



Uso de residuos orgánicos de hojas de mora para la producción de biol en la sierra ecuatoriana

Use of organic waste from blackberry leaves for the production of biol in the Ecuadorian highlands

Uso de resíduos orgânicos de folhas de amora para a produção de biol no altiplano equatoriano

Edwin W. Sailema-Sailema ^I
wladdimiredwin300@hotmail.es
<https://orcid.org/0000-0003-4668-5554>

Alex I. Siza-Saquinga ^{II}
alexisaack57@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7469-9887>

Angel R. Guamán-Mendoza ^{III}
aguaman@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-7469-9887>

Jaime I. Acosta-Velarde ^{IV}
ji_acosta@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1034-7839>

Daniela C. Vásconez-Núñez ^V
daniela.vasconez@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1898-9529>

Fernando M. Tello-Oquendo ^{VI}
fernando.tello@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2551-9648>

Correspondencia: wladdimiredwin300@hotmail.es

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 20 de marzo de 2022 * **Aceptado:** 14 de abril de 2022 * **Publicado:** 16 de mayo de 2022

- I. Investigador Independiente, Barrio San Luis, Parroquia Picaihua, Ambato, Ecuador.
- II. Ecuacerámica, Darquea 27-40 entre Junín y Ayacucho, Riobamba, Ecuador.
- III. Carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- IV. Grupo de Investigación de Energía, Ambiente y Productividad (ENAMPROD), Carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- V. Grupo de Investigación y Desarrollo en Nanotecnología, Materiales y Manufactura (GIDENM), Carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- VI. Grupo de Investigación y Desarrollo en Nanotecnología, Materiales y Manufactura (GIDENM), Carrera de Ingeniería Automotriz, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.

Resumen

El presente trabajo propone el diseño de una planta de producción de biofertilizante orgánico para elaborar biol a partir de residuos de hoja de mora, en la región sierra ecuatoriana. La macrolocalización de la planta es la provincia de Tungurahua y la microlocalización es en el cantón Tisaleo. En base a encuestas realizadas a agricultores del cantón Tisaleo, se determinó que la demanda promedio mensual real es de 23167 litros de biol. El diseño de la planta contempla ocho áreas de trabajo que incluyen las áreas de picado de residuos, pesaje, biodigestión, filtrado, control de calidad, envasado del biol. Además, se determinó el requerimiento de máquinas, herramientas, operarios y recursos tecnológicos para el laboratorio de control de calidad de la planta de producción de biofertilizante orgánico. Se realizó el diagrama de flujo de procesos de la planta y la simulación del proceso productivo para un tiempo de 86400 minutos que corresponde a 2 meses, empleando 2 operarios que realizan las actividades para la elaboración del biofertilizante, resultando una utilización promedio de los operarios del 7.8%, y una producción mensual de 24900 litros de biol.

Palabras clave: biofertilizante; mora; distribución de planta; simulación de procesos; biol.

Abstract

This work proposes the design of an organic biofertilizer production plant to produce biol from blackberry leaf residues, in the Ecuadorian highland's region. The macro-location of the plant is in the province of Tungurahua and the micro-location is in the canton of Tisaleo. Based on surveys of farmers in the Tisaleo canton, it was determined that the real average monthly demand is 23,167 liters of biol. The plant design includes eight work areas, including waste chopping, weighing, biodigestion, filtering, quality control, and biol packaging. In addition, the requirement of machines, tools, operators, and technological resources for the quality control laboratory of the organic biofertilizer production plant was determined. The process flow diagram of the plant and the simulation of the production process were carried out for a time of 86400 minutes, which corresponds to 2 months, employing 2 operators who carry out the activities for the elaboration of the biofertilizer, resulting in average utilization of the operators of 7.8%, and a monthly production of 24900 liters of biol.

Keywords: biofertilizer; blackberry; plant distribution; process simulation; biol.

Resumo

O presente trabalho propõe o projeto de uma planta de produção de biofertilizante orgânico para elaborar biol a partir de resíduos de folhas de amora, na região do altiplano equatoriano. A macrolocalização da planta é a província de Tungurahua e a microlocalização é no cantão de Tisaleo. Com base em pesquisas com agricultores do cantão de Tisaleo, foi determinado que a demanda real média mensal é de 23.167 litros de biol. O projeto da planta contempla oito áreas de trabalho que incluem as áreas de trituração de resíduos, pesagem, biodigestão, filtragem, controle de qualidade, embalagem de biol. Além disso, foi determinada a necessidade de máquinas, ferramentas, operadores e recursos tecnológicos para o laboratório de controle de qualidade da planta de produção de biofertilizante orgânico. O fluxograma do processo da planta e a simulação do processo produtivo foram feitos para um tempo de 86400 minutos correspondente a 2 meses, empregando 2 operadores que realizam as atividades para a produção do biofertilizante, resultando em um aproveitamento médio dos operadores dos 7,8%, e uma produção mensal de 24,9 mil litros de biol.

Palavras-chave: biofertilizante; Amora; planta de distribuição; simulação de processos; biol.

Introducción

Ecuador es un país con una gran biodiversidad, el cual dispone de una amplia variedad de especies frutícolas que son comercializadas a nivel nacional e internacional, fortaleciendo así la economía del país. La mora es uno de los productos andinos con alta demanda a nivel mundial, la demanda de este fruto va creciendo a medida que se van comprobando los beneficios que proporciona a la salud de los seres humanos.

En ciertas zonas del Ecuador muchos productores agrícolas optan por el cultivo y comercialización de la mora debido a las características agroecológicas y climáticas consideradas aptas para la producción de este fruto. La mora puede ser cosechada durante todo el año en períodos continuos cortos, considerándose una ventaja en comparación con otros países que solo pueden cosecharla durante ciertas temporadas o estaciones.

Hoy en día, el sector agrícola busca nuevas alternativas de fertilización que mejoren la calidad de los productos sin contaminar excesivamente al medio ambiente. En muchos cultivos se están utilizando abonos orgánicos debido a la situación actual del planeta, con relación a la

contaminación con finalidades ecológicas, que buscan reemplazar los fertilizantes químicos por biofertilizantes o abonos orgánicos que pueden ser elaborados a partir de los residuos agrícolas.

Un abono orgánico es todo material de origen animal o vegetal que se utiliza para mejorar las características del suelo, como fuente de vida y nutrientes. Entre los abonos orgánicos, los más conocidos son el compost, el bocashi y el lombricompost o lombrihumus, el biol, pero también son comúnmente utilizados las aplicaciones de gallinaza y otros desechos vegetales frescos, entre otros (Soto y Meléndez, 2004, p.91).

La agricultura orgánica no solamente implica el hecho de fertilizar con abonos orgánicos (composta, biol, fermento, lombricomposta, entre otros) el suelo, sino generar un cambio de conciencia general para preservar el medio ambiente saludable. La Fig.1 muestra una clasificación de los abonos orgánicos más comunes.

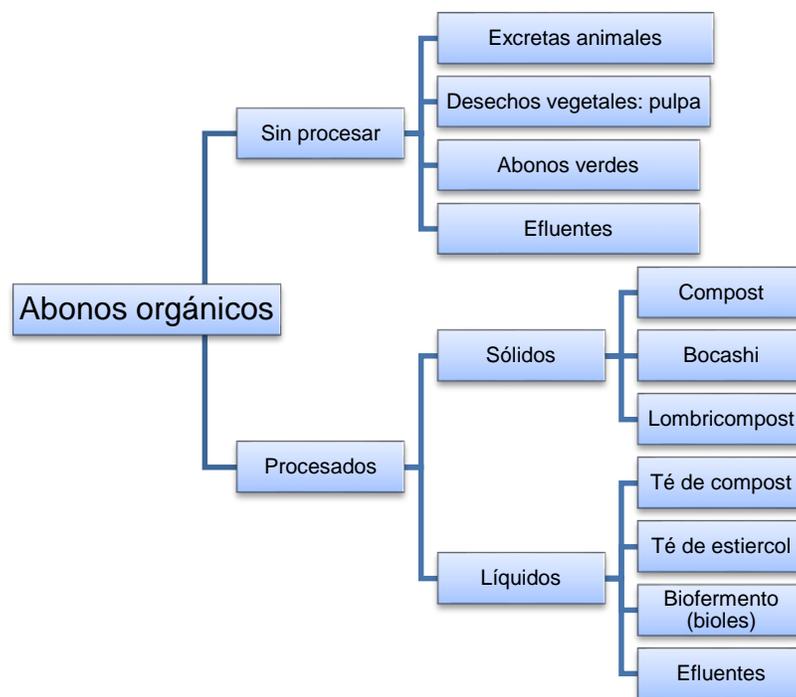


Figura 1. Tipos de abonos orgánicos (Mosquera B., 2010).

La producción y utilización de biofertilizantes o abonos orgánicos se basa en cuatro principios:

- aprovechar y reutilizar ciertos recursos que las personas poseen

- buscar la independencia de insumos externos, mediante la utilización de lo que se tiene a la mano y volviéndose productor de sus agroinsumos,
- reducir el impacto ambiental generado por el uso de fertilizantes químicos
- no poner en riesgo la salud del productor ni del consumidor, haciendo alusión a los consultores y vendedores de abonos orgánicos que no están bien estabilizados, y que su efecto no es igual al de un abono estable que pasó cierto tiempo de maduración

El uso de abonos orgánicos en los cultivos aporta nutrientes al suelo y funciona como base para la formación de múltiples compuestos que ayudan a la conservación de la actividad microbiana, como son: las sustancias húmicas (ácidos húmicos, fúlvicos, y húminas) que al incorporarla ejercerá distintas reacciones en el suelo como son (Herrán F. et al., 2008):

- mejora la estructura del suelo, facilitando la formación de agregados estables con lo que mejora la permeabilidad, aumenta la cohesión a suelos arenosos y disminuye ésta en suelos arcillosos.
- mejora la retención de humedad del suelo y la capacidad de retención de agua.
- estimula el desarrollo de plantas.
- Mejora y regula la velocidad de infiltración del agua, disminuyendo la erosión producida por el escurrimiento superficial.
- eleva la capacidad tampón de los suelos.
- contribuye en la disminución de riesgos carenciales y favorece la disponibilidad de algunos micronutrientes (Fe, Cu y Zn) para la planta.
- aporta elementos minerales en bajas cantidades, y es una importante fuente de carbono para los microorganismos del suelo.

Los abonos o biofertilizantes orgánicos presentan algunos aspectos que pueden ser considerados como desventajas, pero que a largo plazo serán superadas:

- Son de lento efecto, y al principio se recomienda un sistema combinado (convencional y orgánico) para ir remplazando totalmente los fertilizantes químicos por los orgánicos, y ayudarle al suelo a reestablecer el equilibrio natural.
- Presentan resultados a largo plazo, pero durante este proceso mejorará la fertilidad y propiedades del suelo, observándose un mejor porcentaje de germinación, mejor adaptación de plántulas al trasplantarlas al mismo, entre otros. El tiempo estimado para que un suelo

sea completamente orgánico varía entre los 3 a 5 años, o puede tardar más dependiendo del tratamiento del suelo y de los factores ambientales.

- Implica costos elevados en el manejo del suelo, pero se compensa al obtener plantas, frutos de mejor calidad y menor costo del manejo del suelo a futuro, reduciendo la contaminación del agua y medio ambiente.

La calidad del abono de los materiales utilizados en su elaboración y depende del proceso y de los métodos de producción. Según estos factores existirá variación del contenido de nutrientes y de microorganismos en los biofertilizantes. Por ejemplo, la microflora nativa de las compostas puede o no tener efecto antagónico sobre patógenos del suelo y, además, esta microflora continuará la degradación de la materia orgánica volviendo disponibles los nutrientes para la planta. Mientras mayor diversidad tenga la materia orgánica de la que se forma la pila o cama, mayor cantidad de nutrientes tendrá la composta madura (Herrán F. et al., 2008).

Las hojas de mora presentan buenas propiedades para la elaboración de biofertilizantes como el compost y el biol, presentando una relación carbono/nitrógeno de 11,66; que de acuerdo con la norma chilena NCh2880 del Instituto Nacional de Normalización, el compost que se puede obtener es de clase A, cumpliendo con los estándares de calidad para su aplicación en cultivos. Los valores de los macronutrientes que presenta el compost elaborado a base de la hoja de mora y estiércol de cuy son: Carbono=9,33%; Nitrógeno= 0,80%; Fósforo=0,43% y Potasio=0,36%. Mediante estos valores de macronutrientes obtenidos se determina que el compost obtenido puede ser empleado en plantaciones nativas de menor tamaño (Coyachamín Chiliquina, 2020; Casaca A., 2020).

La generación y manejo inadecuado de los desperdicios o residuos agrícolas resultantes del mantenimiento de áreas verdes y podas de cultivos presentan un gran problema debido a las grandes cantidades que actualmente se genera y a que esta materia se considera un residuo sin utilidad. Estos residuos son acumulados en terrenos baldíos, depositados en rellenos sanitarios o cualquier otro tipo de zonas y en muchas ocasiones son quemados por los agricultores para evitar la obstrucción de los terrenos. Una de las alternativas para el aprovechamiento de estos residuos de poda de las plantas es la elaboración de biofertilizantes como el compost o biol, abonos orgánicos que se producen añadiendo algún tipo de estiércol animal y el análisis de laboratorio que permiten determinar las propiedades benéficas de este biofertilizante para las plantas. (Cardona C. y Hernández R., 2008, p.13).

El presente trabajo proporciona una alternativa de aprovechamiento de recursos orgánicos disponibles en la sierra ecuatoriana, como son los residuos de hoja de mora, para la producción de biol. En primer lugar, se establece la ubicación de la planta de producción de biofertilizante, definiendo la macro y micro localización. Seguidamente, se analiza la demanda de biofertilizante de los agricultores de la zona 3 de la sierra ecuatoriana. Posteriormente, se propone un diseño de la planta de producción en donde se describen las distintas áreas y requerimientos de materiales y maquinaria para la planta. Finalmente, se analiza los tiempos de uso del personal y maquinaria en base de simulaciones del proceso productivo, para satisfacer la demanda media previamente identificada.

Metodología

Determinación de la ubicación de la planta de producción de biofertilizante

La localización de la planta de producción se determinó utilizando el método de factores ponderados, que consiste en realizar una comparación entre diferentes alternativas de posibles sectores donde podría ubicarse la planta mediante un análisis cuantitativo. En primer lugar, se determina la macro y microlocalización de la planta de producción. La macrolocalización se definió en función de la zona donde se ubicará la empresa, generalmente es una provincia. Posteriormente se define la microlocalización, seleccionando el lugar específico dentro de la macrozona, donde se ubicaría la empresa. La microlocalización se establece considerando la presencia o disponibilidad de servicios o factores que se vean involucrados con la empresa, algunos como la disponibilidad de materia prima, la disponibilidad de mano de obra, la disponibilidad de servicios básicos, la disponibilidad de transporte, la disponibilidad de vías de acceso, el clima, requisitos legales, entre otras.

Los pasos para determinar la microlocalización son:

- Identificar los factores relevantes.
- Asignar un peso a los factores identificados acorde a su importancia.
- Ponderar los factores en una escala de 1-10 o de 1-100.
- Relacionar el peso de los factores con las calificaciones asignadas.
- Establecer una conclusión en base a la alternativa que presenta mayor puntuación.

Determinación de la demanda de biofertilizante

Para la determinación de la demanda de biofertilizantes se realizó una encuesta a los agricultores del cantón definido en la microlocalización. Las preguntas de la encuesta se enfocaron en recabar información sobre el uso de abono orgánico en cultivos, el tipo de abono orgánico que utilizan, los aspectos que se consideran al momento de adquirir un abono orgánico, y los puntos de venta a los cuales acuden para la adquisición de abonos orgánicos. El tamaño de la muestra se calculó con la Ecuación (1), considerando un nivel de confianza del 95%, con un margen de error del 5%:

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

Donde:

n = Tamaño de muestra

N = Población total

E= Margen de error = 5% (0.05)

Z= Nivel de confianza. Para un nivel de confianza del 95%, Z=1.96

p = 0.5

q = 1-p = 0.5

La encuesta fue validada con el método de Test Retest, el cual permite determinar si la encuesta aplicada es confiable para obtener la información deseada, se le conoce también como coeficiente de estabilidad. El método Retest consiste en aplicar nuevamente la encuesta sobre la misma muestra en diferentes periodos de tiempo. Con los valores obtenidos se aplica la fórmula de correlación de Pearson (Ecuación (2))

$$r = \frac{N(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)}{\sqrt{[N(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2][N(\Sigma y^2) - (\Sigma y)^2]}} \quad (2)$$

Donde:

N= Número de encuestados.

X= Puntuaciones del Test.

Y= Puntuaciones del Retest.

El valor obtenido de la correlación de Pearson se analiza según la tabla del nivel de confiabilidad establecida por el método Test Retest.

Tabla 1. Nivel de confiabilidad Test Retest

Rango	Confiabilidad
0,81 a 1,00	Muy alta
0,61, a 0,80	Alta
0,41 a 0,60	Moderada
0,21 a 0,40	Baja
0,00 a 0,20	Muy baja
Valor negativo	Extremadamente baja
Mayor a 1	Extremadamente alta

La proyección de la población que utilizaría el biofertilizante se calcula con la Ecuación (3):

$$Pf = Pi(1 + r)^n \quad (3)$$

Donde:

Pf= Proyección estimada

Pi= Población inicial

r= Tasa de crecimiento poblacional

n=años de proyección

Diseño de la planta de producción

El primer paso en el diseño de la planta es el cálculo de la superficie necesaria para cada elemento dentro de las áreas de trabajo, en la que se contemplan 3 superficies: superficie estática, superficie de gravitación y superficie de evolución o movimientos para obtener una superficie general para el dimensionamiento de la planta.

- Superficie estática (Ss): Corresponde a muebles, máquinas, equipos y herramientas utilizados en el proceso productivo.

- Superficie de gravitación (S_g): Corresponde a la superficie que utiliza los trabajadores alrededor de los puestos de trabajo y por el material utilizado para el proceso productivo. Esta superficie se obtiene a partir del producto de la superficie estática por el número de lados de los equipos o las máquinas que van a ser utilizados (Ecuación (4)).

$$S_g = S_s \cdot N \quad (4)$$

- Superficie de evolución (S_e): Es la superficie que debe existir entre los puestos de trabajo para los desplazamientos de los trabajadores y para el mantenimiento de las instalaciones (Ecuación (5)).

$$S_e = (S_s + S_g) (K) \quad (5)$$

- Superficie total = Corresponde a la sumatoria de todas las superficies
- Coeficiente constante (K): Puede variar desde 0.05 a 3 dependiendo de las actividades de la empresa:

Tabla 2. Valores de coeficiente constante K .

Razón de la empresa	Coeficiente K
Gran industria alimenticia	0.05-0.15
Trabajo en cadena, transporte mecánico	0.10-0.25
Textil-Hilado	0.05-0.25
Textil-Tejido	0.05-0.25
Relojería. Joyería	0.75-1.00
Industria general con transportes no mecánicos	1.50-2.00
Industria mecánica	2.00-3.00

Una vez determinada la superficie de la planta, se dimensionan los equipos de procesos, estructura de la nave industrial, áreas de almacenamiento, etc.

Resultados y Discusión

Ubicación de la planta de producción de biofertilizante

La macrolocalización de la planta se estableció analizando los factores que más influyen en la producción de biofertilizante orgánico como son el estiércol de cuy y las hojas de mora para posteriormente determinar la microlocalización de la planta.

La producción de mora en el Ecuador se encuentra principalmente ubicado en las provincias de Cotopaxi, Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar, de las cuales Tungurahua es la provincia con mayor producción de mora, presentó un aporte del 41% del total de la producción nacional y constituye el 32% de la superficie cosechada durante el período 2001-2006. En la provincia de Bolívar se registró un 25% de la producción total y un 36% de la superficie cosechada. Mientras tanto la provincia de Cotopaxi presentó el 19% de la producción total del país y el 18% de la superficie cosechada. Finalmente, las provincias de Imbabura, Pichincha y Chimborazo presentaron valores de producción de 2.5%, 4.5% y 8% respectivamente, las tres provincias conjuntamente ocupan el 16% de la superficie cosechada en el Ecuador (Galarza et al., 2016). La Tabla 3 muestra los datos de producción de mora en el Ecuador en 2019. Las provincias que presentaron mayor producción de mora fueron: Tungurahua una producción total nacional del 39 % y un rendimiento de 7.46 t/ha; seguida de la provincia de Bolívar con una producción del 32 % y un rendimiento de 4.73 t/ha., y le sigue el Carchi con una producción total del 12 % y 18.22 t/ha de rendimiento. (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2019). De acuerdo con la Tabla 3 la producción de mora en la provincia de Tungurahua es la más importante en el centro del país, lo que es un factor positivo para el abastecimiento de materia prima para la planta de producción de biofertilizante.

Tabla 3. Producción de mora en el Ecuador en 2019 (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2019).

Provincia	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Tungurahua	852	806	6014	7,46
Bolívar	1.073	1037	4908	4,73
Carchi	105	105	1915	18,22
Cotopaxi	418	363	1226	3,37
Chimborazo	171	163	730	4,49
Otras	184	151	693	4,60
Total nacional	2803	2625	15485	5,90

Uno de los principales componentes para la elaboración del biofertilizante orgánico en base a la hoja de mora es el abono de cuy, elemento importante por los beneficios que aporta en la elaboración de abonos orgánicos. El estiércol de cuy presenta buenas propiedades para su uso en cultivos, se puede utilizar para producir compost porque es un abono rico en nutrientes. Es muy utilizado también para producir biol debido a que incrementa los nutrientes para la floración de las plantas. Por tal motivo se consideró la presencia del estiércol de cuy como uno de los principales factores para determinar la ubicación de la planta. Según el censo agropecuario del Ministerio de Agricultura y Ganadería (2010), la provincia de Tungurahua es la segunda provincia con mayor producción de cuyes, con una cifra anual de 957.221, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Provincias con mayor número de unidades productivas de cuyes (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2010).

Provincia	Unidades productivas agropecuarias	Número de cuyes
Azuay	68084	1044487
Tungurahua	45518	957221
Bolívar	21223	274829
Cañar	20146	291662
Carchi	7038	104786
Cotopaxi	36564	468178
Chimborazo	57340	812943

Según Meza U. (2017) la presencia de abono de cuy se concentra con mayor afluencia en los siguientes cantones de Tungurahua: Tisaleo con un 33,8%; Mocha con un 36,7%; Ambato con un 9, 8% y Cevallos con un 9,5%.

Según los datos mostrados, Tungurahua en el período 2001-2006 es la provincia con mayor producción de mora, con 41% del total de la producción nacional y un rendimiento de 4.75 t/ha; en el año 2016 se posicionó como la segunda provincia con mayor producción de mora, con un 33% de la producción nacional y un rendimiento de 8 t/ha, siendo el valor más elevado de todas las provincias

productoras en ese año. Finalmente, en el año 2019, Tungurahua nuevamente es la provincia con mayor producción de mora con un valor del 39 % de la producción total y un rendimiento de 7,46 t/ha. Para la ubicación de la planta de producción se consideraron 4 provincias de la Zona 3 del Ecuador que son: Cotopaxi, Chimborazo, Pastaza y Tungurahua. De las cuales, según la mayor presencia de materia prima (hoja de mora y estiércol de cuy) para la elaboración del biofertilizante, se decidió localizar la planta de producción en la provincia de Tungurahua, debido a que esta provincia presenta mayor cultivo y producción de mora y es la segunda provincia con mayor producción de cuyes y por ende existe mayor presencia del estiércol de cuy, siendo estas las principales ventajas para una localización estratégica de la planta para el abastecimiento constante de materia prima para la elaboración del biofertilizante.

Para establecer la microlocalización de la planta se utilizó el método de factores ponderados el cual consiste en asignar valores a los factores que se consideran importantes. Este método permite seleccionar la mejor opción de ubicación entre varias alternativas. En la microlocalización se delimita de manera exacta la ubicación de la planta de producción dentro de la macrozona, para lo cual se debe considerar factores importantes como:

- Disponibilidad de mano de obra.
- Disponibilidad de materia prima.
- Servicios básicos (Agua, energía eléctrica, teléfono).
- Clima.
- Vías de acceso y facilidad de transporte.

Para la microlocalización de la planta se consideraron los cantones con mayor producción de mora en Tungurahua, los cuales son: Ambato, Baños, Cevallos, Mocha, Patate, Pelileo, Píllaro y Tisaleo, y los cantones que se destacan en la crianza de cuyes para la obtención de estiércol de esta especie, los cuales son: Tisaleo, Mocha y Cevallos. Por lo tanto, teniendo en cuenta los factores mencionados, se determinaron 3 sectores para la ubicación de la planta de producción del biofertilizante, estos son:

- Tisaleo
- Mocha
- Cevallos

Tabla 5 muestra la matriz de factores ponderados para la microlocalización aplicada a los 3 cantones seleccionados. La escala definida fue de cero a diez y se seleccionó la que mayor puntuación acumuló en la suma de las ponderaciones.

Tabla 5. Matriz de microlocalización de la planta de producción de biofertilizante orgánico.

Factores de localización	Peso %	Alternativas de localización					
		Mocha		Tisaleo		Ambato	
		Calificación 1-10	Ponderación (Peso*calif.)	Calificación 1-10	Ponderación (Peso*calif.)	Calificación 1-10	Ponderación (Peso*calif.)
Materia prima disponible	40%	9	3.6	10	4	7	2.8
Servicios básicos	15%	8	1.2	9	1.35	9	1.35
Vías de acceso y transporte	20%	7	1.4	8	1.6	8	1.6
Condiciones climatológicas	15%	8	1.2	7	1.05	7	1.05
Mano de obra	10%	9	0.9	9	0.9	9	0.9
Puntuación total	100 %	8.3		8.9		7.7	

De acuerdo con la matriz de microlocalización, las condiciones más favorables para la microlocalización de la planta de producción del biofertilizante orgánico es en el cantón Tisaleo que se encuentra ubicado en la provincia de Tungurahua, con una altitud promedio de 3280 m.s.n.m. y una extensión aproximada de 59,90 km². La Fig. 2 resume la localización establecida para la planta de producción de biofertilizante orgánico.

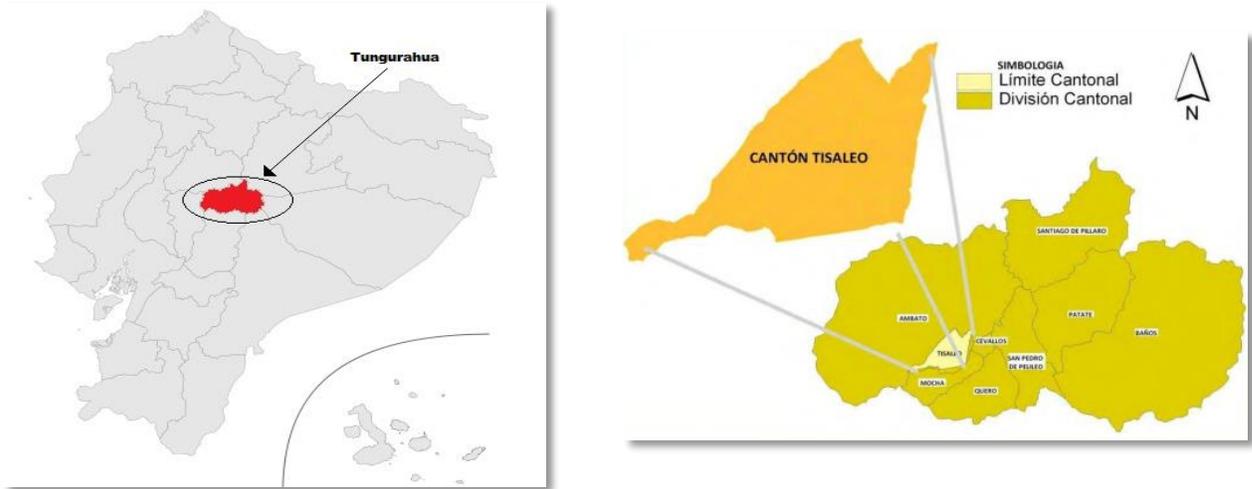
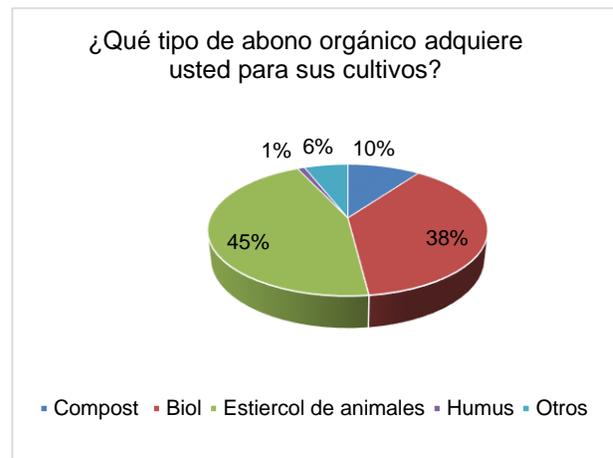


Figura 2. Localización de la planta de producción de biofertilizante orgánico.

Demanda de biofertilizante

Para establecer la demanda de mercado del biofertilizante se procedió a realizar una encuesta a los productores agrícolas de cantón Tisaleo, partiendo de 2670 personas dedicadas a la agricultura en el año 2021, se tomó una muestra de 336 personas, calculada con la Ecuación (1), a las cuales se dirigió la encuesta con la finalidad de conocer el criterio del uso del biofertilizante orgánico y determinar la capacidad de producción de la planta. La correlación de Pearson obtenida con los datos de la encuesta a través de la Ecuación (2) es de 0,63; que según la escala de ponderación de la Tabla 1, los resultados de la encuesta tienen un nivel de confiabilidad alto.



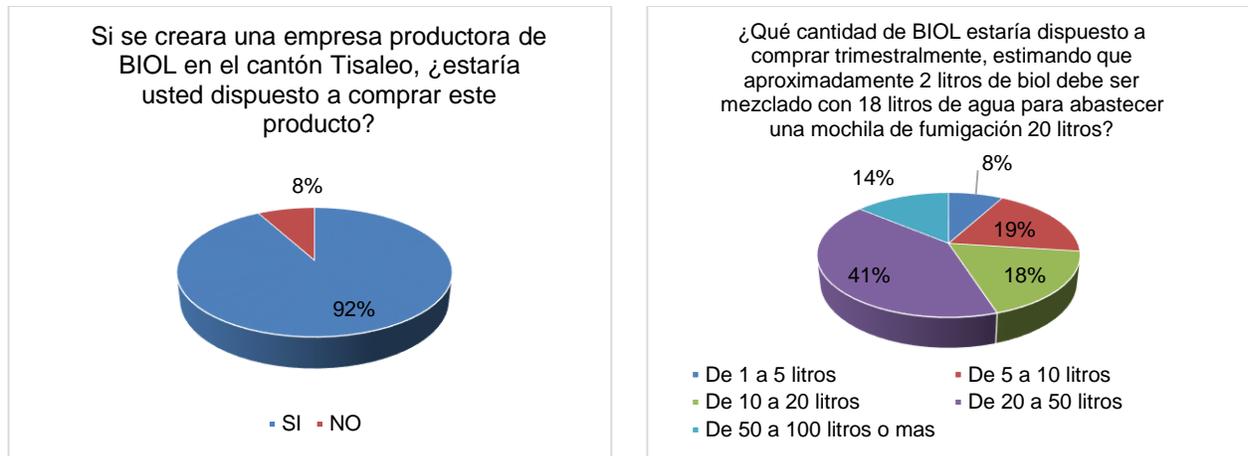


Figura 3. Resultados representativos de la encuesta aplicada a agricultores del cantón Tisaleo.

La Fig. 3 muestra los resultados de las preguntas más representativas aplicadas a los agricultores del cantón Tisaleo. Los resultados muestran que el 93% de la población encuestada adquiere abonos orgánicos para la aplicación en los cultivos. De este número de encuestados el 45% prefiere aplicar estiércol de animales a sus cultivos, el 38% prefiere aplicar biol, el 10% compost, el 1% adquiere humos y el 6% de la población mencionó que adquiere otros tipos de abonos orgánicos como: te de estiércol, bocashi y efluentes. Otro aspecto importante es que el 91% de los encuestados está dispuesto a adquirir abono orgánico tipo BIOL. De ellos, el 41% estaría dispuesto a comprar entre 20 a 40 litros trimestralmente, el 19% está dispuesto a comprar entre 5 y 10 litros trimestralmente, el 18% compraría entre 10 a 20 litros, el 14% entre 50 a 100 litros y el 8% estaría dispuesto a comprar entre 1 a 5 litros. La población proyectada que podría utilizar el biofertilizante a partir del año 2021 para 5 años se calcula con la Ecuación (3), considerando una población inicial de 2670 y una tasa de crecimiento del 1,9%. Dicha población es de 2933 habitantes en el año 2026. A partir de estos valores se realizó un estudio de mercado, en donde se calculó la demanda potencial, demanda efectiva, consumo per cápita y demanda real, considerando un porcentaje de agricultores del cantón Tisaleo que emplean abonos orgánicos en sus cultivos del 93% de la población encuestada, el porcentaje de la población que estaría dispuesta a adquirir el biofertilizante orgánico BIOL del 92%. La demanda promedio real es de 278000 litros de biol anuales.

Diseño de la planta de producción

La planta de producción de biofertilizante estará diseñada bajo los parámetros técnicos de dimensionamiento y distribución de sus componentes, de forma que las instalaciones presten las facilidades necesarias para la ejecución de las actividades del sistema productivo y posean la capacidad para satisfacer la demanda promedio.

La Tabla 6 resume las áreas de trabajo de la planta de producción, los equipos, máquinas, herramientas y requerimientos tecnológicos para el laboratorio de control de calidad, que se consideraron para la elaboración de biofertilizante orgánico.

Tabla 6. Áreas de trabajo, equipos, máquinas, herramientas y requerimientos tecnológicos para el laboratorio de control de calidad de la planta de producción de biofertilizante orgánico.

Áreas de trabajo de la planta de producción	Equipos, máquinas y herramientas	Requerimiento tecnológico para el laboratorio de control de calidad
<ul style="list-style-type: none"> • área de picado • área de pesado • área de biodigestión • área de filtrado • área de control de calidad • área de envasado del biol • área de secado, área de molido • almacenamiento final del biosol 	<ul style="list-style-type: none"> • picadora industrial, • báscula biodigestor de tecnología CSTR, • bomba centrífuga, • separador de sólidos y líquidos, • máquina secadora, • molino, • máquina envasadora, • depósito de agua, • depósito del suero de leche. 	<ul style="list-style-type: none"> • estufa de secado • mufla • espectrofotómetro • pH-metro • conductímetro

Descripción del proceso productivo a escala industrial

En base a la demanda determinada en el estudio de mercado, la cantidad de producción promedio requerida anualmente es de 278000 litros de biofertilizante anuales. Se requieren producir 23167 litros

de biol mensualmente. Considerando que la capacidad de los biodigestores a utilizar es de 8000 litros, se producirá 1 biodigestor semanalmente para satisfacer la demanda.

El rendimiento del biofertilizante es de un 78%, por lo tanto, la cantidad aproximada de biol que se obtendrá de un biodigestor de 8.000 litros al final del proceso será 6.240 litros, y se estima obtener 24960 litros de biol cada mes. En base a estas cifras, en la Tabla 7 se detallan los requerimientos de insumos para la producción semanal.

Tabla 6. Requerimiento semanal de las materias primas

Insumos	Cantidades
• Estiércol de cuy	2000 kg
• Hojas de mora picada	400 kg
• Microorganismos de montaña	160 kg
• Azúcar morena	160 kg
• Suero de leche	120 L
• Ceniza	40 kg
• Cáscara de huevo	20 kg
• Agua	5000 L

1.- El proceso inicia desde el transporte de los residuos de la planta de mora hacia la máquina picadora, hasta obtener una cantidad de residuos de 400 kg, cantidad que abastece a un biodigestor para la producción semanal.

2.- El siguiente proceso es el pesado de los demás insumos en las siguientes cantidades:

- 2000 kg de estiércol de cuy.
- 160 kg de tierra de bosque virgen (microorganismos de montaña).
- 160 kg de azúcar morena.
- 40 kg de ceniza.
- 20 kg de cáscara de huevo.

3.- Transporte de todos los insumos pesados en las cantidades especificadas hacia la tolva de carga de sustrato del biodigestor. Mediante una bomba centrífuga, el agua y suero de leche deben ser

transportados hacia el biodigestor en una cantidad aproximada de 5000 litros y 120 litros, respectivamente.

4.- Hermetizar el biodigestor y esperar aproximadamente 30 días que es el tiempo necesario para que se realice la correcta biodigestión de la mezcla, manteniendo una temperatura entre 33°C a 40°C.

5.- Posterior a la medición de las variables del proceso de biodigestión se realiza el filtrado de la mezcla, para lo cual el contenido del biodigestor pasa por un separador de sólidos y líquidos que permite separa el compuesto y obtener el biol y biosol.

6.- El biol filtrado es transportado mediante una bomba centrífuga al tanque dosificador y es envasado en botellas de 1 litro para su posterior almacenamiento y comercialización.

Diagramas de flujo del proceso

El biol es el producto principal del proceso de biodigestión. Además, se obtienen dos productos secundarios que son el biosol y el biogas. Es importante aclarar que el alcance del presente trabajo no contempla la descripción del proceso de obtención del biosol y del biogás.

Fig. 4 muestra el diagrama de flujo de la producción de biol. El diagrama de flujo presenta la secuencia de las actividades de operación, transporte, inspección, demora y almacenamientos de los diferentes insumos que intervienen en el proceso de producción para la obtención de un lote de 6240 litros de biol, que corresponde a la cantidad que puede producir un biodigestor al final de la etapa de biofermentación.

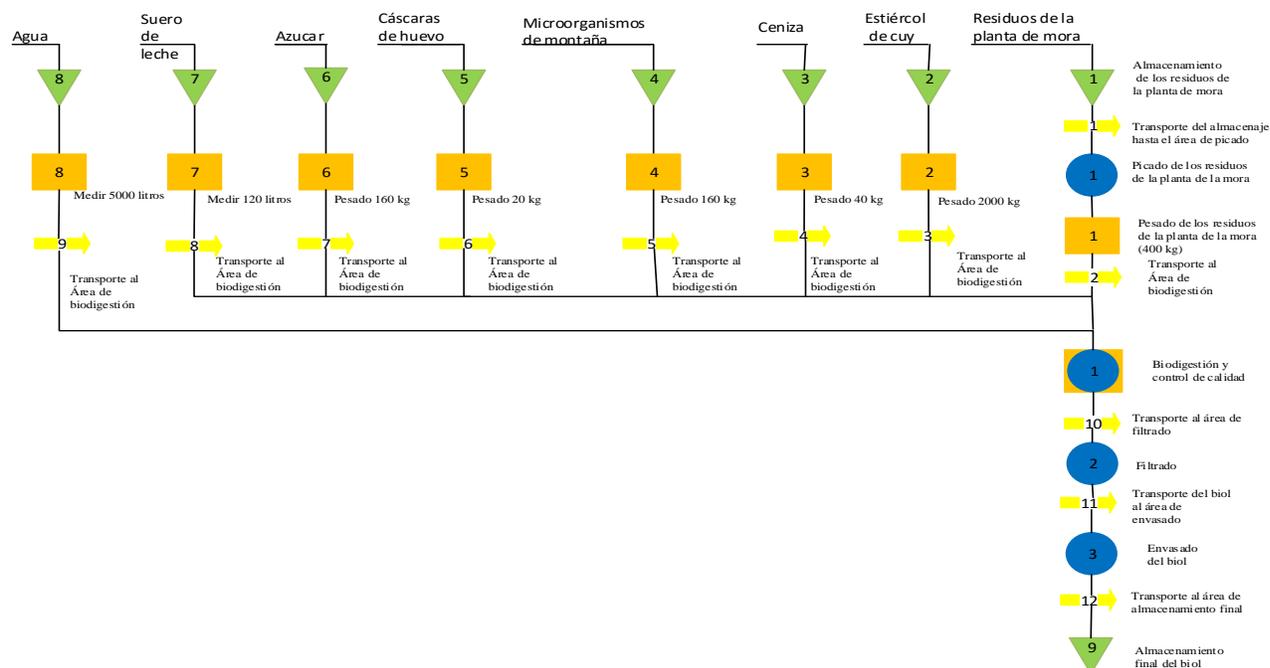


Figura 4. Diagrama de flujo de la producción de biol

Dimensionamiento de la planta de producción

El valor del coeficiente constante (K) considerado es de 1.5 según la Tabla 2, el cual corresponde a una industria general con transportes no mecánicos. La Tabla 7 muestra las superficies estáticas de las áreas de trabajo de la planta.

Tabla 7: Superficies estáticas de las áreas de trabajo

Área	Superficies estáticas (Ss) (m^2)
Almacenamiento de residuos mora	6
Almacenamiento de Estiércol de cuy	6
Almacenamiento de ceniza	6
Almacenamiento de Microorganismos	6
Laboratorio de control de calidad	15
Almacenamiento de producto terminado	30
Pasillo principal	75
Total	144

La Tabla 8 resume las superficies estáticas de elementos máquinas y equipos.

Tabla 8: Superficies estáticas de elementos, máquinas y equipos

Máquinas y equipos	Superficies estáticas (m^2)	N° de elementos	Superficie total estática (Ss) (m^2)	Número de lados de operación (N)
Maquina picadora	1,50	1	1,50	2
Báscula	1,50	5	7,50	1
Tanque biodigestor	5,15	4	20,60	2
Bomba centrifuga	0,50	6	3,00	2
Transportador de pallets	1,50	1	1,50	1
Contenedor de azúcar	1,50	1	1,50	1
Contenedor de cascaras de huevo	1,00	1	1,00	1
Tanque depósito agua	5,78	1	5,78	1
Depósito leche	0,54	1	0,54	1
Separador de sólidos y líquidos	1,50	1	1,50	2
Tanque dosificador de biol	5,15	1	5,15	1
Máquina secadora	2,40	1	2,40	1
Molino		1	1,20	2
Recipiente de almacenamiento de biosol	4,00	1	4,00	1
Total	33,22	26	57,17	

La Tabla 9 muestra las superficies gravitacionales y de evolución de máquinas y equipos de la planta, calculadas con las ecuaciones (4) y (5), respectivamente.

Tabla 9. Superficies gravitacionales y de evolución de máquinas y equipos

Máquinas y equipos	Superficies estáticas (Ss) (m²)	Número de lados de operación (N)	Superficies gravitación (Sg) (m²)	Superficie de evolución (Se) (m²)
Maquina picadora	1,50	2	3,00	6,75
Báscula	7,50	1	7,50	22,50
Tanque biodigestor	20,60	2	41,20	92,70
Bomba centrífuga	3,00	2	6,00	13,50
Transportador de pallets	1,50	1	1,50	4,50
Contenedor de azúcar	1,50	1	1,50	4,50
Contenedor de cáscaras de huevo	1,00	1	1,00	3,00
Tanque depósito agua	5,78	1	5,87	17,34
Depósito leche	0,54	1	0,54	1,62
Separador de sólidos y líquidos	1,50	2	3,00	6,75
Máquina envasadora dual	5,15	1	5,15	15,45
Máquina secadora	2,40	1	2,40	7,20
Molino	1,20	2	2,40	5,40
Recipiente de almacenamiento de biosol	4,00	1	4,00	12,00
TOTAL	57,17	TOTAL	85,06	213,24

Una vez obtenido todos los valores de las superficies se suma todos los valores para obtener la superficie total de la planta, resultando un área de 499,47 m². Este valor corresponde a la superficie mínima total de la planta de producción de biofertilizante.

La planta de producción de biofertilizante estará conformada por las siguientes áreas:

- Almacenamientos de materia prima y producto terminado.
- Área de picado.
- Área de biodigestión.
- Área de filtrado.
- Área de envasado de biol.
- Área de secado.
- Área de molido.
- Área de control de calidad.
- Oficinas administrativas.
- Parqueadero.

La Fig. 5 ilustra el diseño 3D de la planta de producción de biofertilizante



Figura 5. Diseño 3D de la planta de producción de biofertilizante

La Fig. 6 muestra el diagrama de recorrido de la producción de biol. En esta figura se muestra la distribución de los puestos de trabajo dispuestos en el layout de la planta y el recorrido que realizan los recursos durante la elaboración de los productos, siguiendo la secuencia descrita en el diagrama de flujo.

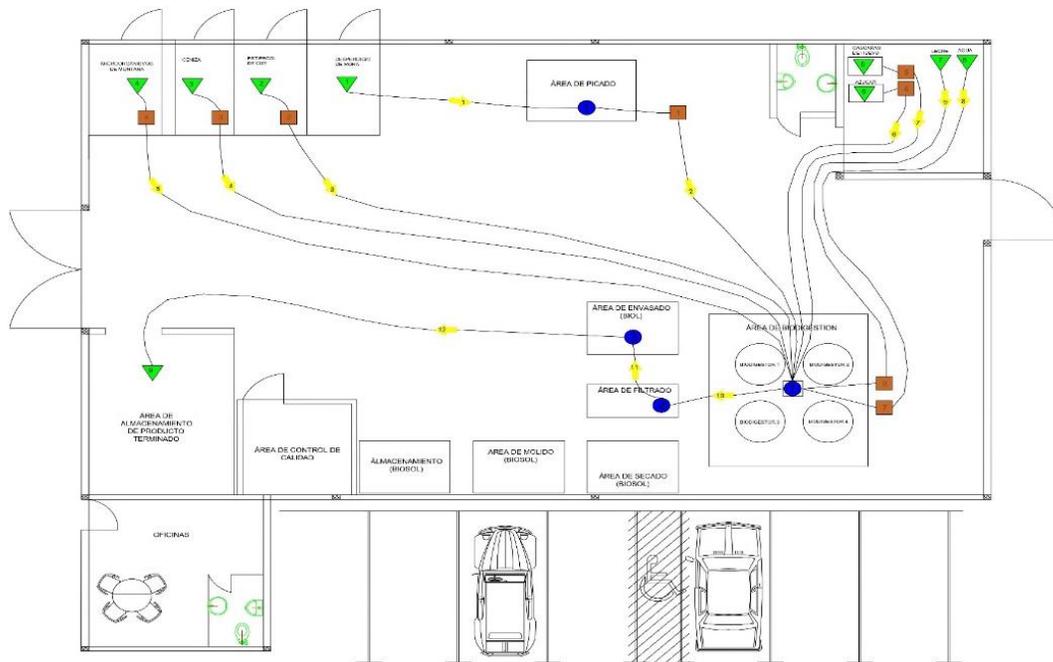


Figura 6. Diagrama de recorrido del biol

Para satisfacer la demanda de 23167 litros de biol mensualmente, mediante la planificación de producción semanal con un biodigestor de capacidad de 8000 litros. La Tabla 9 muestra el diagrama de análisis de procesos, donde se detallan las actividades de operación, transporte, inspección, demora y almacenamientos de los diferentes insumos que intervienen en el proceso productivo; se detallan también los tiempos estimados para cada actividad acorde a la capacidad de las máquinas y distancias desplazadas por los operarios. Del mismo modo se muestra el orden del ingreso de materias primas y los valores totales, tanto de transportes de los insumos como del tiempo de ciclo de cada uno de los productos.

En el diagrama de análisis de procesos se determinó que el proceso productivo para la obtención de biol está conformado por 33 actividades, las cuales corresponden a: 9 almacenamientos, 3 operaciones, 8 inspecciones, 12 transportes y 1 actividad combinada. Todo el proceso productivo tiene una duración de 43761 min para la obtención del biol.

Simulación del proceso productivo

La simulación del proceso productivo se realizó empleado el software FLEXSIM, para lo cual se desarrolló del diseño de la planta considerando la ubicación de las máquinas en los puestos de trabajo según la distribución de planta propuesta, y se estimaron los tiempos de proceso en base a

la capacidad de las diferentes máquinas y cantidad de materias primas requeridas (Villanueva C., 2008; Arbós L., 2009). Para la simulación se consideraron dos operarios encargados de realizar las actividades productivas, los cuales cumplen las siguientes funciones:

- Picado de los residuos de mora: Operario 1.
- Transporte de las materias primas a los biodigestores: Operarios 1 y 2.
- Preparación de las diferentes máquinas: Operarios 1 y 2.
- Envasado del biol: Operarios 1 y 2.
- Transporte del biol envasado al almacenamiento final del biol: Operarios 1 y 2.
- Transporte de residuos sólidos del separador a la máquina secadora: Operarios 1 y 2.
- Transporte de residuos sólidos de la máquina secadora al molino: Operarios 1 y 2.
- Transporte de residuos sólidos del molino al almacenamiento final del biosol: Operarios 1 y 2.

La secuencia de llenado de los biodigestores es de uno cada semana para la producción continua, obteniendo a partir del segundo mes la descarga de los biodigestores semanalmente.

Considerando que el proceso productivo requiere un período de tiempo largo de biodigestión, en la simulación se consideró un tiempo de 86400 minutos, correspondiente a 2 meses de producción.

La Fig 7 muestra la utilización de los operarios. Los resultados de la simulación muestran que el porcentaje de ocupación de los operarios 1 y 2 son 7.94% y 7.83%. Esto se debe a que la mayoría del tiempo del proceso corresponde a la biodigestión, por lo que los operarios deben esperar hasta que los biodigestores cumplan el tiempo estimado de biofermentación de 30 días aproximadamente, periodo en el cual los operarios tienen baja utilización.

Tabla 9. Diagrama de análisis del proceso de obtención de biogás.

DIAGRAMA DE OPERACION DE PROCESOS													
Empresa:													
Áreas / Departamentos:	Producción												
Producto	BIOL												
Fases del método	Actual:	x	Mejorado:		Fecha:	24 de junio del 2021							
Elaborado por:	Isaac Siza, Edwin Sailema												
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	Distancia	TIEMPO (min)						SÍMBOLOS DEL DIAGRAMA					
	(m)	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Almacen	Actividad combinada						
Almacenamiento de hojas de mora													
Transporte de las hojas de mora del almacenamiento al área de picado	2		2										
Picado de las hojas de mora		15											
Pesado de las hojas de mora (400 kg)				3									
Transporte de las hojas de mora al tanque biodigestor	4		1										
Almacenamiento (estiercol de cuy)													
Pesado del estiercol de cuy (2000 kg)				7									
Transporte del estiercol de cuy al tanque biodigestor	6		5										
Almacenamiento de materia prima (Ceniza)													
Pesado de la ceniza (40 kg)				3									
Transporte de la ceniza al tanque biodigestor	8		3										
Almacenamiento de materia prima (Microorganismos de montaña)													
Pesado de los microorganismos de montaña (160 kg)				3									
Transporte de los microorganismos al tanque biodigestor	10		3										
Almacenamiento de materia prima (Casacas de huevo)													
Pesado de la cascara de huevo (20 kg)				2									
Transporte de las casacas de huevo al tanque biodigestor	4		2										
Almacenamiento de materia prima (Azucar)													
Pesado del azucar (160 kg)				3									
Transporte del azucar al tanque biodigestor	4		2										
Almacenamiento de materia prima (Leche)													
Medir 120 litros de leche				5									
Transporte de la leche al tanque biodigestor	5		2										
Almacenamiento de materia prima (agua)													
Medir 5000 litros de agua													
Transporte del agua al tanque de biodigestión	7		20										
Biodigestión y control de calidad							43200						
Transporte al área de filtrado del biol	2												
Filtrado del biol		30											
Transporte del biol al área de envasado	4		20										
Envasado del biol para su comercializacion		400											
Transporte del envasado al area del almacenamiento final	3		30										
Almacenamiento del producto terminado													
TOTAL	59	445	90	26	0	0	43200	3	12	8	0	9	1

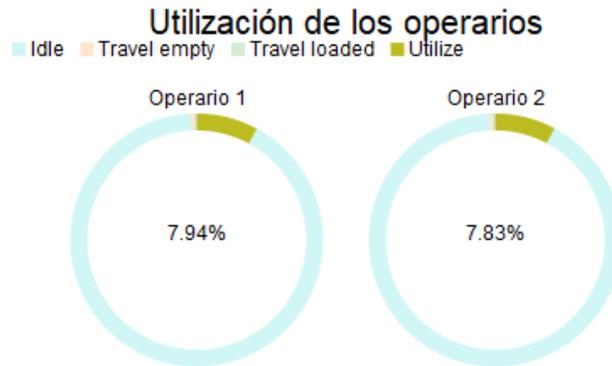


Figura 7. Resultados de la utilización de operarios en el proceso productivo.

Con respecto a la utilización de las máquinas, La Fig. 8 muestra que, a excepción de los biodigestores, los porcentajes de utilización de las demás máquinas son bajos durante el tiempo de simulación, debido a que la mayoría de las máquinas únicamente trabaja cuando un biodigestor debe ser llenado o vaciado. Se debe considerar que la gráfica representa valores bajos debido a la relación con el tiempo elevado de simulación.

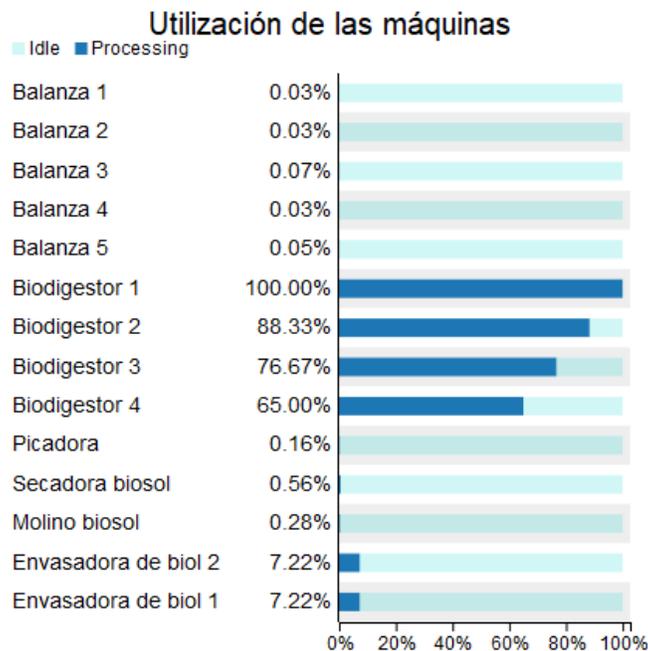


Figura 8. Resultados de la utilización de máquinas en el proceso productivo.

Mediante la simulación se determina que los 4 biodigestores están en capacidad de producir aproximadamente 24960 litros de biol mensualmente, comprobando que se puede satisfacer la demanda determinada en el estudio de mercado, la cual fue de 23167 litros de biol mensual.

Conclusiones

El presente trabajo aborda el diseño de una planta de elaboración de biol a partir de residuos de hoja de mora. En base al estudio realizado se detallan las siguientes conclusiones:

- La ubicación de la planta de producción de biofertilizante se determinó utilizando el método de ponderación de factores, cuyo resultado de la macrolocalización es la provincia de Tungurahua y la microlocalización es el cantón Tisaleo, por las condiciones más favorables con relación a la presencia de materia prima, accesibilidad, servicios básicos, condiciones climatológicas y mano de obra disponible.
- En base a una encuesta realizada a 336 agricultores de Tisaleo, se determinó que el 93% de la población encuestada adquiere abonos orgánicos para la utilización en cultivos, de los cuales el 38% prefiere aplicar biol. El 91% de los encuestados está dispuesto a adquirir abono orgánico tipo biol. De ellos, el 41% estaría dispuesto a comprar entre 20 a 40 litros, trimestralmente.
- La población proyectada que podría utilizar el biofertilizante a 2026 es de 2933 agricultores. En base a esta proyección, la demanda promedio real es de 278000 litros de biol anuales, lo que corresponde a 23167 litros de biol mensuales.
- Se definieron 8 áreas de trabajo de la planta de producción de biofertilizante que incluyen las áreas de picado de residuos, pesaje, biodigestión, filtrado, control de calidad, envasado del biol. Además, se determinaron las máquinas, herramientas y requerimientos tecnológicos para el laboratorio de control de calidad de la planta de producción de biofertilizante orgánico.
- Se realizó la simulación del proceso productivo para un tiempo de 86400 minutos que corresponde a 2 meses, empleando 2 operarios que realizan las actividades para la elaboración del biofertilizante. Los resultados muestran que la utilización promedio de los operarios es del 7.8%, y la cantidad de promedio de biol que se puede producir mensualmente es de 24900 litros de biol, cantidad suficiente para satisfacer la demanda mensual de 23167 litros.

Referencias

1. **ARBÓS, Luis. C.** 2009. *Diseño avanzado de procesos y plantas de producción flexible: técnicas de diseño y herramientas gráficas con soporte informático*. Profit Editorial.
2. **CARDONA CASTELBLANCO, S. y HERNÁNDEZ RÍOS, L.J.** 2008. Aprovechamiento de residuos de podas mediante compostaje en la escuela Militar de Aviación «Marco Fidel Suárez» [en línea] (Trabajo de titulación). (Administrador ambiental) Universidad Autónoma de Occidente. Cali, Colombia. 2008. p.13. [Consulta: 19 abril 2021]. Disponible en: <http://red.uao.edu.co//handle/10614/6399>
3. **CASACA, Á.D.** El Cultivo de la Mora (Parte I). [Blog]. Costa rica, 2020. [Consulta: 2021-04-16]. Disponible en: https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_mora__parte_i_.asp
4. **COYACHAMÍN CHILQUINGA, J.F.** 2020. Diseño de un biorreactor para la obtención de compost a partir de hojas de mora y estiércol de cuy para el grupo de investigación ENAMPROD de la Facultad de Mecánica. (Trabajo de titulación), (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2020.
5. **FÉLIX HERRÁN, J.A; et al.** "Importancia de los abonos orgánicos". *Ra Ximhai Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*. [En línea], 2008, (México), ISSN 1665-0441. pp. 58-62. [Consulta: 19 abril 2021]. Disponible en: <http://www.uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-10articulosPDF/Art%5b1%5d%204%20Abonos.pdf>
6. **GALARZA, D., et al.** *El cultivo de la mora en el Ecuador* [en línea]. Quito-Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa Nacional de Fruticultura, 2016. [Consulta: 24 abril 2021]. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4878>
7. **MEZA URDIALEZ, A.J.,** El sistema de comercialización y su influencia en la competitividad de la cooperativa “COPRACUY” de la provincia de Tungurahua en el período 2016. [En línea], (Trabajo de titulación), (Maestría). Universidad Tecnológica Indoamérica, Ambato-Ecuador. 2017. p.67. [Consulta: 26 abril 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uti.edu.ec//handle/123456789/408>

8. **MOSQUERA, B.**, Abonos orgánicos, protegen el suelo y garantizan alimentación sana. Manual para elaborar y aplicar abonos y plaguicidas orgánicos. Fondo para la protección del agua FONAG. 2010.
9. **MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA**, *Boletín situacional mora*. [Blog]. Ecuador, 2019. [Consulta: 24 abril 2021]. Disponible en: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/frutas/mora>
10. **MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA**, *Censo Nacional Agropecuario*. Ecuador, 2010. [Consulta: 24 abril 2021]. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/CNA/Tomo_CNA.pdf
11. **SOTO, G. y MELÉNDEZ CELIS, G.** "Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos". *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*. [En línea], 2004, (Costa Rica), No. 72, p. 91. [Consulta: 19 abril 2021]. Disponible en: <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/318>
12. **VILLANUEVA CASTRILLÓN, J.** 2008. "La simulación de procesos, clave en la toma de decisiones". *DYNA ingeniería e industria*. [En línea], 2008, vol. 83, no. 4, pp. 2212-223. ISSN 0012-7361. [Consulta: 21 abril 2021].