



Universidad
Nacional de
Ingeniería

Área del Conocimiento de Agricultura

DISEÑO TECNOLÓGICO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA PRODUCCIÓN DE UN BIOFERTILIZANTE A PARTIR DE LA BACTERIA *BACILLUS MEGATERIUM* SOLUBILIZADORA DE FOSFATO EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA.

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Químico.

Elaborado por:

Tutor:

Br. Adriana Isabel
Acevedo Montano
2015-0986U

Br. María Guadalupe
Sánchez Téllez
2018-1130U

MGPD. Ing. Silvano Enrique
Cruz Sánchez.

14 de mayo 2024
Managua, Nicaragua

I. RESUMEN.....	4
II. INTRODUCCIÓN.....	5
III. OBJETIVOS	7
3.1 Objetivo General.....	7
3.2 Objetivos específicos.....	7
IV. MARCO TEÓRICO	8
4.1 Biofertilizantes	8
4.1.1 Aplicación de los Biofertilizantes	8
4.2 Solubilización de Fosfato.....	9
4.2.1 Fósforo Inorgánico	9
4.2.2 Fósforo Orgánico	9
4.2.3 Ciclo del Fósforo	10
4.3 Importancia de los Biofertilizantes Microbianos	11
4.3.1 Tipos de Biofertilizantes Microbianos	11
4.4 Bacillus Megaterium	12
4.4.1 Características generales de Bacillus Megaterium.....	13
4.4.2 Morfología Bacteriana	14
4.4.2.1 Microscópica.....	14
4.4.2.2 Macroscópica.....	15
4.4.3 Taxonomía.....	16
4.4.4 Ruta Metabólica.....	16
4.4.5 Mecanismo de Acción.....	17
4.4.6 Siembra e Inoculación del Microorganismo.....	17
4.5 Melaza	18
4.6 Planta a escala Piloto	19
4.7 Biofertilizante a escala Piloto	20
4.7.1 Definición del Producto	20
4.8 Estimación de las variables y parámetros del proceso fermentativo	20
4.8.1 pH.....	21
4.8.2 Humedad	21
4.8.3 Temperatura	21
4.8.4 Fósforo Orgánico	22
4.8.5 Tasa de crecimiento y tiempo de generación	22
4.10 Consideraciones para el diseño tecnológico.....	23
4.11. Análisis de Costos para el montaje del proceso	35
4.11.1 Estimación del capital de inversión	36
4.11.2 Equipos y estimación de instalación de equipos	36

4.11.3 Instrumentación y controles	37
4.11.3.1 Tuberías.....	37
4.11.3.2 Instalación eléctrica.....	38
4.11.4 Servicios auxiliares.....	38
4.11.4.1 Terreno	38
4.11.5 Gastos de construcción	39
4.11.5.1 Honorarios de los contratistas y contingencia	39
4.11.6 Estimación del capital de trabajo	39
4.11.7 Costos de producción.....	40
4.11.7.1 Materias Primas	40
4.11.7.2 Materiales de Producción.....	41
4.11.7.3 Servicios Auxiliares	41
4.11.7.4 Servicios y mantenimiento	41
4.11.7.5 Suministros y regalías.....	41
4.11.7.6 Depreciación.....	42
4.11.7.7 Costo de Inversión Total	42
V. METODOLOGÍA	43
5.1 Macro localización del proyecto.....	43
5.2 Capacidad de producción de la planta piloto	43
5.3 Proceso de Producción del Biofertilizante.....	44
5.4. Balance de Masa y Energía.....	48
5.5. Selección de los equipos para la producción de biofertilizante.	49
5.5.1 Capital fijo total	49
5.5.1.2 Costos fijos de producción	51
VI. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	54
6.1 Micro Localización del proyecto.....	54
6.2 Variables y parámetros del proceso de producción	54
6.3 Capacidad de producción.....	55
6.4 Balance de materia	55
6.2 Características de los equipos y auxiliares del proceso de producción.....	57
6.3 Costo total de equipos y auxiliares	62
VII. CONCLUSIONES	65
VIII. RECOMENDACIONES	66
IX. BIBLIOGRAFÍA	67
X. Anexos	70

ÍNDICE DE FIGURA

FIGURA 1. CICLO DEL FÓSFORO	10
FIGURA 2. DISTINTAS FORMAS BACTERIANAS	15
FIGURA 3. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO ÓPTIMO	25
FIGURA 4. FONDO KLOPPER.....	27
FIGURA 5. DIMENSIONES ESTÁNDAR DE AGITADORES	28
FIGURA 6. POTENCIA DE AGITADORES.....	29
FIGURA 7. BOMBA CENTRÍFUGA	35
FIGURA 8. UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA-RUSB	43
FIGURA 9. UBICACIÓN DE LA PLANTA PILOTO UNI-RUSB	54
FIGURA 10. RESULTADO DEL BALANCE DE MATERIA.....	55
FIGURA 11. FLUJO DE PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOFERTILIZANTE.....	56

ÍNDICE DE TABLA

TABLA 1. PRINCIPALES TIPOS DE BIOFERTILIZANTES.	12
TABLA 2. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL POR 100 G DE MELAZA	18
TABLA 3. PARÁMETROS DE DISEÑO PARA TANQUE	24
TABLA 4. COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS	36
TABLA 5. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE TUBERÍAS	37
TABLA 6. TÍPICAS VARIACIONES EN EL PORCENTAJE DEL CAPITAL DE INVERSIÓN PARA INGENIERÍA Y PLANTA	39
TABLA 7. CLASIFICACIÓN DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN	40
TABLA 8. VARIABLES DE OPERACIÓN EN EL PROCESO FERMENTATIVO	46
TABLA 9. VARIABLES Y PARÁMETROS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN	54
TABLA 10. ESTIMACIÓN DE LA INVERSIÓN EN EQUIPOS Y AUXILIARES	62
TABLA 11. ESTIMACIÓN DE LA INVERSIÓN DE CAPITAL FIJO	62
TABLA 12. COSTO DE INSUMOS	63
TABLA 13. COSTO DE MANO DE OBRA	63
TABLA 14. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE PRODUCCIÓN	64

I. RESUMEN

En el estudio se determinó que existe una gran cantidad de microorganismos capaces de producir productos biotecnológicos agrícolas para aumentar y mejorar la producción de cultivos y que resisten al ataque de determinados insectos; como es el caso de la bacteria *Bacillus Megaterium* solubilizadora de fosfato.

Dicha bacteria es parte del banco de microorganismos del Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI-PIENSA), así mismo, se cuenta con un equipo fermentador con capacidad de 240 litros que se propone ser parte de la planta piloto de biofertilizante.

Realizado la descripción del proceso de producción y, el balance de materia y energía, se seleccionaron 5 equipos y auxiliares de acuerdo con el volumen de producción, siendo estos: marmita, filtro prensa, bombas, tanques de almacenamiento y compresor de aire; para una inversión de USD 5,606.19.

La infraestructura de la planta piloto se propone entre los edificios del laboratorio de operaciones unitarias y del laboratorio de bromatología (en construcción). La inversión de capital fijo se estimó en USD 33,494.45 con un costo anual de producción igual a USD 17,547.55.

II. INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha surgido una tendencia hacia la producción limpia, cuyo fin es reducir el uso de fertilizantes químicos para la fertilización y control de fitopatógenos que producen pérdidas agronómicas en los cultivos, la mayor parte de producción de granos básicos como: frijol, maíz y arroz, los cultivos de ajonjolí y sorgo, con gran potencial de exportación, hace cada vez más necesario poner a disposición semillas mejoradas de calidad; un buen manejo agronómico, es implementar alternativas y prácticas agroecológicas y dar acompañamiento técnico, con el fin de aportar al incremento de los rendimientos productivos (Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional [GRUN], 2022) .

La producción nacional de frijol y maíz abastecen el 100% del consumo nacional; sin embargo, aún debe fortalecerse el acceso a tecnologías para la producción, cosecha y postcosecha; así como de semilla de buena calidad genética según la normativa NTON 11006-02 (INTA,2004). Por lo que, el alto costo de los fertilizantes agrícolas limita que los productores se abastezcan de este tipo de insumos, lo cual nos conlleva a fortalecer la actividad agrícola en las fincas de los pequeños y medianos productores para que finalmente se pueda traducir en incremento de la productividad.

En las últimas seis décadas, la aplicación de fertilizantes químicos ha desempeñado un papel crucial a nivel mundial para aumentar el rendimiento y el mantenimiento de los cultivos, así como el suministro adecuado de alimentos. (Chaudhary, 2017). Los fertilizantes químicos han causado problemas, incluidos la contaminación atmosférica y subterránea, la acidificación del suelo, la eutrofización, la disminución de la fertilidad, la pérdida de biodiversidad y el alto consumo de energía en los procesos de síntesis. En este contexto, se han realizado grandes esfuerzos para reemplazar los fertilizantes químicos por biofertilizantes amigables con el medio ambiente (Mikhak, 2017).

Los biofertilizantes son una alternativa que permite brindar a las plantas los nutrientes necesarios para su desarrollo y reducir los costos de producción por la disminución de las tasas de aplicación de fertilizantes sintéticos, lo que indirectamente mejora la calidad ambiental (Castilla, 2006). Estos fertilizantes biológicos son producidos gracias a la selección de microorganismos benéficos

presentes en los suelos, conocidos como microorganismos promotores de crecimiento vegetal o PGPM (Plant Growth Promoting Microorganisms) Solubilizadores de Fostato (Beare, 1997), algunos de estos microorganismos muestran alta eficiencia a la hora de proveer los nutrientes necesarios para las plantas en formas realmente disponibles y asimilables debido a una serie de transformaciones químicas (Kadiri, 2013).

Producir un biofertilizante con un diseño tecnológico productivo apropiado pretende añadir alta precisión y especialización del tipo de microorganismo a utilizar. Además, de sistematizar su preparación y el modo de uso para potenciar las practicas agroecológicas (Bizzozero, 2006).

La presente investigación se enfocará en el diseño tecnológico de una planta piloto para obtener un biofertilizante a partir de la bacteria "*Bacillus megaterium*" solubilizadora de fosfato con ubicación en la Universidad Nacional de Ingeniería.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

- Realizar un diseño tecnológico de una planta piloto para la producción de un biofertilizante a partir de la bacteria *Bacillus Megaterium* solubilizadora de fosfatos en la Universidad Nacional de Ingeniería.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar las variables y parámetros en cada etapa del proceso de producción de un biofertilizante a partir de la bacteria *Bacillus Megaterium* solubilizadora de fosfatos.
- Seleccionar los equipos e instrumentación a escala piloto para la producción de un biofertilizante a partir a partir de bacteria *Bacillus Megaterium* solubilizadora de fosfatos.
- Estimar la inversión de capital fijo y el costo de producción para la operación de una planta piloto de biofertilizante a partir de la bacteria *Bacillus Megaterium* solubilizadora de fosfatos en la Universidad Nacional de Ingeniería.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1 Biofertilizantes

Los Biofertilizantes son insumos biológicos que pueden sustituir total o parcial a los fertilizantes sintéticos. Los inóculos se definen como un producto elaborado a base de uno o más cepas de microorganismo, estos son benéficos al aplicarse al suelo o las semillas ya que promueven el crecimiento vegetal o favorecen el aprovechamiento de los nutrientes. Esto incluye en los productos elaborados las micorrizas, rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal y bacterias de fosfatos solubilizadoras (ICA, 2011).

Se considera que un inoculante biológico es la preparación de microorganismo que pueden sustituir total o parcialmente a los fertilizantes químicos (Roveda, 2007). Estos inoculantes se pueden aplicar en suelos con deficiencia de nutrientes altas o bajas de microorganismo con baja capacidad de colonización o que sus poblaciones se hayan reducido por la degradación del suelo.

En los últimos años se ha estudiado y evaluado la acción de los biofertilizantes con microorganismo que participan en la solubilización del fósforo a través de bacterias presente en el suelo, fijación de nitrógeno y hongos formadores de micorrizas que ayudan a la absorción de nutrientes y agua.

4.1.1 Aplicación de los Biofertilizantes

Existen muchas formas de aplicar el biofertilizante formulado en el suelo y estas son (Bashan, 2014):

- Inoculación de semillas con formulaciones en polvo.
- Biofertilizantes secos mezclados con las semillas en la tolva de semillas.
- Método de rociado (una pequeña cantidad de agua mezclada con semillas antes de agregar y mezclar el polvo de turba).
- Método de suspensión (el biofertilizante se suspende en agua, luego se agrega a las semillas y se mezcla).
- Sedimentación de semillas.

- El biofertilizante y el adhesivo se aplican como suspensión a las semillas y se recubren con material molido como cal.
- Suspensión de turba en agua rociada en el surco durante la siembra.
- Tratamiento de semillas o inoculación de semillas.
- Aplicación de suelo.

4.2 Solubilización de Fosfato

La solubilización de fosfatos es una de las funciones que se ha convertido en tema de investigación por su importancia para la agricultura. Entre los géneros bacterianos que poseen esta cualidad se destacan *Bacillus sp*, *Stenotrophomonas sp*, *Burkholderia sp*, *Pseudomonas sp*, *Rhizobium sp*, *Vibrio proteolyticus*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacae* y *Streptomyces sp*, entre otros. La habilidad para solubilizar los fosfatos está presente en microorganismos como bacterias, levaduras y hongos de vida libre relacionados con el incremento de fósforo disponible en el suelo. A través de las aplicaciones de los biofertilizantes a base de microorganismos solubilizadores de fosfatos, la disponibilidad de fósforo puede incrementarse y el producto de su acción (fosfatos solubles) puede ser absorbido eficientemente por las plantas (Rodríguez, 2002).

4.2.1 Fósforo Inorgánico

Está representado por el fósforo presente en minerales primarios como las apatitas, hidroxiapatitas y oxiapatitas, este no es asimilable por las plantas ya que es insoluble y difícilmente solubilizable, por ello se realiza procesos de intercambio a una velocidad muy lenta. Algunas bacterias solubilizan el fósforo inorgánico a través de la producción de ácidos orgánicos, como ácido glucónico el cual libera fosfatos y cationes al suelo que son fácilmente asimilables (Bobadilla C, 2008).

4.2.2 Fósforo Orgánico

Las principales formas del fósforo orgánico son el fosfato de inositol, los ácidos nucleicos y fosfolípidos. El fósforo orgánico, que se encuentra en restos vegetales y animales, es degradado por microorganismos del suelo, hidrolizan el

fósforo orgánico mediante enzimas, liberando el fosfato, asimilable por las plantas (Bobadilla, 2008).

4.2.3 Ciclo del Fósforo

El fósforo es el segundo nutriente más importante en el desarrollo y crecimiento de las plantas y microorganismos en el suelo. Su principal función fisiológica es la contribución en el aumento de la biomasa en los seres vivos, la obtención de micronutrientes, los procesos metabólicos de transferencia de energía, la transducción de señales, la biosíntesis de macromoléculas, la fotosíntesis y las reacciones de respiración en cadena. A pesar de ser muy abundante en la corteza terrestre, solo se encuentra en pequeñas proporciones para los vegetales, por lo que, si se desea aumentar la producción de estos cultivos, se les debe suministrar fósforo incluido en los Biofertilizantes amigables, ya que evitan la degradación y mejora la calidad de los recursos internos.

Como se observa en la figura 1, el depósito principal está constituido por rocas fosfóricas. El ciclo comienza con los iones de fosfatos disueltos, las plantas lo absorben a través de sus raíces y lo distribuyen en todas las células. A su vez, los animales lo adquieren al ingerir los vegetales. Al morir las plantas y los animales a través de sus excretas liberan fósforo insoluble y las bacterias que solubilizan fosfato transforman el fósforo en fosfatos inorgánicos disueltos, una parte de dichos fosfatos son arrastrados al mar, los cuales descenden hasta el fondo y forman rocas, la otra parte de estos fosfatos lo toman las algas, las aves marinas y los peces siendo finalmente ingeridos por los seres humanos con lo cual se completa el ciclo.



Figura 1. Ciclo del Fósforo

Fuente (Moreno, 2013)

4.3 Importancia de los Biofertilizantes Microbianos

Un papel importante para las plantas juega las bacterias benéficas del suelo, ya que al asociarse con ellas les permiten, por una parte, aumentar su crecimiento y desarrollo y, por otra, las protegen contra otros organismos del suelo que causan enfermedades. Ecológicamente, a esta relación benéfica entre las bacterias y las plantas se le denomina "mutualismo", el cual se define como la condición en la que dos seres vivos de diversas especies viven juntos habitualmente (pero no necesariamente), con beneficio recíproco para el hospedero (planta) y el simbiote (bacteria).

Los microorganismos desarrollan sus funciones bajo la influencia de las raíces de las plantas, la raíz además de las funciones de anclaje, absorción, transporte de agua y nutrientes al sistema vascular, pone a la planta en contacto con la rizosfera, es decir, la zona del suelo que rodea a las raíces de las plantas donde abundan los microorganismos especialmente en la región del crecimiento en la raíz donde se da un flujo de compuestos orgánicos que sirven a los microorganismos como fuente de carbono (Loredo. 2007). Armenta (2010), describen que los microorganismos empleados en los biofertilizantes se agrupan en aquellos que:

- a)** Tienen capacidad para sintetizar sustancias que promueven el crecimiento de las plantas, a través de varios procesos como fijación de N_2 atmosférico, solubilización de Fe y Fósforo inorgánicos, incrementan la tolerancia al estrés por sequía, salinidad, metales tóxicos y exceso de plaguicidas.
- b)** Son capaces de disminuir o prevenir los efectos de organismos patógenos.
- c)** Cumplen ambas funciones que promueven crecimiento e inhiben efectos de patógenos.

4.3.1 Tipos de Biofertilizantes Microbianos

En la tabla 1 se muestran los tipos de biofertilizantes que existen y algunos de los principales microorganismos que se utilizan para conformarlos de acuerdo con sus funciones (Afanador, 2017).

Tabla 1. Principales tipos de biofertilizantes.

Fijadores N ₂	Microorganismos fijadores de fosfato	PGPR (Plant growth-promoting rhizobacteria)	Movilizadores de fosfato (micorrizas)	Movilizadores de zinc y potasio
Vida libre:	<i>Aspergillus niger</i> (no virulento)	<i>Azotobacter</i>	<i>Glomus spp.</i>	
<i>Achromobacter</i>	<i>Trichoderma spp.</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Entrophospora</i>	<i>Pseudomonas</i>
<i>Acetobacter</i>	<i>Paecilomyces spp.</i>	<i>Agrobacterium</i>	<i>Acaulospora spp.</i>	<i>Bacillus spp.</i>
<i>Alcaligenes</i>	<i>Bacillus circulans</i>	<i>Erwinia</i>	<i>Escutellaspera</i>	<i>Rhizobium spp.</i>
<i>Arthrobacter</i>	<i>Bacillus coagulans</i>	<i>Alcaligenes</i>	<i>Glomus spp.</i>	Potasio:
<i>Azotobacter</i>	<i>Torulospora globasa</i>	<i>Arthrobacter</i>		<i>Bacillus spp.</i>
<i>Cyanobacteria</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pseudomonas</i>		<i>Pseudomonas</i>
<i>Azospirillum</i>	<i>Thiobacillus (SOM)</i>	<i>Rhizobium</i>		
Simbióticos:	<i>Aspergillus niger</i> (no virulento)	<i>Streptomyces</i>		
<i>Rhizobium spp</i> <i>Bradyrhizobium spp.</i>		<i>Xanthomonas</i>		
<i>Azolla</i>				
Simbióticos:				
<i>Rhizobium spp.</i>				
<i>Bradyrhizobium spp.</i>				
<i>Azolla</i>				

Fuente: (Afanador, 2017).

4.4 *Bacillus Megaterium*

Bacillus megaterium pertenece al grupo de bacterias denominadas PSB (Phosphate Solubilizing Bacteria), es decir que es capaz de solubilizar el fósforo mineral haciéndolo accesible a la planta, lo han descrito como agente de biocontrol capaz de ejercer un papel protector frente a determinados patógenos vegetales. Es importante en la industria de la biotecnología debido a su tamaño y facilidad de manejo, además de capacidades enzimáticas ayudan a producir

penicilina sintética, modificando corticosteroides y varias deshidrogenasas de aminoácidos (Hayden, 2000).

Por otra parte, esta es una bacteria que se encuentra principalmente en el suelo, pero también se ha identificado en diversos ambientes como arrozales o alimentos secos, agua de mar, sedimentos, pescado o incluso en la miel de abeja.

Su actividad promueve la absorción de fósforo y evita desequilibrios nutricionales a través de una absorción coordinada de macronutrientes (fósforo y azufre) y micronutrientes (hierro y zinc) por la planta. Interviene en varias rutas metabólicas de la planta debido a la gran cantidad de fósforo bio-transformado que sus componentes liberan del suelo hacia la planta. Los microorganismos que componen el formulado producen varias enzimas como fosfatasas ácidas y alcalinas, fitasas (que hidrolizan el fitato, una de las formas orgánicas de fósforo más comunes en los tejidos vegetales) y estearasas vinculadas con la degradación de los fosfolípidos.

4.4.1 Características generales de *Bacillus Megaterium*.

Bacillus megaterium crece a temperaturas de 3°C a 45°C, con un óptimo alrededor de los 30°C. Se encontró que algunos aislados de un lago geotérmico antártico crecían a temperaturas de hasta 63°C. Ha sido reconocido como un endófito y es un agente potencial para el biocontrol de enfermedades de las plantas. Se ha demostrado la fijación de nitrógeno en algunas cepas de *Bacillus megaterium*.

Además, se utiliza para la producción de piruvato, vitamina B12 y moléculas con propiedades fungicidas y antivirales. Varios de estos compuestos bioactivos son lipopéptidos cíclicos, pertenecientes a las familias de lipopéptidos de surfactina, iturina y fengicina, que también son producidos por varias otras especies de *Bacillus* (Kang. 2013).

Se sabe que *Bacillus megaterium* produce ácido poli- γ -glutámico. La acumulación del polímero aumenta considerablemente en un entorno salino (2–10 % de NaCl), en el que el polímero se compone en gran parte de L-glutamato

(contenido de L-isómero de hasta el 95 %). Al menos una cepa de *Bacillus megaterium* puede considerarse halófila, ya que se ha observado crecimiento en hasta un 15 % de NaCl (Bergey's, 2009).

Filogenéticamente, con base en el ARNr 16S, *Bacillus megaterium* está fuertemente relacionado con *Bacillus flexus*, este último se distinguió de *Bacillus megaterium* hace un siglo, pero solo recientemente se confirmó como una especie diferente. *Bacillus megaterium* tiene un contenido plásmido complejo, así como algunas similitudes fenotípicas y filogenéticas con los patógenos *Bacillus anthracis* y *Bacillus cereus*, aunque en sí mismo es relativamente inofensivo (Khan. 2011).

4.4.2 Morfología Bacteriana

4.4.2.1 Microscópica

La forma de las bacterias al microscopio está determinada por la rigidez de su pared celular. Básicamente, se diferencian según su forma en cocos (esféricas u ovaladas), bacilos (cilíndrica o de bastones; rectos o curvos) y espirilos (espiral) Figura 2 las bacterias pueden mantenerse unidas unas con otras después de la división celular, pero conservando siempre la independencia celular. Si el plano de división es único, podemos encontrar diplococos o cocos en cadena (microorganismos del género *Streptococcus*). Si los planos de división son muchos, los cocos pueden agruparse en tétradas o en racimos (*Staphylococcus*). Los bacilos pueden ser muy cortos (cocobacilos) o muy largos. Sus extremos pueden ser redondeados o rectos; pueden estar aislados, en cadenas, en filamentos o formando letras chinas (*Corynebacterium*). Los bacilos curvos pueden tener forma de coma (*Vibrio cholerae*) (Pírez & Mota, 2006).

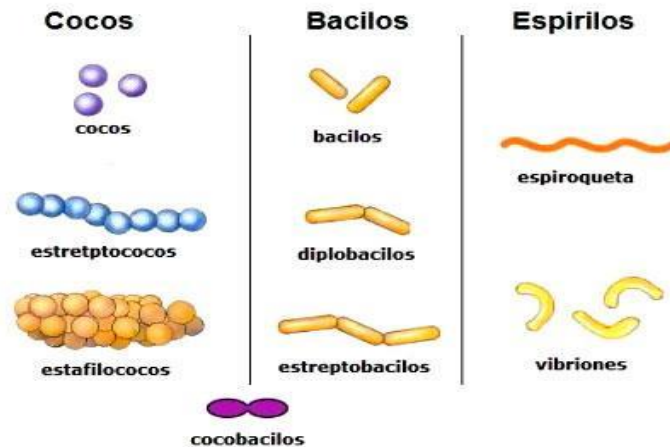


Figura 2. Distintas formas bacterianas

Fuente: (Bravo, 2014)

La morfología bacteriana debe ser observada con el microscopio óptico o el microscopio electrónico, dado el tamaño pequeño de estos microorganismos. El más usado en el laboratorio es el microscopio óptico de campo claro.

Las bacterias pueden observarse sin tinción (examen en fresco) si se las coloca en glicerol o soluciones no acuosas que aumenten el índice de refracción o con tinción usando distintas coloraciones que mejoran su visualización ya que son células incoloras. Dichas tinciones se basan en la afinidad que presentan los colorantes por las estructuras bacterianas.

4.4.2.2 Macroscópica

La mayoría de las bacterias se multiplican rápidamente y son visibles como colonias cuando se las siembra en medios de cultivo sólidos adecuados. Requieren una incubación de aproximadamente 24 horas en una atmósfera que favorezca su desarrollo, a temperatura óptima. Las colonias pueden caracterizarse, según su:

- Forma: circular (*Staphylococcus*), irregular o filamentosa (*Bacillus*).
- Borde: ondulado (característico de los bacilos largos como *Bacillus anthracis*), en sierra o dentados (*Yersinia pestis*) o lisos (por ejemplo, *Escherichia coli*).
- Superficie: plana, convexa, mamelonada, umbilicada.

- Comportamiento frente a la luz: brillante (*Streptococcus*) u opaca (*Staphylococcus*).
- Pueden presentar olores particulares como el frutal de *P. aeruginosa* o el putrefacto de los anaerobios.
- Consistencia: mucoide (M), liso (S) o rugoso (R).

4.4.3 Taxonomía

Taxonómicamente, el género *Bacillus* está ubicado en el Phylum Firmicutes, Clase Bacilli, Orden Bacillales, Familia Bacillaceae. Christian Gottfried Ehrenberg usó este género en 1835 para agrupar a las bacterias en forma de bastón.

Ferdinand Cohn, en 1872, redefinió el grupo como bacterias formadoras de esporas, resistentes al calor, Grampositivas y aerobias o anaerobias facultativas. La especie tipo del género es *Bacillus megaterium*.

Los investigadores determinaron en 1991 que el género *Bacillus*, tal como había sido tratado hasta la fecha, era polifilético. Por lo cual realizaron un reordenamiento del grupo *Bacillus* sensu lato, del cual fueron extraídos cinco nuevos géneros.

4.4.4 Ruta Metabólica

La actividad enzimática de esta bacteria permite transformar distintos compuestos que paulatinamente alteran el equilibrio de la capa edáfica algunos estudios reportan que el metabolismo de *Bacillus Megaterium* ha sido empleado en la degradación de herbicidas de amplio espectro como la mesotriona, para la validación de estos hallazgos se requiere mayor investigación sobre las enzimas catabólicas y los genes que facultan dicho proceso (Vary, 2027).

La bacteria es versátil porque, sumado a su arsenal de enzimas usuales para los microorganismos Gram positivos, posee otras enzimas infrecuentes para su género; esto le brinda una plasticidad metabólica, que se traduce en una notable facultad de supervivencia en diversos medios y nichos ecológicos. Su capacidad para metabolizar diferentes compuestos rivaliza con el género *Pseudomonas*. (Vary, 2007). Ha sido clasificada como una bacteria esporulante aeróbica

estricta, ubicada filogenéticamente a la misma distancia tanto de *Bacillus Megaterium* como de *Bacillus cereus* (Priest, 1988).

4.4.5 Mecanismo de Acción

La bacteria *Bacillus megaterium* es una buena fuente de proteínas industriales porque es un hospedador de clonación deseable y produce una gran variación de enzimas. Esta especie es un buen huésped de clonación porque alberga numerosos vectores plasmídicos mientras permanece estable por sus proteasas externas únicas.

El organismo no tiene proteasas alcalinas; lo que permite la síntesis de proteínas recombinantes. El uso científico de *Bacillus megaterium* ha desarrollado numerosas proteínas que se utilizan comúnmente en el campo médico y agrícola (Hollmann, 2006).

4.4.6 Siembra e Inoculación del Microorganismo

El cultivo de los Microorganismos se realiza para proporcionar las condiciones fisicoquímicas y nutritivas adecuadas para que puedan crecer y multiplicarse de forma controlada, los medios de cultivo e instrumentos deben estar esterilizados y trabajar fuera de toda corriente de aire o fuente de contaminación, utilizando un mechero o bien flujo laminar para crear un ambiente estéril (Mendez-Úbeda, 2018).

Existen diferentes tipos de siembra de microorganismo de acuerdo con el medio utilizado y los requerimientos del microorganismo a estudiar, según Oberá (2005) son los siguiente:

- Siembra de Inmersión: Es un método utilizado para microorganismo aerobios, la siembra en superficies se realiza vertiendo sobre una placa Petri el medio de cultivo fundido, dejándolo solidificar y colocando sobre la superficie el inóculo.
- Siembra en superficie: Es un método de cultivo de microorganismo que se recomienda para microorganismo aerobios estrictos. El medio se vierte sobre una placa Petri, se funde para solidificar y se coloca sobre la

superficie el inóculo, con ayuda de un asa drigalsky se extiende el inóculo hasta su absorción total por el medio de cultivo.

- Siembra por estrías: Este método consiste en verter el medio sobre una placa Petri y dejarlo gelificar, se trazan cuatros puntos cardinales sobre la placa y se trazan estrías perpendiculares lo más separadas posibles para identificar diferentes morfologías en el crecimiento del microorganismo.

4.5 Melaza

En el metabolismo aerobio, los microorganismos requieren, además, del oxígeno, de una fuente de carbono orgánico, agua, fósforo, nitrógeno y otros nutrientes. El medio también debe tener una temperatura y un pH adecuado en el cual las bacterias puedan crecer y proliferar; de esta manera, el bioproceso será rápido y altamente efectivo (Jiménez, 2014).

En Nicaragua la utilización de melaza como medio de cultivo no sintético es ideal, debido a que posee bajo costo de adquisición en el mercado nacional. Pashova (1995), caracterizó la melaza nacional demostrando que estas poseen concentraciones de nutrientes, ideales para el desarrollo de bacterias, levaduras y hongos. En su estudio demostró que la composición de la melaza incluye diversas características fisicoquímicas que la favorecen como materia prima para procesos biotecnológicos.

Arnaldoa (2019), determinó en sus estudios de medios no sintético que la melaza cuenta con los nutrientes necesarios para ser considerada un medio de cultivo no sintético. Pero un factor importante a considerar es el porcentaje de azúcares reductores contenido en este, ya que resultados inferiores a un 3 % inhibirían el crecimiento microbiano y un porcentaje mayor al 6 % lo haría de igual forma, estableciendo en sus conclusiones que el medio no sintético a partir de melaza es óptimo. En la tabla 2, se presenta los procesos fermentativos en base a porcentaje que favorece el crecimiento de los microorganismos y la producción de metabolitos.

Tabla 2. Composición nutricional por 100 g de melaza

Composición	Cantidad (gr)	CDR (%)
Kcal	242	12.60%

Carbohidratos	69.6	22.40%
Proteínas	2.4	5%
Fibra	0	0%
Grasas	0.1	0.20%
Minerales	Cantidad (mg)	CDR (%)
Sodio	43	2.70%
Calcio	218	18.20%
Hierro	6.7	83.80%
Magnesio	0	0%
Fosforo	45%	6.40%
Potasio	1238	61.90%

Fuente: (Noriega, 2014).

4.6 Planta a escala Piloto

Una planta piloto es a escala reducida, una idea potencialmente valiosa que indica medidas breves, de fácil uso, fiable y válida, al operar una planta piloto obtenemos información sobre un proceso físico o químico que permite determinar si el proceso es técnica y económicamente viable, así como los parámetros de operación óptimos de dicho proceso para luego crear el diseño de este.

Los estudios de escala piloto resultan de especial importancia para el cambio de escala, pero poseen un alto costo y la decisión de su realización debe considerar un conjunto de factores entre los cuales se destacan (González, 2017):

- 1) Tipo de proceso.
- 2) Nivel de información disponible.
- 3) Tamaño propuesto para la unidad industria.

El uso de las plantas de proceso a escala piloto tiene como principales propósitos (Anaya, 2008):

- Predecir el comportamiento de una planta a nivel industrial, operando la planta piloto a condiciones similares a las esperadas. En este caso los datos obtenidos serán la base para el diseño de la planta industrial.
- Servir como modelo teniendo como función principal mostrar los efectos de los cambios en las condiciones de operación de manera más rápidos y económicos.

4.7 Biofertilizante a escala Piloto

La producción de un biofertilizante debe de ser factible a escala piloto, que asegure el comportamiento del microorganismo solubilizador de fosfatos, gran parte de esto requiere un análisis cuidadoso de cada una de las partes del proceso, tanto en sus variables fisicoquímicas como biológicas.

4.7.1 Definición del Producto

El producto es un biopreparado a base de *Bacillus Megaterium*, con una concentración de celular/ml que será empleado como biofertilizante para sustituir los fertilizantes químicos, el Biofertilizante esta caracterizado como un bien de consumo final, con larga vida útil no se extingue a medida que se utiliza en los cultivos agrícolas, ya que las bacterias contenida en el inoculante se estable y se multiplican en el suelo para formar poblaciones elevadas, capaces de producir sustancias fisiológicamente activas, que permita su utilización por las plantas y que la bacteria se alimente en el suelo de los nutrientes que le suministre a la planta, entre las ventajas de este tipo de productos es que no contamina el ambiente y además su proceso es sencillo lo que resulta benéfico para el país y las vías de desarrollo (O'Connor, 2019).

En la norma técnica obligatoria nicaragüense NTON 11 048-16 Insumos Agrícolas. Bío insumos y Sustancias Afines. Requisitos de Registro se establecen las obligaciones para la comercialización de este tipo de productos.

4.8 Estimación de las variables y parámetros del proceso fermentativo

Los parámetros de fermentación para la producción y actividad fosfatasa del biofertilizante es influenciada por los siguientes factores:

4.8.1 pH

La velocidad de mineralización del fosfato orgánico se relaciona positivamente al pH del suelo, las enzimas son proteínas, los cambios bruscos de pH alteran el carácter iónico de los grupos amino y carboxilo en la superficie proteica, afectando las propiedades catalíticas de una enzima. El pH alto o bajo puede desnaturalizar la enzima y por coincidente inactivarse. La fosfatada ácida es más activa a pH 5,0 mientras la fosfatada alcalina lo es a pH 9,0.

El pH del sistema dependerá de los requerimientos del microorganismo. Generalmente este parámetro tiene relación directa con el crecimiento de la biomasa en suspensión, de tal manera que, para favorecer su adecuado desarrollo y transformación del sustrato en el producto deseado, será indispensable su control, a través de dispositivos adecuados para dicho fin (DCSBA, 2023).

4.8.2 Humedad

En cuanto a la actividad microbiana, la humedad del suelo es importante como la temperatura el rango de humedad al momento de la aplicación debe de ser 5% sobre (10 ml/planta). La biomasa microbiana del suelo es mayor en suelos con mayor contenido de humedad, la variación es significativa durante los cambios rápidos en la humedad del suelo por las condiciones (por ejemplo, ciclos de secado y rehumectación) (DCSBA, 2023).

4.8.3 Temperatura

La temperatura puede llegar afectar la solubilización del fósforo, esto sería de un rango de 30 °C a 36 °C, puesto que los microorganismos encargados de la solubilización en el suelo son principalmente mesófilos y termófilos por lo tanto los ciclos metabólicos pueden verse afectados a temperaturas bajas. La temperatura deberá ser controlada en función de la naturaleza del microorganismo. El aumento o disminución en la temperatura disminuye la actividad microbiana y produce una pérdida en la eficiencia del proceso (DCSBA, 2023).

Sin embargo, la bacteria *Bacillus Megaterium* en su fase de crecimiento la temperatura optima es de 30°C - 37 °C, por lo que la temperatura de la incubadora se mantiene constante en 37 °C según la capacidad del equipo.

4.8.4 Fósforo Orgánico

El Fósforo orgánico se correlaciona con la producción de las enzimas, las fosfatadas actúan si hay fuente de fosforo orgánico en el suelo tales como materia orgánica, melaza, agua, el humus, los residuos y estiércoles. La síntesis de la fosfatadas se da en respuesta a las necesidades de liberación de las enzimas al medio exterior, las temperaturas bajas pueden ser un factor de poca mineralización en el suelo (12°C - 20°C), mientras que las temperaturas altas en un rango de (25°C - 36°C), favorecen la mineralización por el contenido de agua, es decir, en respuesta a la disponibilidad del fosforo y aunque el fosforo soluble influye en la producción de enzimas, se dice también que la adición de este también disminuye la actividad enzimática (Gómez, 2012).

4.8.5 Tasa de crecimiento y tiempo de generación

Tanto como la tasa de crecimiento y tiempo de generación son parámetros que controlar durante proceso de fermentación, ya que representan el comportamiento dinámico de los microorganismos (Srivastava & Gupta, 2011).

De manera que *Bacillus megaterium* presenta una fase de adaptación que dura aproximadamente 2 horas y alcanzando su punto máximo de crecimiento 4.57 horas con una absorbancia de 1.7 equivalente a 1.70E+9 UFC/ml.

4.9 Preparación del inóculo

Ya que el proceso consiste en la fermentación y formulación del biofertilizante, es necesario poseer un banco de células para disponer de microorganismos cuando se inicie la línea de producción. Para su elaboración, se deben sembrar el microorganismo en un medio de cultivo acorde para su crecimiento e incubación. Estos cultivos puros y de reciente crecimiento son considerados como pre-inóculos, que posteriormente inocularán en el fermentador.

4.10 Consideraciones para el diseño tecnológico

Los procesos biotecnológicos son cada vez más importantes en el desarrollo de nuevos productos. Olivares (2018) determina que los principales factores que intervienen en el diseño de un modelo tecnológico son:

1. Requerimientos del bioproceso y los microorganismos empleados.
2. Características e impacto del diseño del proceso.
3. Geometría de un reactor, fermentador y selección del agitador.
4. Selección y diseño de los accesorios.
5. Optimización de costos de producción

Los bioprocesos o fermentaciones pueden ser clasificados en función de su operatividad.

4.11 Selección de equipos y auxiliares

UNI-PIENSA cuenta con un biorreactor que será utilizado para la fermentación, por ello no se presentan un procedimiento para su selección. Se plantean los siguientes métodos cortos para la selección de los siguientes equipos y auxiliares:

A. Tanque enchaquetado (Marmita)

El equipo es un tanque cilíndrico vertical de acero inoxidable con fondo toriesférico a presión atmosférica y con sobredimensionamiento de 10% para evitar rebose.

$$V=V_d+10 \quad \text{ec. 1}$$

La presión de diseño será igual (Moss, 2004):

$$P_D = P_o + \rho_{mezcla} * h_{líquido}$$

Donde :

P_D : Presión de diseño. (lb/in²).

P_o : Presión de operación (lb/in²).

ec. 2

ρ_{mezcla} : Densidad de la mezcla (lb/in³).

$h_{líquido}$: Altura de la columna de la mezcla (in).

El diámetro del tanque se determina de la siguiente manera (Moss, 2004):

$$F = \frac{P}{CSE}$$

Donde :

P : Presión de diseño (Lb/pulg²)

ec. 3

C : Margen de corrosión (pulg)

S : Valor de esfuerzo del material (Lb/pulg²)

E : Eficiencia de la junta

Los valores de CSE se obtienen de la siguiente tabla:

Tabla 3. Parámetros de diseño para tanque

Descripción	Parámetros de diseño	Observación
C	0.077 pulg	Para acero inoxidable
S	35000 lb/pulg ²	
E	0.85	Cuerpo cilíndrico
	1	Cabeza toriesférico
	1	Fondo toriesférico

Fuente: (Moss, 2004)

Los valores F y V se grafican en la siguiente figura para obtener el diámetro interno (pies) del tanque:

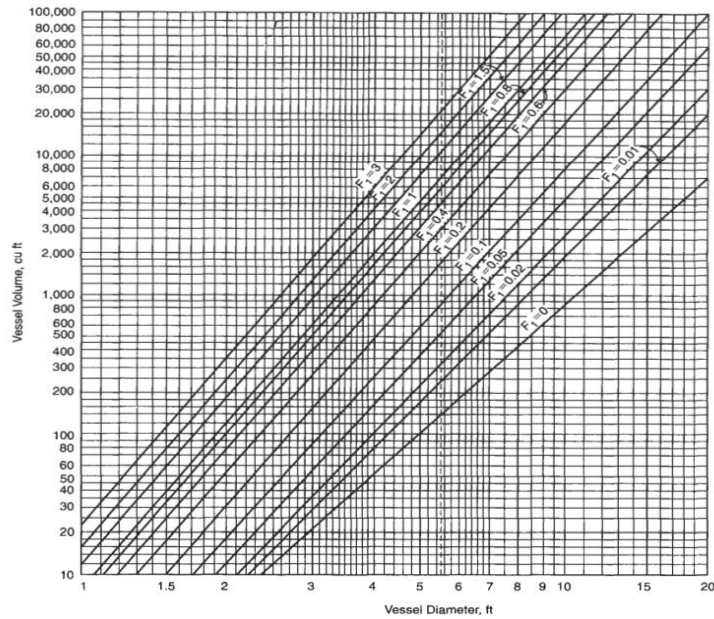


Figura 3. Determinación del diámetro óptimo

Fuente: (Moss, 2004)

El volumen del fondo toriesférico se determina de la siguiente ecuación (Moss, 2004):

$$V_f = 0.1 * D_i^3$$

Donde :

V_f :Volumen del fondo toriesférico. ec. 4

D_i :Diámetro interno del tan que.

La altura del fondo toriesférico se calcula de la siguiente manera (Moss, 2004);

$$V_{cc} = V_D - V_f$$

$$L_{cc} = \frac{4 * V_{cc}}{\pi * D_i^2}$$

Donde :

ec. 5

V_{cc} :Volumen del cilindro.

V_D :Volumen de diseño.

L_{cc} :Altura del fondo toriesférico.

El espesor del tanque cilíndrico se determina con la siguiente fórmula (Moss, 2004):

$$tc = \frac{PR}{SE - 0.6P} + C$$

Donde :

tc : Espesor (pu lg).

P : Presión de diseño (lb / in²). ec. 6

R : Radio del tan que (pu lg).

S : Esfuerzo admisible (lb / in²).

E : Eficiencia de la junta.

Para el caso del fondo toriesférico el espesor por cilindro se calcula (Moss, 2004):

$$t = \frac{PLM}{2SE - 0.2P} + C$$

Donde :

P : Pr esión de diseño (lb / in²).

L : Diámetro int erior (pu lg).

M : Factor a dim ensional , según L / r .

r : Radio de esquina, $L / 10$ (pu lg). ec. 7

S : Esfuerzo permisible (lb / in²).

E : Eficiencia de la soldadura.

C : M arg en de corrosión (pu lg).

El valor de M se lee de la siguiente tabla:

L/r	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75
M	1.00	1.03	1.06	1.08	1.10	1.13	1.15	1.17
L/r	3.00	3.25	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
M	1.18	1.20	1.22	1.25	1.28	1.31	1.34	1.36
L/r	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.0
M	1.39	1.41	1.44	1.46	1.48	1.50	1.52	1.54
L/r	10.5	11.0	11.5	12.0	13.0	14.0	15.00	16.0
M	1.56	1.58	1.60	1.62	1.65	1.69	1.72	1.75

Figura 1. Factor M

Fuente: (Moss, 2004)

Para determinar las dimensiones del fondo toriesférico se utilizan las siguientes ecuaciones (Moss, 2004):

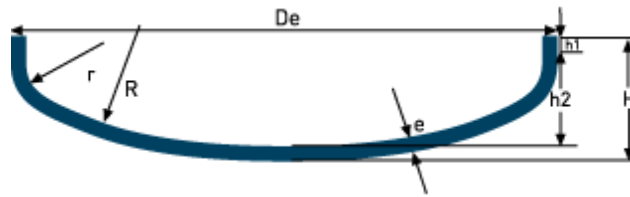


Figura 4. Fondo KLOPPER

$$\begin{aligned}
 R &= D_e \\
 r &= R / 10 \\
 h_1 &\geq 3.5e \\
 h_2 &= 0.1935D_e - 0.455e \\
 H &= h_2 + h_1 + e \\
 D_d &= 1.11D_e + 1.85h_1 \\
 V(h_2) &= 0.1D_i^3
 \end{aligned}
 \quad \text{ec. 8}$$

Donde:

De: Diámetro exterior

e: Espesor inicial

R: Radio esférico interior

r: Radio rebordeado interior

h1: Pestaña (parte recta)

H: Altura total exterior

V: Volumen

Dd: Diámetro disco de partida

Di: Diámetro interior

h2: Flecha

Hc: Altura Central

La altura total del tanque cilíndrico será:

$$L_T = L_{cc} + H \quad \text{ec. 9}$$

a) Agitador

Las dimensiones estándar de los agitadores se muestran en la siguiente figura:

DENOMINACION	SIMBOLO	GEOMETRIA
Agitador de hélice		$ \begin{aligned} h_1 / d_1 &= 1.0 \\ d_2 / d_1 &= 0.33 \\ h_2 / d_1 &= 0.33 \\ \alpha &= 25^\circ \\ \delta_1 / d_1 &= 0.1 \\ \delta_2 / d_1 &= 0.02 \end{aligned} $
Agitador con palas planas inclinadas		$ \begin{aligned} h_1 / d_1 &= 1.0 \\ d_2 / d_1 &= 0.337 \\ h_2 / d_1 &= 0.17 + 0.34 \\ h_3 / d_2 &= 0.177 \\ \alpha &= 45^\circ \\ 6 \text{ Blätter} \\ \delta_1 / d_1 &= 0.1 \\ \delta_2 / d_1 &= 0.02 \end{aligned} $
Agitador helicoidal		$ \begin{aligned} h_1 / d_1 &= 1.0 \\ d_2 / d_1 &= 0.98 \\ b / d_2 &= 0.1 \\ h_3 / d_2 &= 1.0 \\ s / d_2 &= 0.5 \\ h_2 / d_1 &= 0.01 \end{aligned} $

Figura 5. Dimensiones estándar de agitadores

Fuente: Norma DIN 28131-Agitadores y deflectores para recipientes agitadores.

Se seleccionó un rodete de palas planas inclinadas, porque genera un flujo turbulento y de bajo costo. El agitador estará centrado en el tanque y contará con placas deflectoras para mejorar el mezclado:

$$\begin{aligned}
 \frac{h_1}{d_1} &= 1 & \frac{h_3}{d_2} &= 0.177 & \frac{\delta_1}{d_1} &= 0.1 \\
 \frac{d_2}{d_1} &= 0.337 & \alpha &= 45^\circ & \frac{\delta_2}{d_1} &= 0.02 \\
 h_2 &= 0.17 + 0.34d_1 & \delta &= \text{Deflectores} & L_e &= L_T - h_2
 \end{aligned}
 \quad \text{ec. 10}$$

Donde:

d1: Diámetro del cuerpo del tanque

h1: Altura del fluido

d2: Diámetro del impulsor

h2: Distancia de la parte inferior del tanque al centro de las paletas del rodete

h3: Ancho de las palas

α : Angulo de inclinación de las palas

δ : Ancho de los deflectores |

Le: Longitud del eje.

b) Potencia del agitador

La potencia del agitador se determina mediante el número Reynolds y el número de potencia, haciendo uso de la siguiente figura:

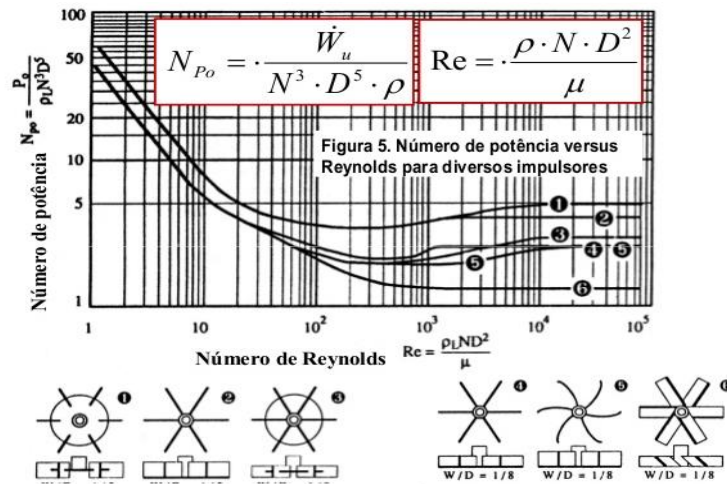


Figura 6. Potencia de agitadores

Fuente: (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

El número de Reynolds se determina:

$$Re = \frac{d_2^2 * n * \rho}{\mu} \quad \text{ec. 11}$$

Donde:

Re: Número de Reynolds

ρ : Densidad (Kg/m³)

d₂: Diámetro del impulsor (m)

μ : Viscosidad (kg/m-s)

n: RPS

Por lo que, la potencia del agitador se calcula (McCabe et al., 2007):

$$Np = \frac{g_c P}{\rho n^3 d_2^5} \quad \text{ec. 12}$$

Donde:

N_p : Número de Potencia del grafico

ρ : Densidad (Kg/m^3)

d_2 : Diámetro del rodete (m)

P : Potencia (W)

n : RPS

g_c : Número adimensional =1

Se debe tomar en cuenta la eficiencia de los reductores de velocidad que ronda el 80% (McCabe et al., 2007):

$$P_m = \frac{P}{\eta} \quad \text{ec. 13}$$

Se consideró un factor de operación igual a 1.25: e c

$$P = 1.25 * P_m \quad \text{ec. 14}$$

c) Recipientes enchaquetados

El espesor de la chaqueta se calcula utilizando la siguiente ecuación (McCabe et al., 2007):

$$E_{ch} = 10\% D \quad \text{ec. 15}$$

a) Tiempo de calentamiento dentro de un tanque enchaquetado

Se calcula cuando se considera la superficie de intercambio limpia de deposiciones o incrustaciones (Green & Southard, 2018):

$$U_c = \frac{h_t h_{te}}{h_t + h_{te}}$$

Dónde :

h_{te} : Coeficiente individual de transferencia de calor para chaqueta,

Siendo igual a $8,000 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

ec. 16

h_t : Coeficiente individual de transferencia de calor ($\text{W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

h_t , se determina:

$$Nu = \frac{h_t D}{\kappa} = a Re^b Pr^c \frac{\mu^m}{\mu_w}$$

Dónde :

Nu : Número de Nusselt

Re : Número de Reynolds

Pr : Número de Prandtl

h_t : Coeficiente individual de transferencia de calor ($W / m^2 o C$)

ec. 17

D : Diámetro interno del tanque

κ : Conductividad térmica del fluido ($kcal / m^* h^o c$)

μ : Viscosidad del fluido (kg / ms)

μ_w : Viscosidad del fluido a la temperatura de la pared (kg / ms)

En el caso de paletas planas del agitador, se tienen los siguientes valores:

$a = 0.36$, $b = 0.67$, $M = 0.31$; para $300 < Re < 3 \times 10^5$

Para Pr , el valor común de $c = 0.33$

Es cuando se consideran las resistencias debido a las incrustaciones, R_d , se obtiene de la suma de los factores de obstrucción de los fluidos que toman parte en el proceso de transferencia de calor (se desprecian las resistencias):

$$U_d = \frac{1}{\frac{1}{U_c} + R_d}$$

Dónde;

ec. 18

R_d : Factor de incrustación: $0.0009 m^2 o C / W$

Para medio de calentamiento isotérmico (McCabe et al., 2007), se tiene:

$$\frac{U_d A \theta}{m c_p} = \ln \left[\frac{T_1 - t_1}{T_1 - t_2} \right]$$

Dónde :

T_1 : Temperatura de combustión ($^{\circ}\text{C}$)

t_1 : Temperatura inicial del líquido frío ($^{\circ}\text{C}$)

t_2 : Temperatura del líquido frío a un tiempo dado ($^{\circ}\text{C}$)

A : Área de transferencia de calor (m^2)

ec. 19

θ : Tiempo (s)

M : Masa de líquido contenida (kg)

C_p : Calor específico del líquido contenido ($\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$)

U_d : Coeficiente global de transferencia de calor ($\text{W} / \text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$)

B. Filtro prensa

Un filtro prensa es de fácil operación y con una elevada filtración.

Velocidad de filtrado (Ulrich, 1984):

$$V_f = \frac{m_f}{\rho_f} \quad \text{ec. 20}$$

A la velocidad de filtrado calculada se le multiplica por un factor de operación (Ulrich, 1984):

$$V_{ff} = 1.2 V_f \quad \text{ec. 21}$$

a) Área de la placa:

Los diseños de los filtros prensas de placas son de placas cuadradas de 150 mm a 2 m de lado alternan con marcos abiertos. Las placas tienen un espesor de 6 a 50 mm y el espesor de los marcos es de 6 a 200 mm. La presión de operación varía entre 3 a 10 atm (McCabe et al., 2007):

$$A = S^2 \quad \text{ec. 22}$$

Donde:

S: Superficie de la placa: 150 mm.

Dimensiones del marco:

Espesor (T_f) 0.0254 m

Tamaño de la placa: 6x6 mm

Altura: $H = \text{tamaño de la placa} + 2T_f$: 0.5588 m

Anchura: H : 0.5588 m

Dimensiones del filtro prensa propuesto: 0.5588x0.5588x0.0254 m

b) Volumen de la torta

$$V_c = \frac{m_c}{\rho_c} \quad \text{ec. 23}$$

Donde:

V_c : Volumen de la torta (m^3)

m_c : Masa de la torta (kg).

ρ_c : Densidad de la torta (kg/m^3).

c) Longitud del filtro

$$T_c = \frac{V_c}{A_{\text{placa}}} \quad \text{ec. 24}$$

Donde:

T_c : Longitud del filtro (m).

A_{placa} : Área de la placa (m^2).

d) Número de marcos

$$N = \frac{T_c}{T_f} \quad \text{ec. 25}$$

Donde:

N : Número de marcos del filtro.

e) Potencia del filtro

$$\frac{\Delta P}{\rho} + g\Delta z + \frac{\Delta v^2}{2g} = Q - W_s$$

$$g\Delta z = 0; \text{horizontal.} \quad \frac{\Delta v^2}{2g} = 0; \text{flujo constante.} \quad \text{ec.26}$$

$$Q = 0; \text{despreciable}$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = -W_s$$

C. Bomba

El siguiente procedimiento es para la selección y dimensionamiento de una bomba (Mott,2006):

1. Obtener las especificaciones del sistema: Fluido a bombear, valor de diseño del flujo volumétrico, elevaciones y presiones prescritas, en particular en la fuente y el destino.
2. Determinar las propiedades del fluido, incluyendo: temperatura, peso específico, viscosidad cinemática y presión de vapor.
3. Generar una distribución propuesta para la tubería, considerando detalles de las líneas de succión y descarga con las válvulas, acoplamientos y accesorios.
4. Determinar las longitudes de la tubería en las líneas de succión y descarga.
5. Especificar los tamaños de tubería para las líneas de succión y descarga.
6. Analizar el rendimiento del sistema al flujo volumétrico de diseño para determinar la carga dinámica total (TDH).

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) + h_r \quad \text{ec. 27}$$

7. Evaluar la carga estática total

$$h_0 = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + (z_2 - z_1) \quad \text{ec. 28}$$

8. El punto de operación de una bomba se define como el flujo volumétrico que enviará cuando se instale en un sistema dado. La curva de

rendimiento de la bomba es la gráfica del flujo volumétrico que la bomba distribuye como función de la carga total, y a la que está sujeta por el sistema del que forma parte. Tales curvas son los elementos básicos para seleccionar una bomba que entregue, el flujo volumétrico de diseño contra la carga dinámica total a dicho flujo volumétrico. En el caso del tema, se utilizó:

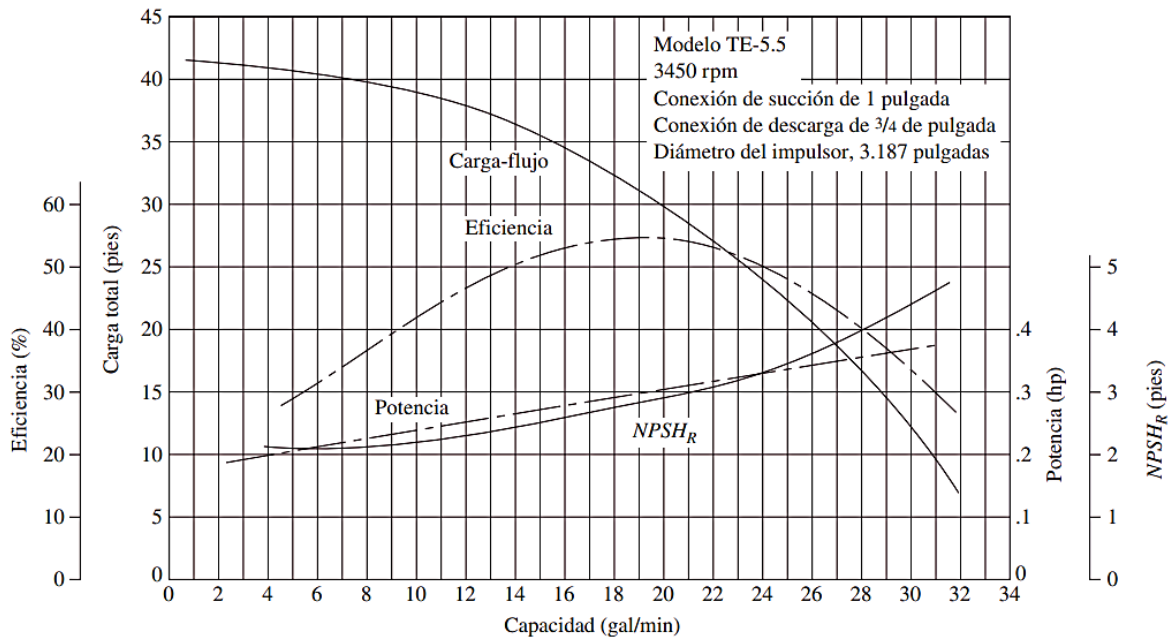


Figura 7. Bomba centrífuga

Fuente: (Mott, 2006)

- 8.1 Elegir una bomba con eficiencia alta en el punto de diseño, para que el punto de operación se encuentre cerca del punto de eficiencia óptimo de la bomba.
- 8.2 Especificar el nombre del modelo, velocidad, tamaños del impulsor y los puntos de succión y descargar.

4.11. Análisis de Costos para el montaje del proceso

Las estimaciones de costos de las actividades son evaluaciones cuantitativas de los costos probables que se requieren para completar el trabajo de un proyecto. Pueden presentarse de tal manera resumida y detallada, el presente proyecto se tomará en cuenta tanto los costos de operación como el del capital de inversión,

estimando de esta manera los costos fijos (obras civiles, compra de equipos, maquinaria), costos de materia prima e insumos u otros rubros necesarios para el proceso productivo (Guerrero, 2015).

4.11.1 Estimación del capital de inversión

Este se divide en costos directos e indirectos. El costo incluye todos los gastos que se relacionan con la instalación de la planta y el costo indirecto se refiere al costo de los factores que no están directamente relacionados con la instalación de la planta, en la siguiente tabla se muestra la lista de estos artículos.

Tabla 4. Costos Directos e Indirectos

Costos Directos	Costos Indirectos
Equipos	Ingeniería y supervisión
Envío del equipo hasta la planta	Cuestiones legales
Instalación de equipo	Gastos de construcción
Instrumentación, controles, tuberías	Honorarios de los contratistas
Sistema Eléctrico	Contingencias
Servicios Auxiliares	
Terreno	

Fuente: (Timmerhaus, 1991).

4.11.2 Equipos y estimación de instalación de equipos

En algunos casos las facturas proformas de los equipos incluyen su valor intrínseco, y otros el valor del equipo instalado. Aquellos equipos que se deban importar se detallara en terminos FOB , CIF y tienen lugar de utilización (gastos de importación, fletes). Se incluyen los equipos y maquinaria utilizadas durante el montaje y que puedan tener aplicaciones en el proceso productivo. Su valoración será el resultado de depreciar el bien en la medida en que fue utilizado incorporando únicamente el valor residual resultante (Timmerhaus,1991).

La instalación del equipo implica costos de mano de obra, cimentaciones, soportes, plataformas, gastos de construcción y otros factores directamente relacionados con montaje de equipos adquiridos (Timmerhaus,1991).

Timmerhaus (1991) comenta que, la estimación del costo de un equipo cuando no existen datos de costos disponibles para el tamaño en particular de la capacidad operacional, los resultados se pueden obtener utilizando una relación logarítmica.

4.11.3 Instrumentación y controles

Esta parte de la inversión del capital a veces se combina con los grupos de equipamiento general. El costo total de instrumentación depende de la cantidad de control requerido y puede ascender del 6 a 30% de la compra del costo total del equipo. Para la planta normal de procesamiento químicos de fluidos sólidos, un valor del 13% del equipo comprado se utiliza normalmente para estimar el costo total de instrumentación. Este costo representa aproximadamente el 3% del capital de inversión (Timmerhaus, 1991).

4.11.3.1Tuberías

Los métodos de estimación de tuberías implican algún grado de despegue de tuberías a partir de dibujos detallados y diagramas de flujo o utilizando una técnica de factor cuando no hay ningún dibujo detallado, ni diagramas de flujos disponibles. A continuación, se representa una estimación aproximada de los costos de tuberías para varios tipos de procesos químicos (Timmerhaus, 1991).

Tabla 5. Estimación de costos de tuberías

Estimación de Costos de tuberías				
	Porcentaje del equipo comprado			Porcentaje de inversión de capital fijo
Tipo de planta	Material	Labor	Total	Total
Solido	9	7	1	4

Fuente: (Timmerhaus, 1991)

4.11.3.2 Instalación eléctrica

El costo de las instalaciones eléctrica consiste principalmente en mano de obra de instalación y materiales para energía e iluminación. En plantas químicas ordinarias, el costo de las instalaciones eléctricas asciende a entre 10 y 15% del valor de todos los equipos comprados. Por lo tanto, el costo de instalación generalmente se estima entre el 3 y 10% de la inversión de capital fijo. La instalación eléctrica, iluminación, transformación y servicio, e instrumentación y control de alambrado (Timmerhaus, 1991).

4.11.4 Servicios auxiliares

Los servicios públicos para el suministro de vapor, agua, energía, aire comprimido y combustible forman parte de las instalaciones de servicio de una planta industrial. Eliminación de desechos, protección contra incendios y artículos de servicios diversos, como equipo de tienda, primeros auxilios y cafetería, requieren inversiones de capital que se incluye en el rubro de costos de servicios auxiliares. El costo total de las instalaciones de servicios auxiliares en plantas químicas generalmente varía entre 30 a 80% del costo del equipo comparado con el 55% representando un promedio para la planta de procesamiento de sólidos-fluidos (Timmerhaus, 1991).

4.11.4.1 Terreno

El costo del terreno depende de la ubicación de la propiedad y puede variar según un factor de costos tanto como 30 a 50 entre un distrito rural y una zona altamente industrializada. Los costos del terreno de las plantas industriales del 4 al 8% del costo del equipo comprado o del 1 al 2% de la inversión del capital total. Debido a que el valor del terreno generalmente no disminuye con el tiempo, este costo no se incluirá en la inversión del capital fijo al estimar determinados costos operativos, como depreciación (Timmerhaus, 1991).

4.11.4.2 Ingeniería y supervisión

Los costos para el diseño de construcción e ingeniería, contabilidad software, planos, comunicaciones, viáticos entre otros se establece un rango y el valor

típico en la Tabla 5. Incluidos los gastos generales, constituyen el capital de inversiones para ingeniería y supervisión. Este costo, ya que no puede ser directamente cargado a equipos, materiales o mano de obra, normalmente se considera un costo indirecto en el capital fijo de inversiones y es aproximadamente el 30% del costo del equipo comprado o el 8% de los costos directos totales de la planta de proceso (Timmerhaus, 1991).

Tabla 6. Típicas variaciones en el porcentaje del capital de inversión para ingeniería y planta

Típicas variaciones en el porcentaje del capital fijo de inversión		
Componente	Rango %	Valor típico %
Ingeniería	1.5-6.0	2.2
Redacción	2.0-12.0	4.8
Ingeniería, construcción y costos	0.2-0.5	0.3
Comunicaciones	0.1-1.0	0.3
Supervisión e ingeniería (incluyendo gastos generales)	0.2-0.5 4.0-21.0	0.2 8.1

Fuente: (Timmerhaus, 1991).

4.11.5 Gastos de construcción

Involucra los gastos por la compra y renta de herramientas y maquinaria, mano de obra, impuestos y seguros y otros gastos relacionados con la construcción, si los gastos de construcción o de campo se debe estimar por separado. Para los procesos químicos ordinarios plantas, los gastos de construcción promedian aproximadamente el 10% del total directo costos de la planta (Timmerhaus, 1991).

4.11.5.1 Honorarios de los contratistas y contingencia

La tarifa del contratista varía según las diferentes situaciones, pero se puede estimar en alrededor del 2% al 8% del costo directo de la planta o del 1.5% al 6% de la inversión del capital fijo (Timmerhaus, 1991).

4.11.6 Estimación del capital de trabajo

Los recursos que tiene la planta para atender las operaciones de producción y operación completan el monto de dinero que se precisa para dar inicio al ciclo de producción en su fase de funcionamiento o bien capital adicional con el que se debe de contar para que comience la producción, esto se conoce como financiar antes de presidir ingresos. Entre los gastos contemplados se tiene: gastos de construcción durante la puesta en marcha (perdidas de línea y equipos, defectos de diseño que deben de solucionar, falla de instrumento, necesidad de equipos adicionales) y costos de operación de puesta en marcha (salarios, materia prima, producto semiterminado o terminado fuera de especificación) que requieren salidas de dinero (Timmerhaus, 1991).

4.11.7 Costos de producción

El análisis de los flujos de cajas es útil para el entendimiento de los movimientos del dinero y el momento en que se realizan, no sólo para la compañía completa sino también para las líneas parciales de producción. Los costos de producción se pueden dividir en dos categorías, que son costos variables y costos fijos (Timmerhaus, 1991). A continuación, se presentan los costos variables y los costos fijos:

Tabla 7. Clasificación de los Costos de Producción

Costos Variables	Costos Fijos
Materia prima	Depreciación
Mano de obra directa	Impuestos
Supervisión	Seguros
Mantenimiento	Financiación
Servicios	Investigación y desarrollo
Suministros	Relaciones publicas
Regalías y patentes	Contaduría y auditoría
Envases	Asesoramiento legal

Fuente:(Timmerhaus, 1991).

4.11.7.1 Materias Primas

La materia prima consumida en un proceso de producción dado constituye generalmente el mayor costo de todos los acápites analizados. En los procesos químicos convencionales la misma puede representar entre un 10 % y un 50 % del costo de producción total (Peters, 1991), mientras que en los sistemas biológicos constituye generalmente desde un 30 % a un 80 % del costo total (Kalk, 1986). La cantidad de materias primas necesarias para obtener un producto dado se determina por medio de los balances de materiales correspondientes.

4.11.7.2 Materiales de Producción

Los mismos pueden considerarse como aquellos elementos dentro del proceso tecnológico, que no son realmente materias primas pero que poseen una función tal, que tienen un peso considerable en el análisis global del proceso como son reactores, solventes, agentes químicos, fermentadores, mezcladores, sedimentadores y otros (Peters, 1991).

4.11.7.3 Servicios Auxiliares

Puede afirmarse que un estimado real de los servicios auxiliares, solamente es posible efectuarlo a partir del conocimiento del diagrama de flujo de la planta y de la disposición física del equipamiento en la misma, de manera tal que puedan efectuarse los balances de materiales y energía correspondientes.

4.11.7.4 Servicios y mantenimiento

Una vez estimado el consumo de energía eléctrica en kWh, de acuerdo con el nivel de producción elegido, queda por establecer el costo de la energía eléctrica.

El mantenimiento incluye los costos de materiales y mano de obra (directa y supervisión) empleados en rutinas o reparaciones incidentales y, en algunos casos la revisión de equipos y edificios. Puede estimarse anualmente como 4-6% de la inversión fija en los casos en que no se posean otras informaciones.

4.11.7.5 Suministros y regalías

Los suministros incluyen aceites lubricantes, reactivos químicos y equipo de laboratorio, es decir, los materiales usados para la planta industrial exceptuando

los incluidos en materia prima, materiales de reparación o embalaje. Se puede estimar como el 6% del costo de mano de obra o como el 15% del costo de mantenimiento (Woods,1975).

Las regalías y patentes se pagan respecto a un nivel predeterminado de operación de planta. En ausencia de otros datos, puede estimarse entre el 1 al 5% del precio de venta del producto en estudio.

4.11.7.6 Depreciación

La mayoría de los bienes van perdiendo valor a medida que crecen en antigüedad. Los principales objetivos para cargar un costo de depreciación pueden resumirse con seguridad costos directos de producción, para registros de costos e incluir el costo de depreciación en gastos de operación con propósito de impuestos.

4.11.7.7 Costo de Inversión Total

Antes que una planta de proceso pueda comenzar a operar normalmente, una alta suma de dinero es necesaria para garantizar la compra del equipamiento requerido, la instalación de este, la adquisición del terreno donde se construirá la planta, así como las tuberías de proceso, servicios, edificaciones, etc. El capital requerido para garantizar las necesidades de operación y las facilidades en planta, se denomina Capital Fijo de Inversión y para los gastos de operación iniciales Capital Trabajo (Perry, 1999). La suma del Capital Fijo de Inversión y el Capital Trabajo, se conoce como Costo de Inversión Total.

V. METODOLOGÍA

A continuación, se mencionan los procedimientos realizados para alcanzar los objetivos del presente trabajo monográfico.

5.1 Macro localización del proyecto

La ubicación del proyecto se estableció dentro de las instalaciones de la Universidad Nacional de Ingeniería, Recinto Universitario Simón Bolívar (UNI-RUSB) en la avenida Universitaria, Casimiro Sotelo, para desarrollar proyectos con fines académicos. Localizada geográficamente en las coordenadas UTM 12°07'57"N 86°16'09"W.

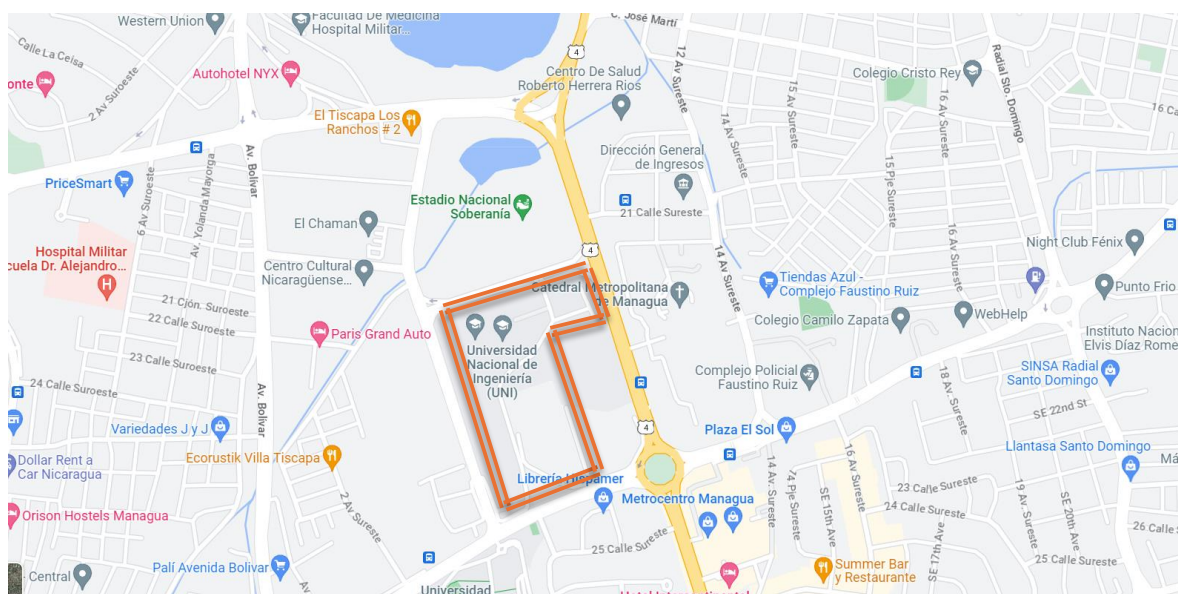


Figura 8. Universidad Nacional de Ingeniería-RUSB

Fuente: www.maps.google.com

5.2 Capacidad de producción de la planta piloto

Para el proceso productivo nuestra planta piloto procesadora de bioinsumos, se tomó en consideración que UNI-PIENSA, cuenta con un biorreactor, el cual su capacidad de diseño es de 240 litros, para evitar reboso no se utilizará el 10% de su capacidad.

Se toman las siguientes consideraciones:

- La planta estará operando 4 días a la semana 10 meses (considerando que en algunas semanas de los meses: enero, julio y diciembre, no se trabaja por vacaciones en la Universidad).
- La preparación del inóculo dura de 16 a 24 horas.
- El proceso de fermentación dura 8 horas.
- La presentación del producto terminado es de 4 litros.

5.3 Proceso de Producción del Biofertilizante

A. Recepción de Materia Prima

- **Melaza**

La melaza será abastecida por el Ingenio Montelimar, ya que la Facultad de Ingeniería Química cuenta con un convenio de colaboración.

La melaza será transportada por barriles plásticos (208 litros) y almacenada en la bodega de insumos.

La cantidad de melaza según los datos referidos por (Rivera, 2020), para uso como sustrato es de 1:4, que en porcentaje equivale a 20% melaza y 80% agua.

- ***Bacillus Megaterium***

El laboratorio de Biotecnología de UNI-PIENSA proveerá la cepa identificada “*Bacillus Megaterium*” y, a la vez, preparará el inóculo.

B. Preparación de inóculo

Para la inoculación de la bacteria se realizan los siguientes pasos:

- Se pesan 37 g de medio de cultivo Agar Miller (LB) por 1 L de agua destilada y se coloca en un matraz Erlenmeyer (1 000 ml) para disolverse en agua destilada y se agrega un magneto para agitarse a 3 000 rpm y 260°C por 30 min.
- Se pesan 39 g de medio de cultivo sólido compuesto Agar - Agar por 1 L de agua destilada y se coloca en un matraz Erlenmeyer (1 000 ml) para

disolverse en agua destilada y se agrega un magneto para agitarse a 3 000 rpm y 260°C, por 30 min.

- Posteriormente, ambos medios se esterilizan en una autoclave a 120°C por 30 minutos.
- El medio sólido compuesto por Agar Agar y Agar Miller y melaza clarificada, se esteriliza y se procede a plaquear el medio de cultivo, y se espera durante un tiempo de 30 minutos para solidificar.
- Se mide 1 ml de la dilución a sembrar, *Bacillus Megaterium*, y levantando un poco la tapa, se vierte en el Petri.
- Se mide 10 ml con una pipeta estéril de la dilución a sembrar, y levantando un poco la tapa, se vierte en el Petri.
- Con un aza drigakyl, se realizan movimientos circulares suaves en un sentido a otro, para dispersar el medio repitiéndolo aproximadamente 5 veces sobre cada sentido.
- Se deja solidificar, y luego se vierte en la placa Petri, de manera que la tapa quede en la base y se lleva a una incubadora, donde puede permanecer de 16 a 24 horas, a 37°C.

Con ello, se prepara el inóculo con 90% (1 944 ml) de melaza clarificada y 10% (216 ml) de la bacteria. Con una duración de 8 horas. Posteriormente, se traslada a la planta piloto.

C. Desclorificación de Agua

El agua será almacenada en 2 tanques (cada uno de 1 000 L) durante al menos 24 horas para eliminar el cloro presente, debido a la potencia germicida. La determinación de presencia de cloro se hará por el método DPD (Dietil-p-fenilenodiamina).

D. Clarificado y esterilizado

Para el clarificado se utiliza 20% de melaza y 80% de agua potable. La melaza se agrega de manera manual a la marmita de combustión a gas butano, mientras que el agua se bombea. La mezcla se calienta y agita a 80°C durante 30 minutos,

con el fin de esterilizarla. Se deja enfriar con agitación durante otros 30 minutos o hasta alcanzar una temperatura de 40°C.

E. Filtrado

La mezcla esterilizada se bombea a un filtro prensa para eliminar toda materia extraña (bagacillo, material en suspensión, piedras, etc.). Se estima un 3% de desecho.

F. Fermentación

El Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente. PIENSA, cuenta con un tanque fermentador con capacidad de 240 L. Por tanto, será la capacidad máxima de producción, mediante un proceso por lote.

Dicho equipo consta de tres tuberías de entrada. En la parte superior, de manera manual, se agrega el inóculo. En las demás tuberías, se bombea la melaza clarificada filtrada y aire (esterilizado) comprimido.

Para el proceso fermentativo se tienen las siguientes variables de operación:

Tabla 8. Variables de operación en el proceso fermentativo

Ítems	Variable de control	Rango
1	pH	4.5 – 5.5
2	Temperatura	30°C – 35°C
3	Humedad	75% - 85%
4	Fósforo Orgánico	60% - 80%
5	Tasa de crecimiento y fase de generación	7.5 horas
6	Tiempo de residencia (vol/Q)	8 horas
7	Tasa de aireación (vvm)	1

Fuente: adaptado de ICIDCA (2005).

Finalizada las 8 horas se obtiene el biofertilizante.

G. Envasado

Posterior a la fermentación, en la tubería de descarga del fermentador se coloca una manguera para realizar el envasado manual de los recipientes plásticos de 4 litros.

El etiquetado se realiza de manera manual, aplicando la NTON: 11041:13, cuando el producto es envasado se colocará una etiqueta adhesiva con la siguiente información:

- Logotipo o nombre comercial del producto.
- El texto "BIOFERTILIZANTE" claramente legible.
- Marca (nombre del producto).
- Leyenda: mezcla física o formula química.
- Contenido neto.
- Fabricante o (indicar el nombre) y país de origen del biofertilizante.
- Número de lote.
- Fecha de vencimiento.

H. Almacenamiento

Los envases etiquetados se trasladan a la bodega de producto terminado y permanecen a temperatura ambiente.

5.4. Balance de Masa y Energía.

A. Clarificado y esterilizado

Operación:	Clarificado y esterilizado	Entrada		Salida		
Item	Componente	%	kg	Componente	%	kg
Materia Prima	Melaza	20%	39.67	Melaza clarificada	100.00%	198.37
Insumo	Agua	80%	158.69			
Subtotal		1.00	198.37		100.00%	198.37

B. Filtrado

Operación:	Filtrado	Entrada		Salida		
Item	Componente	%	kg	Componente	%	kg
Materia Prima	Melaza clarificada	100%	198.37	Melaza clarificada	98.00%	194.40
			-	Impurezas	2.00%	3.97
Subtotal		100%	198.37		100.00%	198.37

C. Fermentación

Operación:	Fermentado	Entrada		Salida		
Item	Componente	%	kg	Componente	kg	l
Materia Prima	Melaza clarificada	90%	194.40	Biofertilizante	216.00	216.00
Insumo	Inóculo	10%	21.60			
Subtotal		100%	216.00		216.00	216.00

Tasa de aireación: 1 vvm (volumen de aire/tiempo/volumen de medio).

Volumen del biorreactor: 216 l

Caudal del aire (m³/min): 0.22

D. Envasado

Operación:	Envasado	Entrada		Salida		
Item	Componente	kg	L	Componente	%	kg
Materia Prima	Biofertilizante	216.00	216.00	Envases	100.00%	54.00
Subtotal		216.00			-	54.00

5.5. Selección de los equipos para la producción de biofertilizante.

De acuerdo con lo planteado en el marco teórico, los cálculos de selección de equipos y auxiliares se presentan en el anexo A.

5.5.1 Capital fijo total

El cálculo del capital fijo total se realiza mediante los índices planteados por Ulrich (1984) y, Timmerhaus & Petters (2003). El capital fijo total es la suma de los costos directos e indirectos fijos de la planta industrial.

En los siguientes acápite, los porcentajes utilizados hacen referencia a una planta de procesamiento de fluidos (Timmerhaus & Petters, 2003).

a) Costo total de los equipos y auxiliares en la planta

La estimación de los costos de los diferentes equipos y auxiliares que forman el proceso de producción se realizó en línea en el sitio web www.alibaba.com, que los proveedores nacionales no respondieron a las consultas de solicitud de proformas y especificaciones técnicas de los equipos.

b) Costo CIF

El costo seguro, seguro y flete (CIF) se refiere a la logística marítima. Se considera un 10% del costo estimado por los índices de costos.

c) Costos de instalación

Se estimó un 47% del costo total de los equipos puestos en planta .

d) Costos de instrumentos y control

Se estimaron un 36% del costo total de los equipos puestos en planta.

e) Costos de tubería y accesorios

Se consideró un 68% del costo total de los equipos puestos en planta.

f) Costo de instalación eléctrica

Fue considerado un 11% del costo total de los equipos puestos en planta.

g) Costo de edificios

Como el terreno se encuentra dentro de las instalaciones de la universidad, se consideró un costo igual a 0.

h) Costos de mejoras del terreno

Se estimó un 10% del costo total de los equipos puestos en planta.

i) Costos de servicio.

Fue considerado un 70% del costo total de los equipos puestos en planta.

5.5.1.1 Costos fijos indirectos

Los costos fijos indirectos, lo forman: costo de ingeniería y supervisión, costo de la construcción, costo de seguros e impuestos de construcción, costo de los honorarios de los contratistas, gastos imprevistos.

a) Costo de ingeniería y supervisión

Se estimó un 33% del costo total de los equipos puestos en planta.

b) Costo de la construcción

Se estimó un 41% del costo total de los equipos puestos en planta.

c) Costo de seguros e impuestos de construcción

Considerando la instalación de la planta piloto en la UNI-RUSB, se consideró un costo cero para seguros e impuestos de construcción.

d) Costo de los honorarios de los contratistas

Se estimó un 22% del costo total de los equipos puestos en planta.

e) Gastos imprevistos

Se estimó un 44% del costo total de los equipos puestos en planta.

5.5.1.2 Costos fijos de producción

Los costos de producción incluyen: costo directo de producción, costos indirectos y costos fijos. Dicho costo se calcula para un año de producción (Ereev & Patel, 2012).

5.5.1.3 Costo directo de producción

Incluyen los costos directos: materia prima e insumos, mano de obra, supervisión e ingeniería, mantenimiento y reparación, auxiliares y servicios, suministros de operación.

- **Costo de materia prima e insumos**

Dicho cálculo se basó en los resultados del balance de materia y energía, también se utilizaron: reportes estadísticos de precios mayoritarios del Ministerio de Fomento, Industria y Comercio (MIFIC), CAM International S.A. y Distribuidora El Caribe (para los productos químicos).

- **Costo de mano de obra**

Refleja los costos de los trabajadores que se encuentran directamente en el proceso de producción. Los salarios y beneficios de los trabajadores están sujetos a la Ley 185 “Código del trabajo”, Ley 539 “Ley de seguridad social” y Ley 625 “Ley del salario mínimo”; así como los decretos relacionados a dichas leyes.

Se estimó la necesidad de contratar a dos personas que estén directamente operando la planta piloto, por lo que son menos de 50 personas, aplicándose el 21.5% INSS.

- **Costo de supervisión e ingeniería**

No se consideró un personal para supervisión e ingeniería, debido a la dinámica de la planta piloto propuesta.

- **Costo de mantenimiento y reparación**

Se estimó un 6% del costo total de los equipos puestos en planta.

- **Costo de auxiliares y servicios**

Se estimó un 10% del costo de mantenimiento y reparación.

- **Costos de suministros de operación**

Se consideró un 15% del costo de mantenimiento y reparación.

5.5.1.4 *Costos indirectos de producción*

Los costos indirectos de producción consideran los gastos de laboratorio, cargas a planillas y gastos generales de la planta.

- **Gastos de laboratorio**

Se estimó un 15% del costo de mano de obra.

- **Cargos a planillas**

Representa los beneficios sociales que contempla la Ley 539 “Ley de seguridad social” y Ley 625 “Ley del salario mínimo”; así como los decretos relacionados a dichas leyes.

- **Gastos generales de la planta.**

Se consideró un 6% del costo de mantenimiento y reparación.

5.5.1.5 *Costos fijos de producción*

Los costos fijos son independientes a la producción del proceso productivo, abarcan los costos: depreciación, impuestos y seguros.

- **Gasto por depreciación**

El cálculo para la depreciación está normado en la Ley 453 “Ley de equidad fiscal”, para el caso de equipos industriales se aplica 10%.

- **Gastos por impuestos y seguros.**

No se consideró un gasto de impuestos y seguros por ser una institución académica pública.

VI. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Micro Localización del proyecto.

La Micro localización de la planta piloto de Biofertilizante se llevó a cabo entre el Laboratorio de operaciones unitarias y el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Ingeniería Química. El terreno tiene por medida 13.07 x 11.40 m².



Figura 9. Ubicación de la Planta Piloto UNI-RUSB

Fuente: www.maps.google.com

6.2 Variables y parámetros del proceso de producción

Para cumplir con la calidad del producto terminado se deben de garantizar las siguientes variables y parámetros:

Tabla 9. Variables y parámetros del proceso de producción

N°	Etapas	Concepto	Variables y parámetros que controlar
01	Acondicionamiento	Melaza	Azúcares reductores > 15.3% Materia seca > 73% pH: 5.5 a 6.5
		Agua potable	pH: 6.5 a 8 Sin presencia de cloro
02	Clarificado y esterilizado	Melaza esterilizada	Tiempo de residencia: 30 minutos Temperatura: 80°C Agitación constante: 150 rpm
03	Enfriamiento	Melaza esterilizada	Temperatura por alcanzar: 40°C Agitación constante: 150 rpm
04	Fermentación	Inóculo y melaza clarificada	pH: 6 a 8 Temperatura: 30 a 35°C Tiempo de fermentación: 8 h

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Capacidad de producción

Se tendrá una producción anual de 34,560.00 litros, es decir 8,640.00 unidades de producto terminado.

6.4 Balance de materia

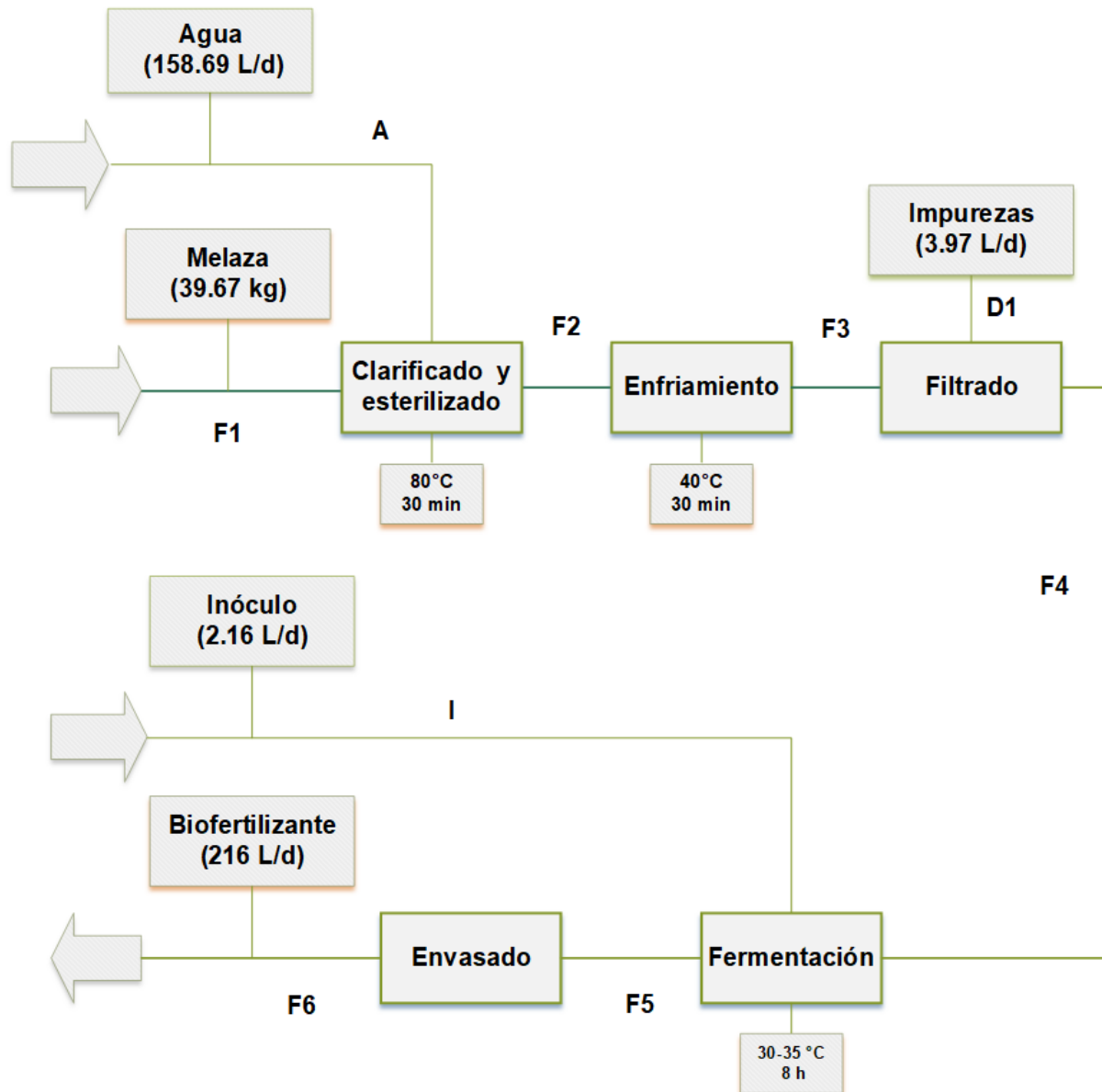


Figura 10. Resultado del balance de materia

6.5. Diagrama de flujo de proceso

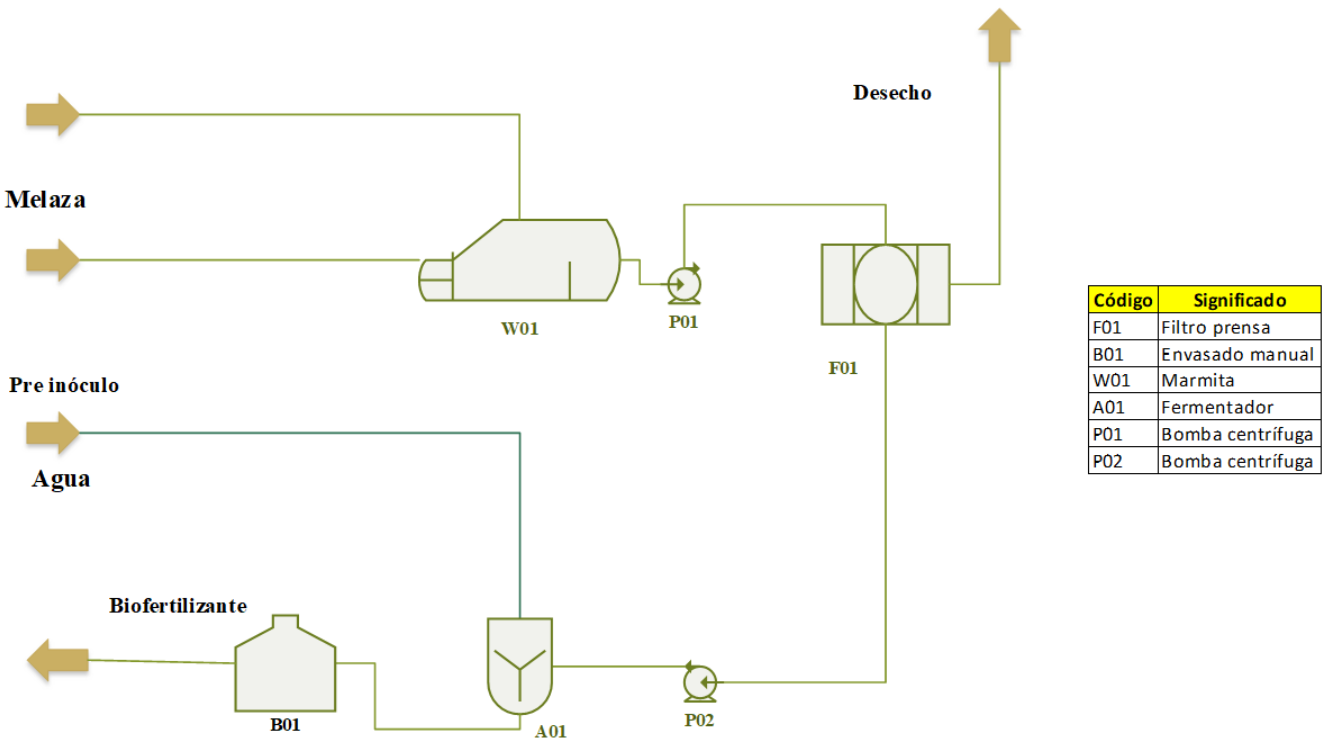


Figura 11. Flujo de proceso de producción de biofertilizante

6.2 Características de los equipos y auxiliares del proceso de producción

Se presentan las fichas técnicas de los equipos principales del proceso, mencionando: dimensiones, especificaciones técnicas, funcionamiento que tendrán los equipos durante la producción.

UBICACIÓN		Planta Piloto		ÁREA		Almacenamiento de Agua	
EQUIPO		Tanque de agua		VOLTAJE		-	
MARCA		Rotoplast		COLOR		Azul	
MODELO		701085		CANTIDAD		2 Ud.	
CAPACIDAD		1 100 L		PRECIO		U\$ 295.60	
-CARACTERÍSTICA GENERALES							
PESO	19.546 kg	ALTURA	142.5 cm	ANCHO	108 cm	LONGITUD	108 cm
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				IMAGEN DEL EQUIPO			

Fuente: <https://n9.cl/i5ydq>

UBICACIÓN		Planta Piloto		ÁREA		Proceso Productivo	
EQUIPO		Bomba centrífuga		VOLTAJE		220 a 240 V	
MARCA		AIKON		COLOR		Gris	
MODELO		CHL		CANTIDAD		1 ud.	
CAPACIDAD		0.5 a 240 m³/h		PRECIO		U\$ 136.99	
-CARACTERÍSTICA GENERALES							
PESO	13 kg	ALTO	---	ANCHO	---	LONGITUD	---
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				IMAGEN DEL EQUIPO			

- Componentes de paso de flujo de acero - Potencia: 0.37 kW - inoxidable 304 o 316. - Tipo de temperatura Normal: -15 °C a + 70 °C - Tipo de agua caliente: -15 °C a 110 °C - Temperatura ambiente: hasta + 40 °C - Presión máxima de funcionamiento: 10 bar - Máximo de cabeza: 60 m	
--	--

Fuente: <https://n9.cl/bensd>

UBICACIÓN		Planta Piloto		ÁREA		Proceso Productivo	
EQUIPO		Marmita		POTENCIA		1.5 kW	
MARCA		LENO		COLOR		Gris	
MODELO		LNK-300		CANTIDAD		1 ud.	
CAPACIDAD		300 L		PRECIO		U\$ 1,998.00	
-CARACTERÍSTICA GENERALES							
PESO	360 kg	ALTURA	---	ANCHO	---	LONGITUD	---
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				IMAGEN DEL EQUIPO			
1. Material: SS304/SS316L 2. Tipo de agitador: con rascador de PTFE y mezclador de alta cizalla 3. Sello mecánico: SIC/SiC/EPDM (estándar) 4. Motor: Siemens ABB LOCAL 50hz/ 60hz 5. Tratamiento de superficie: Pulida interior y exterior 6. Mezclador de baja velocidad: 0 a 43 rpm 7. Modo de calefacción: eléctrica, vapor o gas butano 8. Giro de la olla: 180° 9. Área de calentamiento: 1.15 m²							

Fuente: <https://n9.cl/fcxjb>

UBICACIÓN	Planta Piloto	ÁREA	Proceso Productivo

EQUIPO	Bomba rotor		VOLTAJE	220 a 240 V			
MARCA	Runway		COLOR	Gris			
MODELO	RTL05		CANTIDAD	1 ud.			
CAPACIDAD	0.02 a 0.5 m³/h		PRECIO	U\$ 530.00			
CARACTERÍSTICA GENERALES							
PESO	---	ALTO	---	ANCHO	---	LONGITUD	---
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				IMAGEN DEL EQUIPO			
1. Potencia: 0.12 a 1.1 kW 2. Presión: 0.1 a 0.2 MPa 3. Viscosidad: 1 a 20000 cp 4. Velocidad de rotación: 17 a 210 rpm							

Fuente: <https://n9.cl/w7jco>

UBICACIÓN		Planta Piloto		ÁREA		Proceso Productivo	
EQUIPO		Filtro prensa		VOLTAJE		220V/50 hz trifásico	
MARCA		Dazhang		COLOR		Gris	
MODELO		XMY4/450-30UK		CANTIDAD		1 Ud.	
POTENCIA		2.2 kW		PRECIO		U\$ 2,000.00	
-CARACTERÍSTICA GENERALES							
PESO	860 kg	ALTURA	---	ANCHO	---	LONGITUD	---
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				IMAGEN DEL EQUIPO			

1. Placa de filtro: 4 m² 2. Tamaño de la placa: 500x500 mm 3. Grosor de la torta: 30 mm 4. Volumen de la cámara: 60 L 5. Número de placas: 9 6. Presión de filtración: >0.6 MPa	 
--	--

Fuente: <https://n9.cl/v243q>

UBICACIÓN		Planta Piloto		ÁREA		Proceso Productivo	
EQUIPO		Biorreactor		VOLTAJE		110V/50-60 hz	
MARCA		-		COLOR		Gris	
MODELO		LI-SP86		CANTIDAD		1 Ud.	
CAPACIDAD		220 L		PRECIO		U\$ 297.89	
-CARACTERÍSTICA GENERALES							
PESO	-	ALTURA	0.344 m	ANCHO	0.217 m	LONGITUD	0.279 m
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				IMAGEN DEL EQUIPO			

Fuente: UNI-PIENSA

UBICACIÓN		Planta Piloto		ÁREA		Proceso Productivo	
EQUIPO		Compresor de aire		VOLTAJE		220 V/50Hz	
MARCA		APCOM		COLOR		Blanco	
MODELO		EX1100 * 3-120		CANTIDAD		1 ud.	
CAPACIDAD		300 L/min		PRECIO		U\$ 350.00	
-CARACTERÍSTICA GENERALES							
PESO	88.6 kg	ALTURA	86 cm	ANCHO	48 cm	LONGITUD	121 cm
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				IMAGEN DEL EQUIPO			
1. Potencia: 3.3 kW 2. Tanque: 120 L 3. Presión: 0.8 MPa 4. Componentes principales: PLC, Recipiente de presión, Motor, Equipo, Motor, De la bomba, Rodamiento, Caja de cambios							

Fuente: <https://n9.cl/in93e>

6.3 Costo total de equipos y auxiliares

Se presenta la estimación de la inversión en equipos y auxiliares de la planta piloto:

Tabla 10. Estimación de la inversión en equipos y auxiliares

N°	Equipo	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)	Proveedor
1	Tanque de almacenamiento	2	295.60	591.20	Nacional. Sinsa
2	Bomba centrífuga	1	136.99	136.99	Internacional. Alibaba
3	Bomba rotor	1	530.00	530.00	
4	Marmita	1	1,998.00	1,998.00	
5	Filtro prensa	1	2,000.00	2,000.00	
6	Compresor de aire	1	350.00	350.00	
Total		7		5,606.19	

Se estima una inversión de USD 5,606.19 para la adquisición de 7 equipos y auxiliares.

6.3.1 Inversión fija total

Se presenta la inversión fija total para la planta piloto:

Tabla 11. Estimación de la inversión de capital fijo

Concepto	Porcentaje aplicado al C. E.P.P	Costo estimado (USD)
Costos directos		
C. de equipos y auxiliares	100%	5,606.19
C. CIF (10% * C.E.A.)	10%	501.50
Subtotal costo de equipos puesto en planta (C.E.P.P)		6,698.89
C. de instalación	47%	3,148.48
C. Instrumentos y control	36%	2,411.60
C. tubería y accesorios	68%	4,555.24
C. instalación eléctrica	11%	736.88
C. edificios	0%	0.00
C. mejoras del terreno	10%	669.89
C. servicio	70%	4,689.22
Total costos directos		22,910.20
Costos indirectos		
C. ingeniería y supervisión	33%	2,210.63
C. construcción	41%	2,746.54

C. seguros e impuestos de construcción	0%	0.00
C. honorarios de los contratistas	22%	1,473.76
Gastos imprevistos	44%	2,947.51
Total costos indirectos		9,378.44
Inversión de capital fijo (USD)		32,288.64

La inversión estimada en capital fijo para la instalación de la planta piloto equivale a USD 32,288.64.

6.3.2 Costo de producción

Costo de materia prima e insumos

Se consideró que la melaza es donada y transportada a la universidad por el ingenio Montelimar. No se consideró un pago de agua, ya que la universidad cuenta con un pozo dentro de sus instalaciones. El gasto se tendría en las etiquetas y los recipientes plásticos para envasar el biofertilizante.

Tabla 12. Costo de insumos

Concepto	Consumo anual	Costo anual (USD)	Observación
Envasado	8,640.00	8,640.00	USD 1 por 4,500 unidades. Importada
Etiquetado	8,640.00	236.07	USD 0.027 por etiqueta
Total		8,876.07	

Fuente: Elaboración propia

6.3.3 Costo de mano de obra

Se consideró la contratación de dos personas para realizar las labores de operación de la planta piloto.

Tabla 13. Costo de mano de obra

Concepto	Cantidad	Salario unitario mensual (USD)	Salario mensual total (USD)	Salario anual (USD)	Ins 21.5 % (USD)	Inat 2% (USD)	Vacaciones (USD)	Terce avo mes (USD)	Beneficios sociales (USD)
-----------------	-----------------	---------------------------------------	------------------------------------	----------------------------	-------------------------	----------------------	-------------------------	----------------------------	----------------------------------

Operadores de producción	2	210	420.00	5,040.00	90.30	8.40	420.00	420.00	2,024.40
Subtotal MO directa	2		420.00	5,040.00	90.30	8.40	420.00	420.00	2,024.40

6.3.4 Costo de producción

Se presenta la estimación de los costos de producción para un año de operación de la planta piloto:

Tabla 14. Estimación del costo de producción

Concepto	Porcentaje aplicado	Costo anual (USD)	Costo total anual (USD)
C. materia prima e insumos	100%	8,640.00	8,640.00
C. mano de obra	100%	5,040.00	5,040.00
C. supervisión e ingeniería	100%	0.00	0.00
C. mantenimiento y reparación	6%	C. equipos en planta	401.93
C. auxiliares y servicios	10%	C. MTTO	40.19
C. suministros de operación	15%	C. MTTO	60.29
Costo directos de producción (USD/año)			14,182.42
Gasto de laboratorio	15%	C. MO	756.00
Cargos a panillas	100%	2,024.40	2,024.40
Gastos generales de la planta	6%	C. MTTO	24.12
Costos indirectos de producción (USD/año)			2,804.52
Gasto de depreciación	10%	5,606.19	560.62
Gastos impuestos y seguros	0%	C. equipos en planta	-
Costos fijos de producción (USD/año)			560.62
Costo de producción (USD/año)			17,547.55

El primer año de operación de la planta piloto tendrá un costo anual de USD **17,547.55**.

VII. CONCLUSIONES

Finalizado el trabajo de investigación, se plantean las siguientes conclusiones:

- Mediante las referencias bibliográficas se determinó que la bacteria *Bacillus Megaterium* favorece su crecimiento en un medio sólido de melaza obteniendo una mayor concentración de crecimiento a las 8 horas de su proceso fermentativo para obtener el biofertilizante listo para su envasado, almacenado y uso de aplicación.
- Las variables operacionales que intervienen en este proceso productivo de biofertilizante constituido por *Bacillus Megaterium*, concluyendo que se debe tener control son las siguientes: pH, temperatura, humedad, fósforo orgánico, tasa de crecimiento y fase de generación, tiempo de residencia y tasa de aireación.
- Se logró diseñar un proceso tecnológico para una planta piloto con 7 equipos, tales como: un filtro de presa, marmita de combustión a gas butano y el tanque fermentador en conjunto con sus instrumentación y accesorios para la producción del Biofertilizante.
- La evaluación de costos de inversión para montar la planta piloto del proceso de producción del biofertilizante constituido por una bacteria solubilizadora de fosfato *Bacillus Megaterium* refleja un costo de inversión fija de USD 32,288.64 y un costo de operación anual de USD 17,547.55.

Debido al diseño del equipamiento para llevar a cabo dicho proceso eficiente, los beneficios que tiene esta planta productora es validar un producto nuevo en el mercado para que aporte a la agricultura sostenible y poder producir productos de buena calidad para los diferentes mercados consumidores en Nicaragua, por tanto, es factible realizar dicho producto.

VIII. RECOMENDACIONES

Se brindan las siguientes recomendaciones:

- Realizar un costo beneficio de mantener grandes volúmenes de inóculo para uso inmediato.
- Con el fin de reducir los tiempos de procesos, se plantea clarificar la melaza para su posterior almacenamiento.
- Con el fin de optimizar los recursos, realizar otros estudios de elaboración de bioinsumos que utilicen el equipamiento propuesto.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Armenta-Bojórquez, A. D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. Á., Gerardo-Montoya, L., & Nava-Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51-56.
- Anaya-Durand, A., & Pedroza-Flores, H. (2008). Escalamiento, el arte de la ingeniería química: Plantas piloto, el paso entre el huevo y la gallina. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 31-39.
- Baca, L. (09 de 02 de 2018). Mapa de cultivos en la Región Autónoma de la Costa Caribe Sur. La Prensa. <https://www.laprensani.com/2018/02/09/economia/2374127-mapa-revela-que-produce-cada-departamento-de-nicaragua>
- Beltrán-Pineda, M. E. (2014). Bacterias solubilizadoras de fosfato con potencial biofertilizante en suelos cultivados con papa (*Solanum tuberosum*). *Agron*, 22(2), 7-20.
- Beltrán Pineda, M. E. (2014). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 101-113.
- Bobadilla C, Rincón S. Aislamiento y producción de bacterias fosfato solubilizadoras a partir de compost obtenido de residuos de plaza. [Tesis de grado]. Colombia; 2008.
- Cisneros-Rojas, C. A., Sánchez-de Prager, M., & Menjivar-Flores, J. C. (2017). Efecto de bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el desarrollo de plántulas de café. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 149-158.
- Corrales Ramírez, L. C., Sánchez Leal, L. C., Arévalo Galvez, Z. Y., & Moreno Burbano, V. E. (2014). *Bacillus*: género bacteriano que demuestra ser un importante solubilizador de fosfato. *Nova*, 12(22), 165-178.
- Cuervo Lozada, J. P. (2010). Aislamiento y Caracterización de *Bacillus* spp como fijadores biológicos de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos en dos muestras de biofertilizantes comerciales.
- Ereev, S., y Patel, M. (2012). Standardized cost estimation for new technologies (SCENT) - methodology and tool. *Journal of Business Chemistry*, pp. 31 - 48.
- Fernández J. Caracterización del proceso de crecimiento de *Bacillus subtilis* bajo condiciones anaerobias. [Tesis doctoral]. México; 2005.

Green, D., y Southard, M. (2018). Perry's Chemical Engineers' Handbook (Ninth Edition). EE.UU.: McGraw-Hill Education.

García, R. A., Lovaisa, N. C., & Ulla, E. L. (2015). Aislamiento y caracterización de bacterias solubilizadoras de fosfatos del Noroeste Argentino y su efecto en la promoción de crecimiento en maíz (*Zea mays* L.). *Revista agronómica del noroeste argentino*, 35(1), 13-28.

Hollmann, R. (2006). *Bacillus Megaterium* as a host for recombinant protein production. Engineering Life Science.

Khan, J. A. Biodegradation of Azo Dye by Moderately Halotolerant *Bacillus megaterium* and Study of Enzyme Azoreductase Involved in Degradation. *Advanced Biotech* (2011).

Kovács, Á. T. (2019). *Bacillus Megaterium*. *Trends in microbiology*, 27(8), 724-725.

McCabe, W., Smith, J., y Harriorr, P. (2007). Operaciones unitarias en ingeniería química (Séptima edición). México: McGraw-Hill interamericana.

Moss, D. (2004). Pressure vessel design manual (3ra edición). USA: Elsevier.

Mott, R. (2006). Mecánica de fluidos (Sexta edición). México: Pearson Educación.

O'connor Mendoza, J. L. (2019). *Descifrando el contenido microbiano de Bioinsumos nacionales para el diseño de un consorcio con potencial biofertilizante*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería.

Oscar, G. (2012). Impacto de Biofertilizantes en la agricultura. Centro de Investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Irapuato, Guanajuato, México.

Robles, S. A., & Jansen, A. (2008). Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso" Fermentación anaeróbica" para producción de biogás. *German Prof EC GmbH, Lima, Perú, BM-4-00-1108*, 1239.

Reva, O. N., Dixelius, C., Meijer, J., & Priest, F. G. (2004). Taxonomic characterization and plant colonizing abilities of some bacteria related to *Bacillus amyloliquefaciens* and *Bacillus Megaterium*, *FEMS microbiology ecology*, 48(2), 249-259.

Realpe, M. E., Hernández, C. A., & Agudelo, C. I. (2002). Especies del género *Bacillus*: morfología macroscópica y microscópica. *Biomédica*, 22(2), 106-109.

San Juan, A. N., Guevara, Y., Pérez, M., Dopico, D., León, V., Acosta, R., ... & Pineda, E. Desarrollo de Biofertilizantes a partir de las Bacterias *Gluconacetobacter Diazotrophicus* Y *Bacillus Megaterium* para la caña de azúcar y otros cultivos.

Shimizu, K., Nakamura, H. & Ashiuchi, M. Salt-Inducible Bionylon Polymer from *Bacillus Megaterium*. *Appl. Environ. Microbiol.* **73**:2378–2379 (2007).

Toro, M., Bazó, I., & López, M. (2008). Micorrizas arbusculares y bacterias promotoras de crecimiento vegetal, biofertilizantes nativos de sistemas agrícolas bajo manejo conservacionista. *Agronomía Tropical*, 58(3), 215-221.

Timmerhaus. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (Cuarta ed.). Singapore: McCraw Hill International Editions.

Timmerhaus, K., y Petters, M. (2003). *Plant design and economics for chemical engineers* (Fifth Edition). Estados Unidos de América: McGraw-Hill Inc.

Ulrich, G. (1984). *A guide to chemical engineering process design and economics* (1st ed.). Estados Unidos de América: John Wiley & Sons.

Vary, P. (2007). *Bacillus Megaterium* from simple soil bacterium to industrial protein production host. *Application of microbiology and biotechnology*.

X. Anexos

A. Cálculos de selección de equipos

1) Marmita

Flujo másico de entrada (F1+A)	198.37	kg/h
V tanque	183.67	l/h
V tanque sobredimensionado	220.41	l
P operación		1.03 kg/cm ²
h líquido	0.800	m
P diseño	1.116	kg/cm ²
P diseño	15.879	lb/pulg ²
tamaño óptimo del tanque		
P		15.879 lb/pulg ²
C	0.077	pulg
S	35000	lb/pulg ²
E	0.85	
V		
	7.78	pies ³
F		
	0.00693	
Di		
	2.11	pies
	25.32	pulg
	0.64	m
volumen del fondo Torresférico		
Vf	0.94	pies ³
altura interior total del tanque		
Lcc	1.96	pies
Lcc	0.60	m
espesor del cuerpo cilíndrico tc: espesor (pulg)		
P: Presión de diseño (PSI)	15.879	

R: Radio del tanque (pulg)	1.055	
S: Esfuerzo admisible (PSI)	35000	
E: Eficiencia de la junta	0.85	
C: Margen de corrosión (pulg)	0.077	
tc	0.08	pulg
tc	1.97	mm
espesor del fondo toriesféricos del tanque		
E	1	
$r=L/10$	2.532	pulg
L/r	10	
M	1.54	
t	0.08585	pulg
	2.18	mm
altura del fondo toriesférico del tanque		
espesor total	0.24	pulg
De	25.56	pulg
R	25.56	pulg
r	2.56	pulg
e	0.12	pulg
h1	0.41	pulg
h2	4.89	pulg
H	5.42	pulg
Dd	29.13	pulg
V(h2)	1623.271	pulg ³
Altura total del tanque		
LT	2.41	pies
LT	73.43	cm
Agitador		
Dt=d1	643.13	mm

h1	643.13	mm
d2	216.73	mm
h2	218.83	mm
h3	38.36	mm
s1	64.31	mm
s2	12.86	mm
Lt	734.34	mm
Le	515.51	mm
Deflectore		
S	53.59	mm
S		2.11 pulg
Potencia del agitador		
n		150 rpm
n		2.5 rps
u		4.80E+00
Re		2.64E+01
Np		5
P	40.35	w
P	0.05	hp
Pm	0.06	hp
P del agitador	0.08	hp
	56.04	W
Espeador de la chaqueta: E _{ch}	64.31	mm
Tiempo de calentamiento		
Re	232.66	
Pr	0.14	

coeficiente de transferencia de calor

ht	12,308.35	W/m2C
coeficiente global		

hte	8,000.00	W/m2C
-----	----------	-------

U	4,848.59	W/m2C
---	----------	-------

coeficiente global sucio al interior del tanque

Rd	0.0009	W/m2C
----	--------	-------

Ud	903.96	W/m2C
----	--------	-------

	3,254.25	kl/hm2C
--	----------	---------

Tiempo de Calentamiento

T1	120.00	C
----	--------	---

t1	30.00	C
----	-------	---

t2	80.00	C
----	-------	---

A	12.97	pies2
---	-------	-------

A	1.21	m2
---	------	----

tiempo	0.08	h
--------	------	---

tiempo	5.03	min
--------	------	-----

2) Filtro prensa

mf	194.40	kg/h
----	--------	------

Vf	0.180	m3
----	-------	----

Vff	0.22	m3
-----	------	----

Tamaño de la placa	XM/AZ800U	
--------------------	-----------	--

A	0.0232	m2
---	--------	----

Dimensiones de las placas

Espesor	0.0254	m
---------	--------	---

Tamaño de la placa	6x6	mm
Altura: H=tampo placa +2e		0.5588 m
Anchura: H		0.5588 m
Dimensiones	0.5588x0.5588x0.0254	m
número de placas		
Flujo másico de la torta: mc	3.97	kg
pc		1000 kg/m ³
Vc		3.97E-03 m ³
Tc	0.171	m
N	7.00	placas
Agua de lavado		
tf		1 min
k	0.02333	m ⁶ /min
rf	0.11	m ³ /min
rw	0.03	m ³ /min
tw		1 min
vw	0.03	m ³
mw	27.00	kg/h
Potencia		
Presión de trabajo		5 atm
Ws	14.584	pie-lbf/lbm
Ws		17/88 hp
Ws	144.09	W

3) Bombas

Bomba centrífuga

Volumen lote	183.67	l
--------------	--------	---

Tiempo vaciado tanque		10 min
Caudal	18.37	l/min
Caudal	4.85	gal/min
Rugosidad de la tubería inoxidable		0.8 mu
Altura de succión		0 m
Altura de descarga		2 m
Presión atmosférica		
Pérdida hr		4 m
Carga total (H)		
H	6.00	m
	19.69	pies
Rugosidad de la tubería inoxidable		0.8 mu
Altura de succión		0 m
Altura de descarga		2 m
Presión atmosférica		
Pérdida hr		4 m
Carga total (H)		
H	6.00	m
	19.69	pies