorización por escrito del CIATEJ, A.C.

El signo decimal es una coma ",", sobre la línea de acuerdo a la norma NOM-008-SCFI-2002.

Cualquier duda o aclaración deberá solicitarse dentro de 20 días hábiles.

T.Q.I. Rubén Cejas Gutiérrez.  
Responsable del Laboratorio de  
Fisicoquímicos.

Avenida Normalistas No. 800, Colinas de la Normal. C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México  
Tel. 01 (33) 3345.5200 - [www.ciatej.mx](http://www.ciatej.mx)  
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.  
Unidad de Servicios Analíticos y Metroológicos (USAM)

Fecha de emisión: **2022-04-28**

**US 2200575/2022**

**Ciente:**

María Guadalupe Horner Valencia



Andrés Herrera

andresherrera@iteso.mx

**Información de la muestra:**

**Producto:** Vinazas Tequileras

**Descripción:**

5) Vinaza B2-5

**Fecha de recepción:** 2022-03-23

**Muestreado/Fecha:** Por el cliente/NA

**Fecha de ensayo:** 2022-03-23 al 2022-04-28

**Resultados de Análisis**

Determinación	Resultados	Unidad	Método	Analizado
Fósforo total	3,64	mg/L	NMX-AA-029-SCFI-2001	RGC
Fósforo total soluble	1,53	mg/L	NMX-AA-029-SCFI-2001	RGC
Sólidos Suspendidos Volátiles	< 1,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Demanda bioquímica de oxígeno Soluble	19 452,89	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RGC
Demanda Química de Oxígeno Soluble	47 188,94	mg/L	NMX-AA-030/1-SCFI-2012	RGC
Demanda Química de Oxígeno	63 410,14	mg/L	NMX-AA-030/1-SCFI-2012	RGC
Nitrógeno total Kjeldahl	101,77	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2010	RGC
Nitrógeno amoniacal	6,84	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2010	RGC
Sólidos totales	27 740,00	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Sólidos suspendidos totales	190,40	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC

**Observaciones:**

El informe de resultados sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos.

El informe de resultado no debe reproducirse en forma parcial, únicamente podrá reproducirse en su totalidad con autorización por escrito del CIATEJ, A.C.

El signo decimal es una coma "," sobre la línea de acuerdo a la norma NOM-008-SCFI-2002.

Cualquier duda o aclaración deberá solicitarse dentro de 20 días hábiles.

T.Q.I. Rubén Cejas Gutiérrez.  
Responsable del Laboratorio de  
Fisicoquímicos.

Avenida Normalistas No. 800, Colinas de la Normal. C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México  
Tel. 01 (33) 3345.5200 - [www.ciatej.mx](http://www.ciatej.mx)  
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.  
Unidad de Servicios Analíticos y Metroológicos (USAM)

Fecha de emisión: 2022-04-28

US 2200575/2022

**Ciente:**

María Guadalupe Horner Valencia



Andrés Herrera

andresherrera@iteso.mx

**Información de la muestra:**

Producto: Vinazas Tequileras

Descripción:

6) Vinaza B2-6

Fecha de recepción: 2022-03-23

Muestreado/Fecha: Por el cliente/NA

Fecha de ensayo: 2022-03-23 al 2022-04-28

**Resultados de Análisis**

Determinación	Resultados	Unidad	Método	Analizado
Fósforo total	3,74	mg/L	- NMX-AA-029-SCFI-2001	RGC
Fósforo total soluble	1,52	mg/L	- NMX-AA-029-SCFI-2001	RGC
Solidos Suspendidos Volátiles	< 1,00	mg/L	- NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Demanda Bioquímica de Oxígeno Soluble	19 452,89	mg/L	- NMX-AA-028-SCFI-2001 - NMX-AA-012-SCFI-2002	RGC
Demanda Química de Oxígeno Soluble	47 188,94	mg/L	- NMX-AA-030/1-SCFI-2012	RGC
Demanda Química de Oxígeno	64 147,47	mg/L	- NMX-AA-030/1-SCFI-2012	RGC
Nitrógeno total Kjeldahl	101,85	mg/L	- NMX-AA-026-SCFI-2010	RGC
Nitrógeno amoniacal	6,92	mg/L	- NMX-AA-026-SCFI-2010	RGC
Solidos totales	27 780,00	mg/L	- NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC
Solidos suspendidos totales	188,00	mg/L	- NMX-AA-034-SCFI-2015	RGC

**Observaciones:**

El informe de resultados sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos.

El informe de resultado no debe reproducirse en forma parcial, únicamente podrá reproducirse en su totalidad con autorización por escrito del CIATEJ, A.C.

El signo decimal es una coma "," sobre la línea de acuerdo a la norma NOM-008-SCFI-2002

Cualquier duda o aclaración deberá solicitarse dentro de 20 días hábiles.

T.Q.I. Rubén Cajas Gutiérrez.  
Responsable del Laboratorio de  
Fisicoquímicos.

Avenida Normalistas No. 800, Colinas de la Normal. C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México

Tel. 01 (33) 3345.5200 - [www.ciatej.mx](http://www.ciatej.mx)

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.

Unidad de Servicios Analíticos y Metroológicos (USAM)



# INFORME DE RESULTADOS.



Fecha de emisión: 2022-04-28

US 2200575/2022

**Ciente:**

María Guadalupe Horner Valencia

Andrés Herrera

andresherrera@iteso.mx



**Información de la muestra:**

Producto: Vinazas Tequileras

Determinación

Fecha de recepción: 2022-03-23

Muestreado/Fecha: Por el cliente/NA

Fecha de ensayo: 2022-03-23 al 2022-04-28

**Demanda Bioquímica de Oxígeno Obtenida al 5° Día**

**Resultados de Análisis**

Identificación de las Muestras	Resultados	Unidad	Método	Analizado
1) Vinaza A2-1	34 042,55	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RGC
2) Vinaza A2-2	34 042,55	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RGC
3) Vinaza A2-3	34 042,55	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RGC
4) Vinaza B2-4	31 610,94	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RGC
5) Vinaza B2-5	31 610,94	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RGC
6) Vinaza B2-6	31 610,94	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RGC

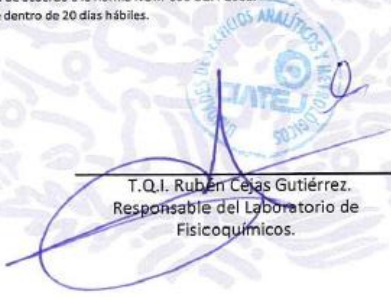
**Observaciones:**

El informe de resultados sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos.

El informe de resultado no debe reproducirse en forma parcial, únicamente podrá reproducirse en su totalidad con autorización por escrito del CIATEJ, A.C.

El signo decimal es una coma "," sobre la línea de acuerdo a la norma NOM-008-SCFI-2002.

Cualquier duda o aclaración deberá solicitarse dentro de 20 días hábiles.



T.Q.I. Rubén Cejas Gutiérrez.  
Responsable del Laboratorio de Físicoquímicos.

Avenida Normalistas No. 800, Colinas de la Normal. C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México  
Tel. 01 (33) 3345.5200 - [www.ciatej.mx](http://www.ciatej.mx)  
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.  
Unidad de Servicios Analíticos y Metroológicos (USAM)



# INFORME DE RESULTADOS.



Fecha de emisión: 2022-04-28

US 2200575/2022

**Ciente:**

María Guadalupe Horner Valencia



Andrés Herrera

andresherrera@iteso.mx

**Información de la muestra:**

**Producto:** Vinazas Tequileras

**Determinación**

**Demanda Bioquímica de Oxígeno Obtenida al 10° Día**

**Fecha de recepción:** 2022-03-23

**Muestreado/Fecha:** Por el cliente/NA

**Fecha de ensayo:** 2022-03-23 al 2022-04-28

**Resultados de Análisis**

Identificación de las Muestras	Resultados	Unidad	Método	Analizado
1) Vinaza A2-1	43 769,00	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RCG
2) Vinaza A2-2	43 769,00	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RCG
3) Vinaza A2-3	43 769,00	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RCG
4) Vinaza B2-4	42 553,19	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RCG
5) Vinaza B2-5	42 553,19	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RCG
6) Vinaza B2-6	42 553,19	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RCG


**Observaciones:**

El informe de resultados sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos.

El informe de resultado no debe reproducirse en forma parcial, únicamente podrá reproducirse en su totalidad con autorización por escrito del CIATEJ, A.C.

El signo decimal es una coma “,” sobre la línea de acuerdo a la norma NOM-008-SCFI-2002.

Cualquier duda o aclaración deberá solicitarse dentro de 20 días hábiles.



T.Q.I. Rubén Cojás Gutiérrez.  
Responsable del Laboratorio de  
Fisicoquímicos.

Avenida Normalistas No. 800, Colinas de la Normal. C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México  
Tel. 01 (33) 3345.5200 - [www.ciatej.mx](http://www.ciatej.mx)  
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.  
Unidad de Servicios Analíticos y Metroológicos (USAM)

Fecha de emisión: 2022-04-28

US 2200575/2022

**Ciente:**

María Guadalupe Horner Valencia

Andrés Herrera

andresherrera@iteso.mx



**Información de la muestra:**

Producto: Vinazas Tequileras

Determinación

Fecha de recepción: 2022-03-23

Muestreado/Fecha: Por el cliente/NA

Fecha de ensayo: 2022-03-23 al 2022-04-28

Demanda Bioquímica de Oxígeno Obtenida al 20° Día

**Resultados de Análisis**

Identificación de las Muestras	Resultados	Unidad	Método	Analizado
1) Vinaza A2-1	48 632,22	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RCG
2) Vinaza A2-2	48 632,22	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RCG
3) Vinaza A2-3	48 632,22	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RCG
4) Vinaza B2-4	47 416, 41	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RCG
5) Vinaza B2-5	47 416, 41	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RCG
6) Vinaza B2-6	47 416, 41	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001 NMX-AA-012-SCFI-2002	RCG

**Observaciones:**

El informe de resultados sólo afecta a las muestras sometidas a ensayos.

El informe de resultado no debe reproducirse en forma parcial, únicamente podrá reproducirse en su totalidad con autorización por escrito del CIATEJ, A.C.

El signo decimal es una coma "," sobre la línea de acuerdo a la norma NOM-008-SCFI-2002.

Cualquier duda o aclaración deberá solicitarse dentro de 20 días hábiles.

T.Q.I. Rubén Cajas Gutiérrez.  
Responsable del Laboratorio de  
Fisicoquímicos.

Avenida Normalistas No. 800, Colinas de la Normal. C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México

Tel. 01 (33) 3345.5200 - [www.ciatej.mx](http://www.ciatej.mx)

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.

Unidad de Servicios Analíticos y Metrológicos (USAM)

## Anexo 2: Resultados de diseño del software SIMBA#WATER V4.2

### RESULTADOS DE DISEÑO PARA VINAZAS A2

V [=] m3		40	45	50	60	75	90	95	96.5
Unit	Id	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value
mol/m <sup>3</sup>	SH	6.748E-05	6.283E-05	5.958E-05	5.558E-05	5.252E-05	5.083E-05	5.044E-05	5.033E-05
mg COD/m <sup>3</sup>	SH2	0.1062	0.1012	0.0976	0.09294	0.0892	0.08708	0.08657	0.08644
g COD/m <sup>3</sup>	SCH4	132.5	125.3	119.1	108.9	97.92	90.19	88.11	87.52
mol CO2/m <sup>3</sup>	SCO2	9.648	9.569	9.509	9.423	9.34	9.285	9.271	9.267
mol HCO3/m <sup>3</sup>	SHCO3	101.5	108.1	113.3	120.4	126.3	129.7	130.5	130.7
gN/m <sup>3</sup>	SNH4	1620	1654	1684	1730	1775	1805	1813	1815
gN/m <sup>3</sup>	SNH3	23.91	26.23	28.17	31.04	33.73	35.46	35.89	36.01
g COD/m <sup>3</sup>	SAC	1203	978.4	801.2	576.6	416.6	341	325	320.8
gCOD/m <sup>3</sup>	SHAC	3.248	2.459	1.909	1.282	0.875	0.6932	0.6556	0.6458
gCOD/m <sup>3</sup>	SPRO	96.52	54.27	38.53	26.41	20.36	17.89	17.39	17.26
g COD/m <sup>3</sup>	SHPRO	0.3427	0.1794	0.1208	0.07724	0.05627	0.04786	0.04616	0.04572
gCOD/m <sup>3</sup>	SAA	14.05	13.74	13.51	13.21	12.97	12.84	12.8	12.8
gCOD/m <sup>3</sup>	SSU	14.05	13.74	13.51	13.21	12.97	12.84	12.8	12.8
gCOD/m <sup>3</sup>	SFA	768.6	545.3	421.4	300.8	228.9	196.3	189.3	187.4
gCOD/m <sup>3</sup>	SI	14740	14800	14860	14930	15010	15050	15070	15070
gCOD/m <sup>3</sup>	XS	253	235	218.6	190.2	158.6	132.7	125.9	124
gCOD/m <sup>3</sup>	XD	89.08	87.67	85.53	79.84	71.11	62.11	59.57	58.85
gCOD/m <sup>3</sup>	XBAA	19.68	18.11	16.74	14.48	12.03	10.06	9.54	9.396
gCOD/m <sup>3</sup>	XBSU	7.46	6.817	6.263	5.359	4.403	3.653	3.459	3.405
gCOD/m <sup>3</sup>	XBFA	40.08	40.89	41.09	40.08	37.25	33.45	32.31	31.98
gCOD/m <sup>3</sup>	XBPRO	12.13	12.4	12.47	12.21	11.41	10.28	9.942	9.843
gCOD/m <sup>3</sup>	XBAC	33.11	34.31	34.98	34.94	33.26	30.35	29.44	29.17
gCOD/m <sup>3</sup>	XBH2	8.83	8.337	7.845	6.935	5.861	4.946	4.703	4.635
gCOD/m <sup>3</sup>	XI	125.4	145.4	166.2	206.8	262.4	302.6	314.4	317.7
g TSS/m <sup>3</sup>	XMI	2.542	2.835	3.065	4.431	4.281	12.71	14.52	15.06
m <sup>3</sup> /d	Flow rate	10.39	10.55	10.68	10.88	11.06	11.19	11.23	11.24

DQOt	17428.581	16997.022	16739.898	16452.433	16299.055	16221.76	16217.256	16210.731
DQObs	2099.8107	1608.0884	1290.1798	931.58924	692.73127	581.61106	557.99176	551.75152
DQOnbs	14740	14800	14860	14930	15010	15050	15070	15070
DQObp	463.37	443.534	423.518	384.044	333.924	287.549	274.864	271.279
DQOnbp	125.4	145.4	166.2	206.8	262.4	302.6	314.4	317.7
DQOs	16839.811	16408.088	16150.18	15861.589	15702.731	15631.611	15627.992	15621.752
DQOp	588.77	588.934	589.718	590.844	596.324	590.149	589.264	588.979
DQOb	2563.1807	2051.6224	1713.6978	1315.6332	1026.6553	869.16006	832.85576	823.03052
DQOnb	14865.4	14945.4	15026.2	15136.8	15272.4	15352.6	15384.4	15387.7
DBOu	2344.7977	1876.8242	1567.6907	1203.5413	939.18424	795.10762	761.89645	752.90832
DBO5	922.60601	738.47277	616.83824	473.5566	369.5402	312.85047	299.78289	296.24634
DQOb/DBO	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964
DBOp	166.78806	159.64818	152.44351	138.23501	120.19453	103.50204	98.936129	97.645724
DBOs	755.81794	578.82459	464.39474	335.32159	249.34568	209.34843	200.84676	198.60062

## RESULTADOS DE DISEÑO PARA VINAZAS A2

V [=] m3		98	100	110	125	150	180	200	220
Unit	Id	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value
mol/m <sup>3</sup>	SH	5.022E-05	5.009E-05	4.952E-05	4.886E-05	4.811E-05	4.751E-05	4.721E-05	4.698E-05
mg COD/m <sup>3</sup>	SH2	0.08631	0.08613	0.08542	0.0846	0.08367	0.08294	0.08258	0.0823
g COD/m <sup>3</sup>	SCH4	86.95	86.22	82.91	78.9	73.92	69.72	67.59	65.85
mol CO2/m <sup>3</sup>	SCO2	9.263	9.258	9.235	9.209	9.176	9.148	9.135	9.123
mol HCO3/m <sup>3</sup>	SHCO3	131	131.3	132.4	133.8	135.4	136.7	137.4	137.9
gN/m <sup>3</sup>	SNH4	1817	1820	1832	1846	1864	1878	1885	1891
gN/m <sup>3</sup>	SNH3	36.13	36.29	36.95	37.74	38.7	39.5	39.9	40.22
g COD/m <sup>3</sup>	SAC	316.8	311.6	290.9	269.2	246.4	229.9	222.1	215.9
gCOD/m <sup>3</sup>	SHAC	0.6364	0.6241	0.5761	0.5262	0.4741	0.4368	0.4195	0.4058
gCOD/m <sup>3</sup>	SPRO	17.14	16.97	16.34	15.67	14.97	14.47	14.23	14.05
g COD/m <sup>3</sup>	SHPRO	0.04529	0.04474	0.04257	0.0403	0.03791	0.03618	0.03537	0.03473
gCOD/m <sup>3</sup>	SAA	12.79	12.78	12.73	12.68	12.62	12.57	12.55	12.53
gCOD/m <sup>3</sup>	SSU	12.79	12.78	12.73	12.68	12.62	12.57	12.55	12.53
gCOD/m <sup>3</sup>	SFA	185.7	183.4	174.1	164.1	153.3	145.3	141.5	138.6
gCOD/m <sup>3</sup>	SI	15070	15080	15090	15110	15140	15160	15170	15180
gCOD/m <sup>3</sup>	XS	122.2	119.7	108.8	95.44	78.8	64.88	57.92	52.27
gCOD/m <sup>3</sup>	XD	58.13	57.17	52.83	47.25	39.94	33.53	30.23	27.5
gCOD/m <sup>3</sup>	XBAA	9.255	9.066	8.243	7.234	5.978	4.926	4.4	3.972
gCOD/m <sup>3</sup>	XBSU	3.352	3.281	2.974	2.6	2.138	1.755	1.564	1.41
gCOD/m <sup>3</sup>	XBFA	31.64	31.2	29.13	26.39	22.64	19.24	17.45	15.95
gCOD/m <sup>3</sup>	XBPRO	9.743	9.609	8.989	8.157	7.017	5.977	5.427	4.965
gCOD/m <sup>3</sup>	XBAC	28.9	28.53	26.82	24.48	21.21	18.17	16.55	15.18
gCOD/m <sup>3</sup>	XBH2	4.567	4.478	4.083	3.596	2.982	2.465	2.204	1.992
gCOD/m <sup>3</sup>	XI	320.9	325.2	344	366.6	393.9	415.5	425.8	433.9
g TSS/m <sup>3</sup>	XMI	15.62	16.37	20.11	25.65	34.22	43.06	48.13	52.61
m <sup>3</sup> /d	Flow rate	11.25	11.26	11.32	11.4	11.52	11.65	11.74	11.82

DQOt	16204.589	16206.433	16183.288	16166.644	16155.027	16141.726	16134.93	16131.19
DQObs	545.90169	538.19884	507.41867	474.8965	440.42201	415.28298	403.38487	394.05053
DQOnbs	15070	15080	15090	15110	15140	15160	15170	15180
DQObp	267.787	263.034	241.869	215.147	180.705	150.943	135.745	123.239
DQOnbp	320.9	325.2	344	366.6	393.9	415.5	425.8	433.9
DQOs	15615.902	15618.199	15597.419	15584.897	15580.422	15575.283	15573.385	15574.051
DQOp	588.687	588.234	585.869	581.747	574.605	566.443	561.545	557.139
DQOb	813.68869	801.23284	749.28767	690.0435	621.12701	566.22598	539.12987	517.28953
DQOnb	15390.9	15405.2	15434	15476.6	15533.9	15575.5	15595.8	15613.9
DBOu	744.36241	732.9678	685.44836	631.25179	568.20699	517.98353	493.19601	473.21646
DBO5	292.88379	288.40036	269.70291	248.37823	223.57203	203.81064	194.05751	186.19617
DQOb/DBO	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964
DBOp	96.388793	94.677971	87.059719	77.441249	65.043997	54.331292	48.860836	44.359355
DBOs	196.49499	193.72239	182.6432	170.93698	158.52803	149.47934	145.19667	141.83681

## RESULTADOS DE DISEÑO PARA VINAZAS B2

V [=] m3		30	32	35	37	40	45	50	60
Unit	Id	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value
mol/m <sup>3</sup>	SH	8.569E-05	7.948E-05	7.282E-05	0.0000696	0.0000659	6.181E-05	5.923E-05	5.612E-05
mg COD/m <sup>3</sup>	SH2	0.1283	0.1227	0.1158	0.112	0.1072	0.1012	0.09692	0.09167
g COD/m <sup>3</sup>	SCH4	144.1	141.5	137.2	134.2	129.9	123.2	117.3	107.6
mol CO2/m <sup>3</sup>	SCO2	9.979	9.898	9.814	9.775	9.731	9.681	9.647	9.595
mol HCO3/m <sup>3</sup>	SHCO3	82.7	88.43	95.71	99.75	104.9	111.2	115.7	121.4
gN/m <sup>3</sup>	SNH4	1396	1416	1448	1469	1500	1547	1587	1649
gN/m <sup>3</sup>	SNH3	16.21	17.73	19.8	21.02	22.67	24.94	26.72	29.3
g COD/m <sup>3</sup>	SAC	1174	1065	828.7	690.4	524.1	348.5	256.9	177.7
gCOD/m <sup>3</sup>	SHAC	4.022	3.387	2.413	1.922	1.381	0.8616	0.6085	0.3989
gCOD/m <sup>3</sup>	SPRO	364.3	141.3	61.42	43.98	30.96	21.58	17.49	13.99
g COD/m <sup>3</sup>	SHPRO	1.643	0.591	0.2353	0.161	0.1073	0.07019	0.05452	0.04131
gCOD/m <sup>3</sup>	SAA	15.4	15.07	14.65	14.42	14.12	13.73	13.46	13.13
gCOD/m <sup>3</sup>	SSU	15.4	15.07	14.65	14.42	14.12	13.73	13.46	13.13
gCOD/m <sup>3</sup>	SFA	1809	1312	840.3	664.4	499.9	356.6	285.1	217.2
gCOD/m <sup>3</sup>	SI	13870	13930	14010	14050	14110	14200	14270	14380
gCOD/m <sup>3</sup>	XS	383.9	373.9	359.8	350.8	337.6	316.3	296.1	258.8
gCOD/m <sup>3</sup>	XD	78.75	80.41	82.47	83.53	84.69	85.48	84.99	81.08
gCOD/m <sup>3</sup>	XBAA	21.76	21.04	20.06	19.46	18.62	17.33	16.17	14.1
gCOD/m <sup>3</sup>	XBSU	8.789	8.48	8.054	7.795	7.426	6.863	6.358	5.482
gCOD/m <sup>3</sup>	XBFA	31.84	33.56	35.77	36.97	38.49	40.4	41.52	41.67
gCOD/m <sup>3</sup>	XBPRO	9.445	10.15	10.76	11.08	11.52	12.1	12.46	12.58
gCOD/m <sup>3</sup>	XBAC	25.85	27.27	29.26	30.45	32.06	34.23	35.72	36.74
gCOD/m <sup>3</sup>	XBH2	8.871	8.913	8.828	8.727	8.538	8.17	7.77	6.941
gCOD/m <sup>3</sup>	XI	27.73	31.77	38.76	43.91	52.52	69.09	87.97	130.5
g TSS/m <sup>3</sup>	XMI	1.891	1.985	2.15	2.272	2.474	2.882	3.445	5.558
m <sup>3</sup> /d	Flow rate	9.788	9.896	10.07	10.18	10.33	10.57	10.76	11.03

DQQt	17850.7	17077.911	16366.13	16072.425	15786.152	15545.035	15446.131	15403.483
DQObs	3383.765	2552.418	1762.3683	1429.703	1084.6883	755.07179	587.07302	435.59021
DQOnbs	13870	13930	14010	14050	14110	14200	14270	14380
DQObp	569.205	563.723	555.002	548.812	538.944	520.873	501.088	457.393
DQOnbp	27.73	31.77	38.76	43.91	52.52	69.09	87.97	130.5
DQOs	17253.765	16482.418	15772.368	15479.703	15194.688	14955.072	14857.073	14815.59
DQOp	596.935	595.493	593.762	592.722	591.464	589.963	589.058	587.893
DQOb	3952.97	3116.141	2317.3703	1978.515	1623.6323	1275.9448	1088.161	892.98321
DQOnb	13897.73	13961.77	14048.76	14093.91	14162.52	14269.09	14357.97	14510.5
DBOu	3616.177	2850.6458	2119.9304	1809.9455	1485.2988	1167.2343	995.4497	816.90104
DBO5	1422.8548	1121.6417	834.1276	712.15807	584.41955	459.27091	391.67894	321.42551
DQOb/DBO	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964
DBOp	204.88292	202.9097	199.77061	197.54255	193.9906	187.48602	180.3645	164.63667
DBOs	1217.9718	918.73202	634.35698	514.61552	390.42895	271.78488	211.31444	156.78885

## RESULTADOS DE DISEÑO PARA VINAZAS B2

V [=] m3		75	82	83	90	110	130	150	180
Unit	Id	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value
mol/m³	SH	5.368E-05	5.296E-05	5.287E-05	5.231E-05	0.0000512	5.048E-05	4.998E-05	4.946E-05
mg COD/m³	SH2	0.0878	0.08675	0.08662	0.08584	0.08438	0.08349	0.0829	0.0823
g COD/m³	SCH4	96.8	92.93	92.42	89.16	81.96	76.85	73.05	68.89
mol CO2/m³	SCO2	9.534	9.511	9.508	9.487	9.441	9.408	9.383	9.356
mol HCO3/m³	SHCO3	126.1	127.5	127.7	128.8	130.9	132.3	133.3	134.3
gN/m³	SNH4	1705	1723	1725	1738	1766	1784	1797	1810
gN/m³	SNH3	31.7	32.47	32.57	33.18	34.45	35.3	35.92	36.58
g COD/m³	SAC	138.3	129.9	128.9	123.2	113.7	108.5	105.3	102.2
gCOD/m³	SHAC	0.297	0.2751	0.2725	0.2578	0.2328	0.2192	0.2106	0.2022
gCOD/m³	SPRO	12.11	11.68	11.63	11.34	10.83	10.55	10.38	10.21
g COD/m³	SHPRO	0.03421	0.03256	0.03236	0.03122	0.02919	0.02804	0.0273	0.02657
gCOD/m³	SAA	12.88	12.81	12.8	12.75	12.66	12.6	12.56	12.52
gCOD/m³	SSU	12.88	12.81	12.8	12.75	12.66	12.6	12.56	12.52
gCOD/m³	SFA	176.5	166.5	165.3	158.2	145.2	137.6	132.6	127.6
gCOD/m³	SI	14470	14490	14500	14520	14560	14590	14610	14630
gCOD/m³	XS	212.5	195	192.6	177.6	144.2	120.6	103.3	84.65
gCOD/m³	XD	71.92	67.56	66.94	62.85	52.93	45.32	39.47	32.92
gCOD/m³	XBAA	11.6	10.65	10.52	9.711	7.904	6.621	5.679	4.663
gCOD/m³	XBSU	4.453	4.074	4.023	3.701	2.992	2.495	2.133	1.745
gCOD/m³	XBFA	38.73	36.91	36.63	34.78	29.95	26.01	22.87	19.28
gCOD/m³	XBPRO	11.77	11.24	11.16	10.61	9.171	7.984	7.035	5.941
gCOD/m³	XBAC	34.97	33.59	33.37	31.89	27.82	24.38	21.58	18.31
gCOD/m³	XBH2	5.805	5.356	5.294	4.902	4.013	3.373	2.9	2.386
gCOD/m³	XI	193	218.2	221.7	243.7	293	327.8	352.9	379.4
g TSS/m³	XMI	11.59	15.09	15.62	19.28	29.43	38.39	45.98	55.21
m³/d	Flow rate	11.27	11.34	11.35	11.41	11.55	11.66	11.76	11.89

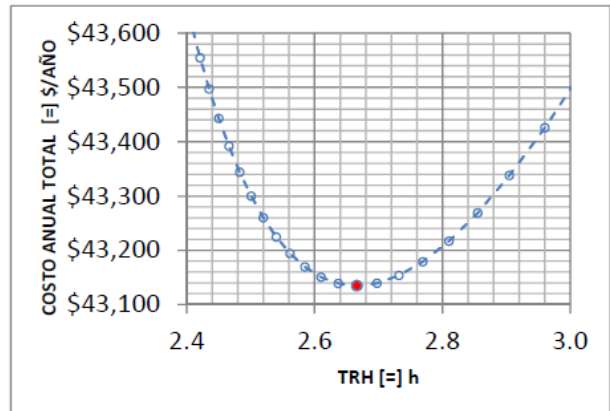
DQOt	15407.749	15406.588	15413.972	15418.273	15427.292	15436.68	15441.505	15444.574
DQObs	353.00121	334.00766	331.73486	318.52902	295.31199	282.09724	273.6379	265.27877
DQOnbs	14470	14490	14500	14520	14560	14590	14610	14630
DQObp	391.748	364.38	360.537	336.044	278.98	236.783	204.967	169.895
DQOnbp	193	218.2	221.7	243.7	293	327.8	352.9	379.4
DQOs	14823.001	14824.008	14831.735	14838.529	14855.312	14872.097	14883.638	14895.279
DQOp	584.748	582.58	582.237	579.744	571.98	564.583	557.867	549.295
DQOb	744.74921	698.38766	692.27186	654.57302	574.29199	518.88024	478.6049	435.17377
DQOnb	14663	14708.2	14721.7	14763.7	14853	14917.8	14962.9	15009.4
DBOu	681.29658	638.88503	633.2903	598.8034	525.36231	474.67164	437.82776	398.09696
DBO5	268.06931	251.38167	249.18032	235.61078	206.71396	186.76874	172.2718	156.63895
DQOb/DBO	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964	2.7781964
DBOp	141.00803	131.15703	129.77376	120.95761	100.41767	85.229035	73.777001	61.152984
DBOs	127.06129	120.22464	119.40655	114.65317	106.2963	101.5397	98.4948	95.485966

### Anexo 3: Fichas de costo e ingeniería básica

DATOS DE DISEÑO (MODELO 1) CÁRCAMO		
Qm	0.000144676	m <sup>3</sup> /s
P	86400	s
$\omega$	7.27221E-05	rad/s
$\Delta Q = 0.5 Qm$	7.2338E-05	m <sup>3</sup> /s
Altura de succión	0.198	m
Profundidad línea de proceso	1	m
Altura descarga a tratamiento	1	m
nb	0.75	Adim
nm	0.9	Adim
Porc. Costo de inst. bomba	92	%
No. de bombas	3	Und.
Cárcamo de sección rectangular		
Relación L2 / L1	1.2	m/m
Ancho de muro	0.3	m
Costo de excavación	70	\$/m3
Costo de inst. cimbra	394	\$/m2 sup.
Costo de inst. conc. y acero	7642	\$/m3 conc.
Condiciones de operación		
Tiempo de Op. Diaria	24	h/día
Días de Op. Anual	365	días/Año
Costo de E.E.	1.75	\$/kWh
Porc. Excedente Op. E.E.	10	%

TASA anual	25	%/anual
vida de proy.	15	años

$\Delta L$ [=] m	L1 [=] m	L2 [=] m
0.20	2.0	2.4
0.50	1.3	1.5
A [=] m <sup>2</sup>	Prof [=] m	POT [=] HP
5.0	1.60	0.4358
2.0	2.20	0.4358
TRH [=] h	TRH/TRH max.	CAT infra. [=] \$/AÑO
3.80	0.950	\$45,456.3
2.67	0.667	\$43,134.9
CAT infra./CAT min. Infra.		
1.054		
1.000		



DATOS DE DISEÑO UASB-VO		
Qm	0.0001447	m <sup>3</sup> /s
	0.008681	m <sup>3</sup> /min
Volumen de reactor	75	m <sup>3</sup>
Velocidad de ascensión	1	m/h
Altura de reactor	6	m
Area de sección trans. Reactor	12.50	m <sup>2</sup>
QT alimentado en fondo	0.003472	m <sup>3</sup> /s
	0.208333	m <sup>3</sup> /min
Profundidad de plantilla	1.5	m
Flujo de biogas	338.5	m <sup>3</sup> /d
Porc. Costo de inst. bomba	55	%
No. de bombas	3	Und.
Relación L2 / L1	1.5	m/m
Ancho de muro	0.45	m
Costo de excavación	70	\$/m <sup>3</sup>
Costo de inst. cimbra	394	\$/m <sup>2</sup> sup.
Costo de inst. conc. y acero	7642	\$/m <sup>3</sup> conc.
Costo separador GLS	28571.42	\$/m <sup>2</sup> sup.
Costo sis. Cal. Biogas	113235	\$
Costo sol. NaOH 10%	9.54	\$/L
Costo bomba dosi. 12gpd	20000	\$
Flujo NaOH para pH 7	0.019	L/min
No. de bombas dosi.	2	Und.
Condiciones de operación		
Tiempo de Op. Diaria	24	h/día
Días de Op. Anual	365	días/Año
Costo de E.E.	1.75	\$/kWh
Porc. Excedente Op. E.E.	10	%
Datos financieros		
TASA anual	25	%/anual
vida de proy.	15	años
Resultados de análisis		
V <sub>PLAN.</sub>	18.75	m <sup>3</sup>
TRH	144.00	h
POT	6.71	HP
CI1 BOM.	215,846.48	\$
CI2 BOM.	118,715.57	\$
CI3 REA.	357,142.75	\$
CI4 REA.	113,235.00	\$
L1	2.89	m
L2	4.33	m
Lti	14.43	m
Lte	18.03	m
At Cimbrado	194.81	m <sup>2</sup>
V Concreto.	73.07	m <sup>3</sup>
CI excavación.	1,312.50	\$
CI cimbrado.	76,753.20	\$
CI conc. y acero	558,371.47	\$
CI total	1,368,141.97	\$
CAE Ins.	354,508.66	\$/AÑO
CO anual.	189,146.20	\$/AÑO
CAT infra.	543,654.86	\$/AÑO

BOMBAS AC. INOX. CHEM. RES.		
W	HP	PESO IVA
3700	5.0	\$48,107.52
1500	2.0	\$33,541.63
2200	3.0	\$36,548.35
1500	2.0	\$32,606.21
750	1.0	\$15,835.39
750	1.0	\$15,501.31
400	0.5	\$14,164.99
400	0.5	\$14,432.26
2200	3.0	\$35,546.11

W	HP OP.	HP NOM.	PESO IVA	DN
400	0.44	0.54	\$15,262.02	2"
5500	6.71	7.38	\$71,948.83	3"
11000	13.41	14.75	\$133,081.66	4"

DN	MODELO	APLICACIÓN
2"	HCP-50SFU2.4A-0.5HP	CÁRCAMO
3"	HCP-80(100)SFP25.5-7.5HP	UASB-V
4"	HCP-80(100)SFP211-15HP	



- CI1 BOM. bombas
- CI2 BOM. tubería y difusores
- CI3 REA. separador GLS
- CI4 REA. calentador/antorcha biogas

DATOS DE DISEÑO UASB-VM	
Qm	0.0001447 m <sup>3</sup> /s
	0.008681 m <sup>3</sup> /min
Volumen de reactor	36 m <sup>3</sup>
Velocidad de ascensión	1 m/h
Altura de reactor	6 m
Area de sección trans. Reactor	6.00 m <sup>2</sup>
QT alimentado en fondo	0.001667 m <sup>3</sup> /s
	0.100000 m <sup>3</sup> /min
Profundidad de plantilla	1.5 m
Flujo de biogas	338.5 m <sup>3</sup> /d
Porc. Costo de inst. bomba	55 %
No. de bombas	3 Und.
Relación L2 / L1	1.5 m/m
Ancho de muro	0.45 m
Costo de excavación	70 \$/m <sup>3</sup>
Costo de inst. cimbra	394 \$/m <sup>2</sup> sup.
Costo de inst. conc. y acero	7642 \$/m <sup>3</sup> conc.
Costo separador GLS	28571.42 \$/m <sup>2</sup> sup.
Costo sis. Cal. Biogas	113235 \$
Costo sol. NaOH 10%	9.54 \$/L
Costo bomba dosi. 12gpd	20000 \$
Flujo NaOH para pH 7	0.019 L/min
No. de bombas dosi.	2 Und.
Condiciones de operación	
Tiempo de Op. Diaria	24 h/día
Días de Op. Anual	365 días/Año
Costo de E.E.	1.75 \$/kWh
Porc. Excedente Op. E.E.	10 %
Datos financieros	
TASA anual	25 %/anual
vida de proy.	15 años
Resultados de análisis	
V <sub>PLAN.</sub>	9.00 m <sup>3</sup>
TRH	69.12 h
POT	6.71 HP
C11 BOM.	215,846.48 \$
C12 BOM.	118,715.57 \$
C13 REA.	171,428.52 \$
C14 REA.	113,235.00 \$
L1	2.00 m
L2	3.00 m
Lti	10.00 m
Lte	13.60 m
At Cimbrado	141.60 m <sup>2</sup>
V Concreto.	48.42 m <sup>3</sup>
Cl excavación.	630.00 \$
Cl cimbrado.	55,790.40 \$
Cl conc. y acero	370,025.64 \$
Cl total	972,436.61 \$
CAE Ins.	251,974.73 \$/AÑO
CO anual.	189,146.20 \$/AÑO
CAT infra.	441,120.93 \$/AÑO

BOMBAS AC. INOX. CHEM. RES.		
W	HP	PESO IVA
3700	5.0	\$48,107.52
1500	2.0	\$33,541.63
2200	3.0	\$36,548.35
1500	2.0	\$32,606.21
750	1.0	\$15,835.39
750	1.0	\$15,501.31
400	0.5	\$14,164.99
400	0.5	\$14,432.26
2200	3.0	\$35,546.11

W	HP OP.	HP NOM.	PESO IVA	DN
400	0.44	0.54	\$15,262.02	2"
5500	6.71	7.38	\$71,948.83	3"
11000	13.41	14.75	\$133,081.66	4"



DN	MODELO	APLICACIÓN
2"	HCP-50SFU2.4A-0.5HP	CÁRCAMO
3"	HCP-80(100)SFP25.5-7.5HP	UASB-V
4"	HCP-80(100)SFP211-15HP	





- C11 BOM. bombas
- C12 BOM. tubería y difusores
- C13 REA. separador GLS
- C14 REA. calentador/antorcha biogas

## Anexo 4: Resumen de resultados de las pruebas de PBM, UDG.



### PBM Vinaza A2-SMM (sin nutrientes)

	Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías Universidad de Guadalajara		
	Análisis de Potencial Bioquímico de Metano (PBM)		
Nombre de la empresa:	ITESO		
Fecha de muestreo:	10/10/2022		
Fecha de entrega:	18/11/22		
<b>Resultados generales</b>			
Muestra:			
Remoción DQO	17.59		%
PBM	-5.99		NmL/gDQO adicionada
PBM	-3.04		NmL/gSV
PBM	-35.42		NmL/gDQO removida
Producción respecto al teórico	-10.12		% (NmLCH <sub>4</sub> /gDQOremov)
Productividad de metano	-0.45		NmLCH <sub>4</sub> /L*h
Elaboró:		Revisó:	
M. en C. Luis Alberto Briseño Zárate		Dra. Alma Lilia Toledo Cervantes	



### PBM Vinaza B2-SMM (sin nutrientes)

	Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías Universidad de Guadalajara		
	Análisis de Potencial Bioquímico de Metano (PBM)		
Nombre de la empresa:	ITESO		
Fecha de muestreo:	10/10/2022		
Fecha de entrega:	18/11/2022		
<b>Resultados generales</b>			
Muestra:			
Remoción DQO	17.46		%
PBM	-6.79		NmL/gDQO adicionada
PBM	-3.50		NmL/gSV
PBM	-39.38		NmL/gDQO removida
Producción respecto al teórico	-11.25		% (NmLCH <sub>4</sub> /gDQOremov)
Productividad de metano	-0.74		NmLCH <sub>4</sub> /L*h
Elaboró:		Revisó:	
M. en C. Luis Alberto Briseño Zárate		Dra. Alma Lilia Toledo Cervantes	

PBM Vinaza A2-CMM (con nutrientes)

	Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías Universidad de Guadalajara		
	Análisis de Potencial Bioquímico de Metano (PBM)		
Nombre de la empresa:	ITESO		
Fecha de muestreo:	10/10/22		
Fecha de entrega:	18/11/22		
<b>Resultados generales</b>			
<b>Muestra:</b>			
Remoción DQO	93.54		%
PBM	235.43		NmL/gDQO adicionada
PBM	122.15		NmL/gSV
PBM	251.63		NmL/gDQO removida
Produccion respecto al teórico	71.89		% (NmLCH4/gDQOremov)
Productividad de metano	10.62		NmLCH4/L*h
Elaboró:		Revisó:	
M. en C. Luis Alberto Briseño Zárate		Dra. Alma Lilia Toledo Cervantes	

PBM Vinaza B2-CMM (con nutrientes)

	Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías Universidad de Guadalajara		
	Análisis de Potencial Bioquímico de Metano (PBM)		
Nombre de la empresa:	ITESO		
Fecha de muestreo:	10/10/22		
Fecha de entrega:	18/11/22		
<b>Resultados generales</b>			
<b>Muestra:</b>			
Remoción DQO	89.33		%
PBM	222.50		NmL/gDQO adicionada
PBM	118.12		NmL/gSV
PBM	249.06		NmL/gDQO removida
Produccion respecto al teórico	71.16		% (NmLCH4/gDQOremov)
Productividad de metano	10.45		NmLCH4/L*h
Elaboró:		Revisó:	
M. en C. Luis Alberto Briseño Zárate		Dra. Alma Lilia Toledo Cervantes	