



Análisis de localización para una planta de producción industrial de biofertilizante

Location analysis for an industrial biofertilizer production plant

Análise de localização para uma planta industrial de produção de biofertilizantes

Adrián Antonio Pérez-Agualongo ^I
adrian_p123@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0002-6542-2146>

Cueva Ochoa Maykel-Israel ^{II}
cool.maykel@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0614-6831>

Jaime Iván Acosta-Velarde ^{III}
ji_acosta@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-5295-8531>

Cristina Isabel Reinoso-Astudillo ^{IV}
cristina.reinoso@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4399-5971>

Eugenia Mercedes Naranjo-Vargas ^V
eugenia.naranjo@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9658-6311>

Correspondencia: adrian_p123@yahoo.com

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, Ecuador.
- II. Investigador Independiente, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- V. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.

Resumen

El objetivo de este artículo es determinar la ubicación idónea para una planta de producción de biofertilizante en la zona 3 del Ecuador a partir de estudios que hacen referencia a la aplicación del proceso anaeróbico para el aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas; Se aplicó el método de factores ponderados y el método de Brown&Gibson para el análisis macro y microlocalización para determinar la ubicación idónea de la planta de producción, posteriormente se utilizó el método SLP (Systematic Layout Planning) SDP para la distribución de planta. La aplicación del software Flexsim permitió simular el proceso productivo y consecuentemente se establecieron los resultados. Después el estudio se determinó que la ubicación idónea es la ciudad de Tisaleo en la provincia de Tungurahua por la importancia de los factores considerados.

Palabras clave: macrolocalización; biofertilizante; residuos orgánicos; factores ponderados; biol.

Abstract

The aims this article is to determine the ideal location for a biofertilizer production plant in zone 3 of Ecuador based on studies that refer to the application of the anaerobic process for the use of organic agricultural residues; The method of weighted factors and the method of Brown & Gibson for macro and microlocation analysis were applied to determine the ideal location of the production plant, later the SLP (Systematic Layout Planning) SDP method was acquired for the distribution of the plant. The Flexsim software application allowed simulating the production process and consequently the results were produced. After the study will be reduced that the ideal location is the city of Tisaleo in the province of Tungurahua due to the importance of the factors considered .

Keywords: macrolocation; biofertilizer; organic residues; weighted factors; biol.

Resumo

O objetivo deste artigo é determinar a localização ideal para uma planta de produção de biofertilizantes na zona 3 do Equador com base em estudos que se referem à aplicação do processo anaeróbico para o aproveitamento de resíduos agrícolas orgânicos; O método dos fatores ponderados e o método de Brown & Gibson foram aplicados para a análise de macro e microlocalização para determinar a localização ideal da planta de produção, posteriormente o método SLP (Systematic Layout Planning) SDP foi utilizado para a distribuição da planta. A aplicação do software Flexsim permitiu simular o processo de produção e consecuentemente os resultados foram estabelecidos.

Após o estudo foi determinado que a localização ideal é a cidade de Tisaleo na província de Tungurahua debido à importância dos fatores considerados.

Palavras-chave: macrolocalização; biofertilizante; resíduos orgânicos; fatores ponderados; biol.

Introducción

La actividad agrícola es uno de los pilares fundamentales para el desarrollo de Ecuador, especialmente en el ámbito económico y de seguridad alimentaria. Con el propósito de fomentar el consumo de alimentos limpios, libres de químicos y saludables, así como aumentar la productividad agrícola y reducir la contaminación ambiental el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador promueve el uso de biofertilizantes y de microorganismos como una alternativa para el control del uso adecuado del suelo agrícola reduciendo el consumo de químicos que causan deterioro, infertilidad del suelo así como contaminación ambiental y pérdidas económicas en particular en los cultivos de mora (MAG, 2017). Los residuos orgánicos como restos de cosecha y excretas de animales de granja constituyen la base de los biofertilizantes.

En la provincia de Chimborazo y Tungurahua, los cultivos de mora provocan el desgaste del suelo por erosión y genera residuos provenientes de la poda de sus hojas, las que son desechadas con la basura común provocando contaminación ambiental. Según el Censo Agropecuario, en el año 2016 se produjeron 4,6 millones de cuyes entre las provincias de Azuay, Tungurahua, Cotopaxi y Chimborazo (Moreta, 2017), la crianza de estos animales genera residuos como el estiércol y, en el mejor de los casos, se usan como abonos disponiéndoles en el suelo sin ningún tratamiento. Por otro lado, en la crianza de pollos se genera la gallinaza, estos son ricos en macro y micronutrientes y que, al mezclarlos con otros residuos, pueden ser convertidos en un abono líquido conocido como biol, y abono sólido empleados a nivel de Latinoamérica en agricultura orgánica.

El biofertilizante tanto líquido como sólido se obtiene mediante el proceso de digestión anaeróbica de residuos de origen animal y vegetal mediante el uso de biodigestores (Figura 1). El efluente líquido contiene bajo potencial de biogás residual pero alta concentración de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitrógeno total y amoniacal, así como nutrientes (Xia, Murphy, 2016). Su impacto económico y ambiental es evidente, pues reduce los costos de producción de los cultivos, asegurando productos orgánicos de buena calidad para la población y mitigando la contaminación de los recursos naturales en general (Murillo-Amador et al., 2015).

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una

mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica convirtiéndola en biofertilizante. La materia prima preferentemente utilizada para ser sometida a este tratamiento es cualquier biomasa residual que posea un alto contenido en humedad, como restos de comida, restos de hojas y hierbas al limpiar un jardín o un huerto, residuos ganaderos, lodos de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas y aguas residuales domésticas e industriales. (Obaya & Lorenzo, 2005)

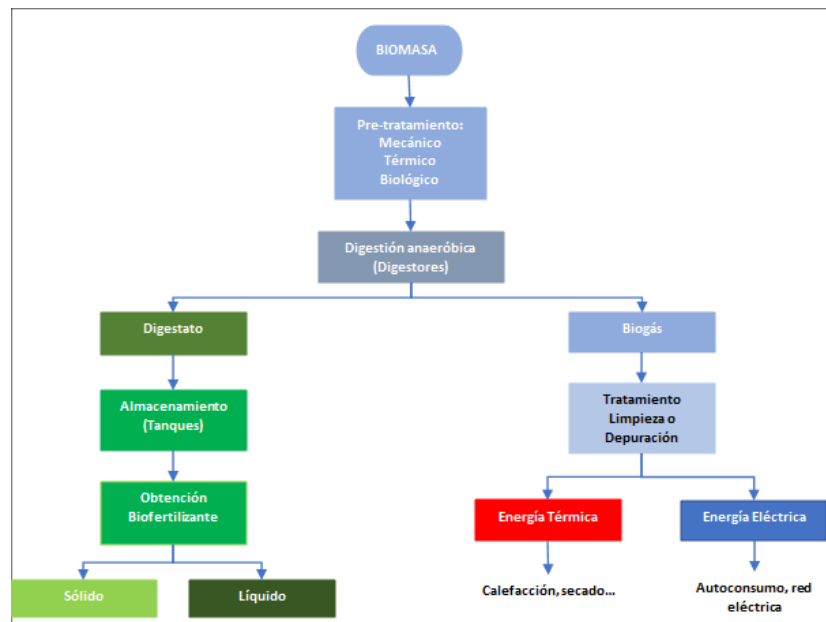


Figura 1: Cadena de Valor – Digestión anaeróbica

Debido al incremento en el costo de los fertilizantes químicos y a la contaminación que algunos propician en el ambiente cuando se utilizan irracionalmente, es necesario encontrar nuevas alternativas de fertilización, económicas y más eficientes. Se considera como una alternativa viable la utilización de las fuentes orgánicas locales y regionales que tradicionalmente se han subutilizado (Soria, 2001)

Los métodos de factores ponderados, así como el método PSD (Planeación Sistemática de Distribución) contribuyen con la determinación de localización y distribución de planta de forma que minimizan los recursos logísticos para la producción de biofertilizante para lograr mayor efectividad en la generación de biofertilizante.

El método de Brown&Gibson consiste en definir los principales factores determinantes en una localización, para asignarles valores ponderados de peso relativo, de acuerdo con la importancia que se les atribuye. El peso relativo sobre la base de una suma igual a uno depende fuertemente del criterio y experiencia del evaluador. (Carro & González; 2012)

La determinación de la ubicación de la planta es uno de los factores clave cuando se pretende implementar un proyecto exitoso pues se deben considerar los aspectos más importantes que le permitirán a la planta crecer de manera exponencial y además ahorrar grandes costos en transportes u otras consideraciones

La planta industrial se centrará en el abastecimiento del mercado de la zona 3 inicialmente, donde se encuentran las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Pastaza en las cuales se destaca mayormente la región sierra, para luego crecer abasteciendo el mercado de otras zonas del Ecuador

Metodología

Para la macrolocalización la planta de biofertilizante necesita de grandes cantidades de materias primas como las hojas de mora, estiércol de animal, y otros residuos orgánicos en menor cantidad como el suero de leche y la melaza. Se consideraron las condiciones climáticas favorables al proceso como un segundo factor importante para la localización de la planta así como la facilidad logística de transporte, y la cercanía al mercado objetivo, con los cuales se aplicó el método de factores ponderados

Para el análisis de microlocalización el método propuesto por Brown&Gibson combina factores posibles de cuantificar (factores objetivos) con factores subjetivos a los que se asignan valores ponderados de peso relativo. (Chase & Jacobs, 2014)

El método consta de cuatro etapas:

Asignar un valor relativo a cada factor objetivo para cada localización optativa viable

Estimar un valor relativo de cada factor subjetivo para cada localización optativa viable

Combinar los factores objetivos y subjetivos asignándoles una ponderación relativa para obtener una medida de preferencia de localización (MPL)

Seleccionar la ubicación que tenga la máxima medida de preferencia de localización utilizando para ello las siguientes fórmulas:

Medida de preferencia de localización (MPL)

$$MPL_i = K * FO_i + (1 - K) * FS_i$$

Factores Objetivo (FO_i)

$$FO_i = \frac{\frac{1}{c_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{c_i}}$$

Factores subjetivos (FS_i)

$$FS_i = \sum_{j=1}^n R_{ij} * W_j$$

Donde:

K = Constante definida por expertos

R_{ij} = comparación por pares. Índice de importancia relativa

W_j = Ponderaciones asignadas

La técnica PSD fue desarrollada por Richard Muther (1961) como un procedimiento sistemático multicriterio y relativamente simple, para la resolución de problemas de distribución en planta de diversa naturaleza. El método es aplicable a problemas de distribución en instalaciones industriales, locales comerciales, etc. Establece una serie de etapas y técnicas que, como el propio Muther describe, permiten identificar, valorar y visualizar todos los elementos involucrados en la implantación y las relaciones existentes entre ellos; cuya estructura esquemática de diez pasos se presenta en la Figura 2.

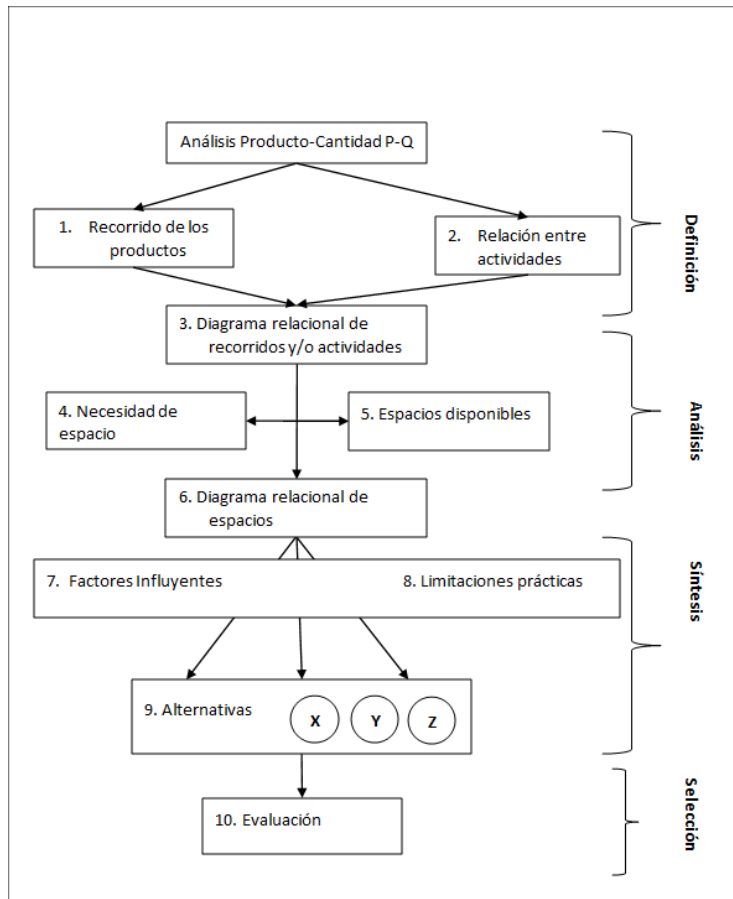


Figura 2. Esquema del Planeamiento Sistemático de la Distribución

Las fases que establece el PSD (Figura 3) comprende inicialmente el estudio de localización, y cuando se ha seleccionado el lugar para la instalación comienza el estudio de distribución general a partir de algoritmos de distribución cuyo objetivo es minimizar distancias y recorridos, posteriormente se realiza una distribución detallada para establecer la disposición de equipos, departamentos, etc., y finalmente la instalación a cargo de personal especializado en el área de la construcción y arquitectura

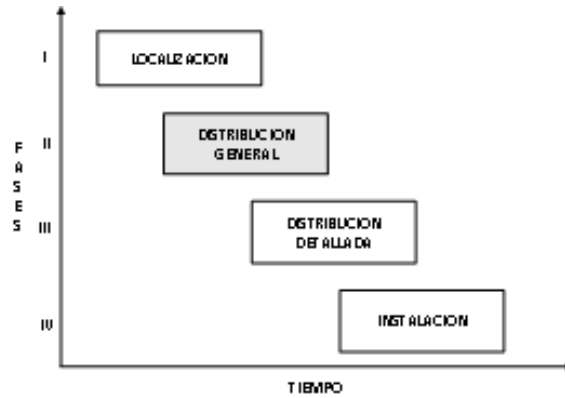


Figura 3. Fases del PSD

El análisis empieza con la calificación de las cercanías de los departamentos o secciones utilizando la tabla A, posteriormente se identifica y se valora las razones de la relación entre los departamentos y secciones con la tabla B, se elabora el diagrama de relaciones (C) para identificar la intensidad de importancia de la relación entre los departamentos o secciones y posteriormente se realiza un grafo (D) que permite establecer la distribución preliminar de la instalación en combinación con un diagrama de bloques que representa el área de la instalación y sus respectivos departamentos o secciones distribuidas adecuadamente.

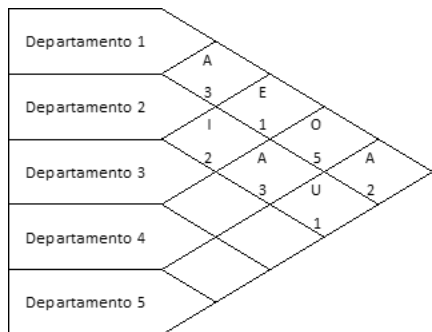
A. Calificación de cercanía.

CERCANÍA	VALOR	CÓDIGO DE LINEAS	CRITERIO
Absolutamente importante	A		>150
Especialmente importante	E		100 a 149
Importante	I		50 a 99
Ordinaria	O		10 a 49
Innecesario	U		0
Indeseable	X		

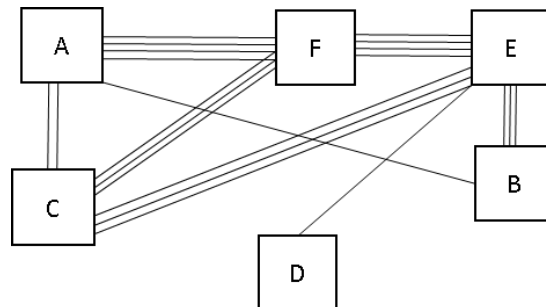
B. Explicación de la calificación

Código	Razón
1	Flujo de materiales
2	Facilidad de supervisión
3	Personal común
4	Contacto necesario
6	Conveniencia

C. Diagrama de relaciones



D. Grafo de relaciones



Resultados y discusión

Con la aplicación de los factores ponderados para el análisis de macrolocalización se obtiene un factor de valoración de 4,56 para Tungurahua superior a los demás, lo cual permite determinar que es la provincia que brinda mayor probabilidad para el desarrollo efectivo de una planta de producción de biofertilizante (tabla 1)

Tabla 1. Método de factores ponderados para macrolocalización

Factores	Ponderación	Provincias							
		Tungurahua		Cotopaxi		Chimborazo		Pastaza	
		calificación	puntos	Calificación	Puntos	calificación	puntos	calificación	Puntos
Disponibilidad de materia prima	0,24	5	1,20	4	0,96	4	0,96	4	0,96
Condiciones climáticas	0,16	4	0,64	3	0,48	4	0,64	3	0,48
Cercanía al mercado	0,20	4	0,80	3	0,60	3	0,60	5	1,00
Disponibilidad de mano de obra	0,16	5	0,80	3	0,48	4	0,64	3	0,48
Accesibilidad vial	0,08	4	0,32	4	0,32	3	0,24	4	0,32
Accesibilidad a los servicios básicos	0,16	4	0,64	3	0,48	3	0,48	3	0,48
Seguridad	0,04	4	0,16	3	0,12	4	0,16	2	0,08
Total	1	4,56		3,44		3,72		3,80	

Para el estudio de microlocalización, con la finalidad de encontrar la ciudad idónea para la planta de producción, se aplicó el método de Brown&Gibson en el cual se debe considerar un costo fijo como factor objetivo, al respecto se toma en cuenta factores como arriendo, energía eléctrica y agua. Para el estudio se determinó una constante $K=0,75$ así como los criterios de localización utilizados en el método de factores ponderados, posteriormente se aplicaron los pasos de Brown&Gibson

Se analizaron los valores de ponderación correspondiente a los factores subjetivos (FS_i) de acuerdo al criterio de tres especialistas y tomando en cuenta cuatro ciudades importantes como las variables de interés. (Tabla 2)

Tabla 2. Valores de FS_i para cada ciudad

Factor	Disponibilidad de materia prima			Condiciones climáticas			Cercanía al mercado			Disponibilidad de mano de obra			Accesibilidad vial			Accesibilidad a los servicios básicos			Seguridad									
Índice de Improbancia relativa (W)	0,24			0,16			0,2			0,16			0,08			0,16			0,04									
Ciudad	COMPARACIÓN		SUMA	R_i	COMPARACIÓN		SUMA	R_i	COMPARACIÓN		SUMA	R_i	COMPARACIÓN		SUMA	R_i	COMPARACIÓN		SUMA	R_i	COMPARACIÓN		SUMA	R_i	FS_i			
Ambato	1	1	0	2	0,222	0	0	0	0,000	0	1	0	1	0,167	1	0	0	1	0,125	1	1	0	2	0,222	0,148			
Tisaleo	1	1	1	3	0,333	1	0	1	2	0,333	1	0	1	2	0,375	1	1	1	3	0,300	1	1	1	3	0,345			
Pillaro	0	1	1	2	0,222	0	1	1	2	0,333	0	1	0	1	0,167	0	1	1	2	0,25	1	1	0	2	0,248			
Pelileo	1	1	0	2	0,222	1	1	0	2	0,333	1	0	1	2	0,25	1	1	1	3	0,300	1	1	1	3	0,299			
Total	9				6				6				8				10				10				9			

Posteriormente se calculó la Medida de Preferencia de Localización MPL_i tal como se muestra en la tabla 3, de tal forma que la ciudad con un factor de valoración de 0.278, superior a las demás, fue la ciudad de Tisaleo.

Tabla 3 Valores de la Medida de Preferencia de Localización MPL_i

Ciudad	Servicios: Costos Fijos C_i (\$/mes)	$1/C_i$	Factor		MPL_i
	Energía, arriendo y agua		FO_i	FS_i	
Ambato	4000	0,000250	0,224	0,148	0,205
Tisaleo	3500	0,000286	0,256	0,345	0,278
Pillaro	3300	0,000303	0,271	0,248	0,266
Pelileo	3600	0,000278	0,249	0,299	0,261
		0,001117	1,000		

El método de factores ponderados aplicado para el análisis de microlocalización a nivel de ciudad y considerando las ponderaciones anteriores generó resultados similares que el método de Brow&Gybson tal como se muestra en la siguiente tabla (4)

Tabla 4. Aplicación del método de factores ponderados (Microlocalización)

Factores	Ponderación	Ciudad							
		Ambato		Tisaleo		Pillaro		Pelileo	
		calificación	puntos	calificación	puntos	calificación	puntos	calificación	puntos
Disponibilidad de materia prima	0,24	4,00	0,96	5,00	1,20	4,00	0,96	4,00	0,96
Condiciones climáticas	0,16	3,00	0,48	4,00	0,64	4,00	0,64	4,00	0,64
Cercanía al mercado	0,20	4,00	0,80	3,00	0,60	4,00	0,80	3,00	0,60
Disponibilidad de mano de obra	0,16	3,00	0,48	4,00	0,64	3,00	0,48	4,00	0,64
Accesibilidad vial	0,08	4,00	0,32	4,00	0,32	3,00	0,24	3,00	0,24
Accesibilidad a los servicios básicos	0,16	4,00	0,64	4,00	0,64	3,00	0,48	4,00	0,64
Seguridad	0,04	4,00	0,16	4,00	0,16	4,00	0,16	4,00	0,16
Total	1	3,84		4,20		3,76		3,88	

El factor de valoración de 4,20 correspondiente a la ciudad de Tisaleo establece que es el lugar más idóneo para la instalación de una planta de biofertilizante por los atributos considerados necesarios para la operación de la planta de producción.

Con la aplicación de los dos métodos de asignación de localización se determina en ambos casos la factibilidad de establecer una planta de biofertilizante orgánico en la ciudad de Tisaleo por las condiciones consideradas en el estudio.

Con la finalidad de plantear la distribución de la planta de biofertilizantes, se tomaron en cuenta aspectos como:

1. Oficinas.
2. Locales para el personal.
3. Área de descarga (Materia Prima).
4. Área de clasificación de (Materia prima primaria y secundaria).
5. Área de triturado.
6. Área de mezclado.
7. Área de los biodigestores.
8. Área de secado.
9. Área de filtrado.
10. Área de ensacado
11. Área de embotellado.
12. Área de almacenamiento de producto terminado.

A partir de los criterios de calificación según su importancia, se establece un diagrama de relación tal como se muestra en la siguiente figura 4

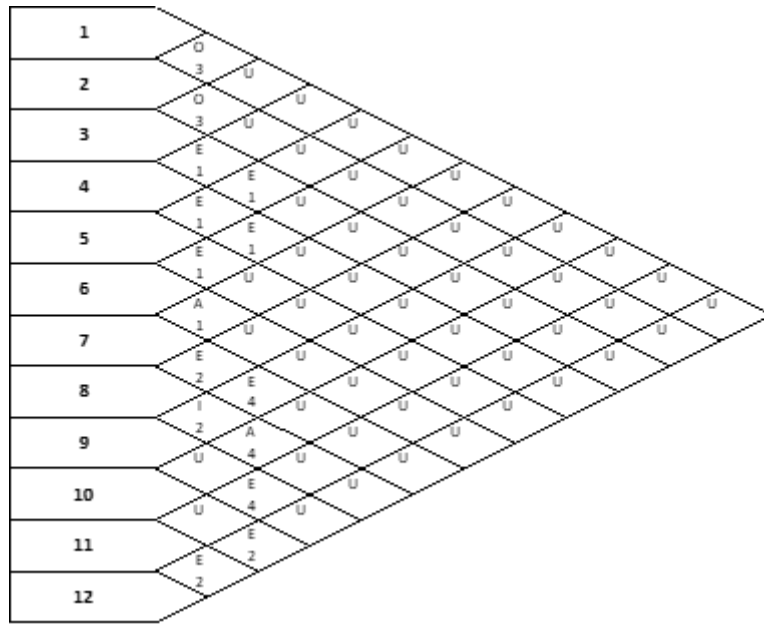


Figura 4. Diagrama de relaciones

Posteriormente se realiza el diagrama nodal, que representa la disposición relativa de los departamentos los cuales son representados con cuadrados, y las relaciones entre ellas se representan con líneas como se muestra a continuación

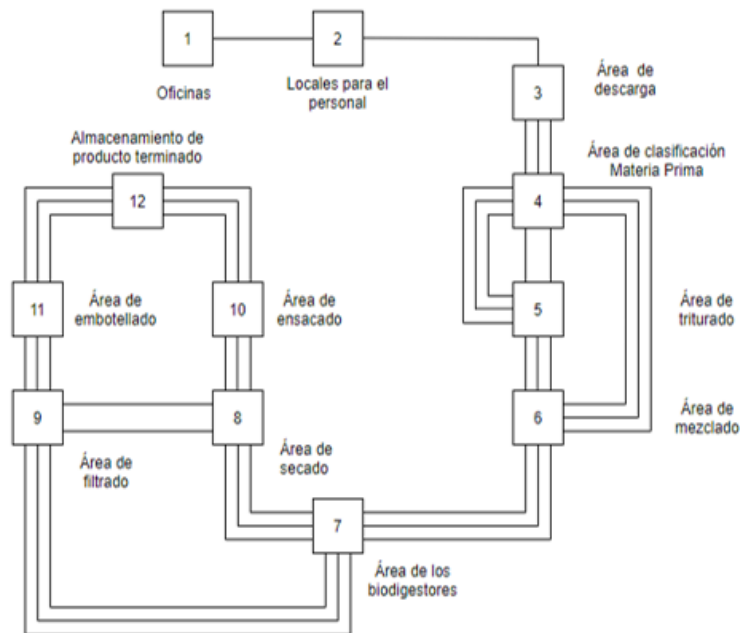


Figura 5. Diagrama nodal

El diseño de la planta requiere la identificación de áreas y la secuencia de actividades la cual se muestra a través de un diagrama de flujo de procesos que permite observar la relación de cada una de las actividades que conforman el sistema productivo de biofertilizante tipo batch o por lotes, a través de procesos anaeróbicos. El diagrama de flujo se muestra a continuación:

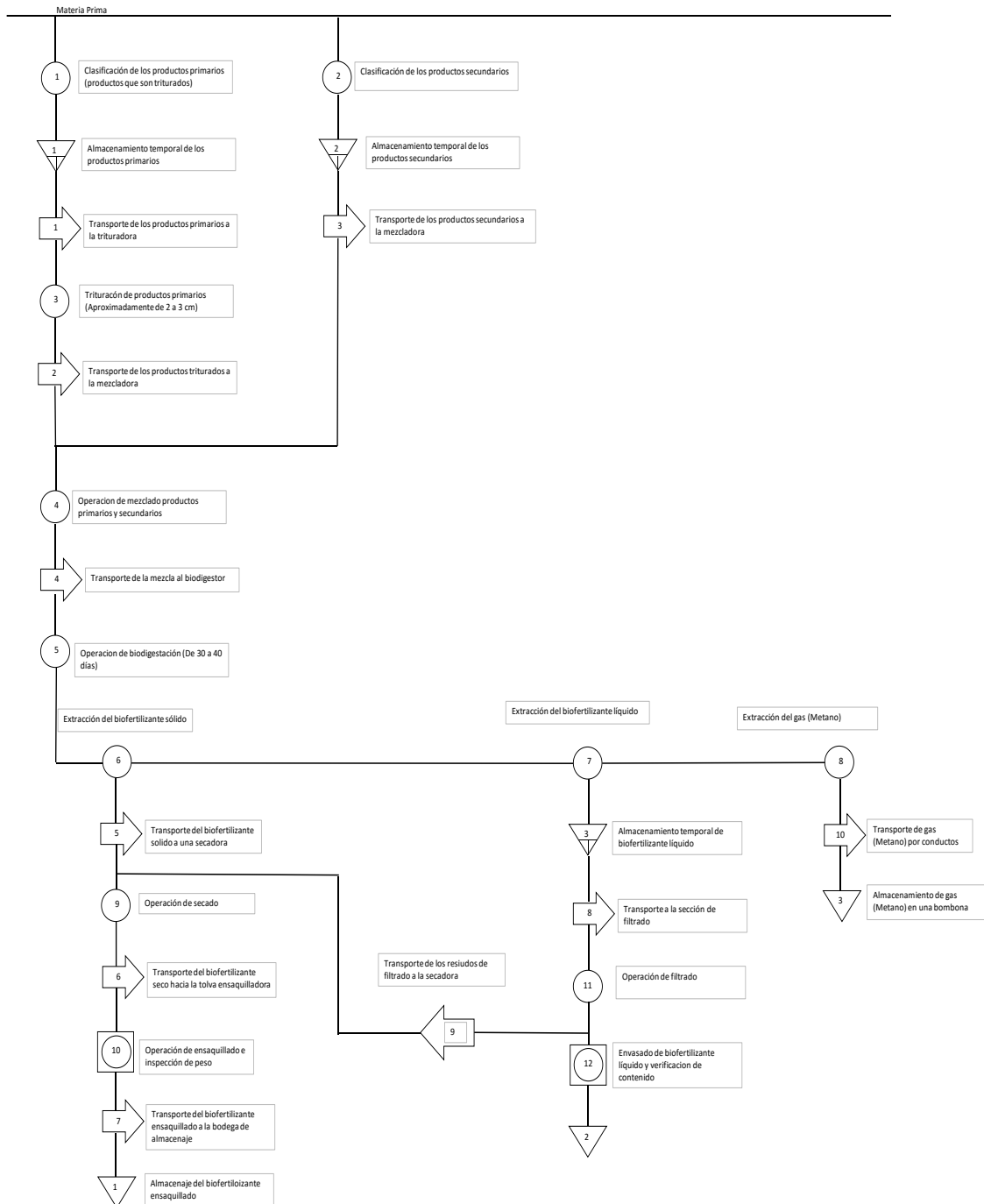


Figura 6. Diagrama de flujo

Al considerar la relación de las distintas áreas de acuerdo con el diagrama nodal, es necesario complementarlo con la elaboración de un diagrama de recorrido y el diagrama de bloques que muestran la distribución óptima de las áreas para la instalación y diseño de la planta de producción de biofertilizante (figura 6)

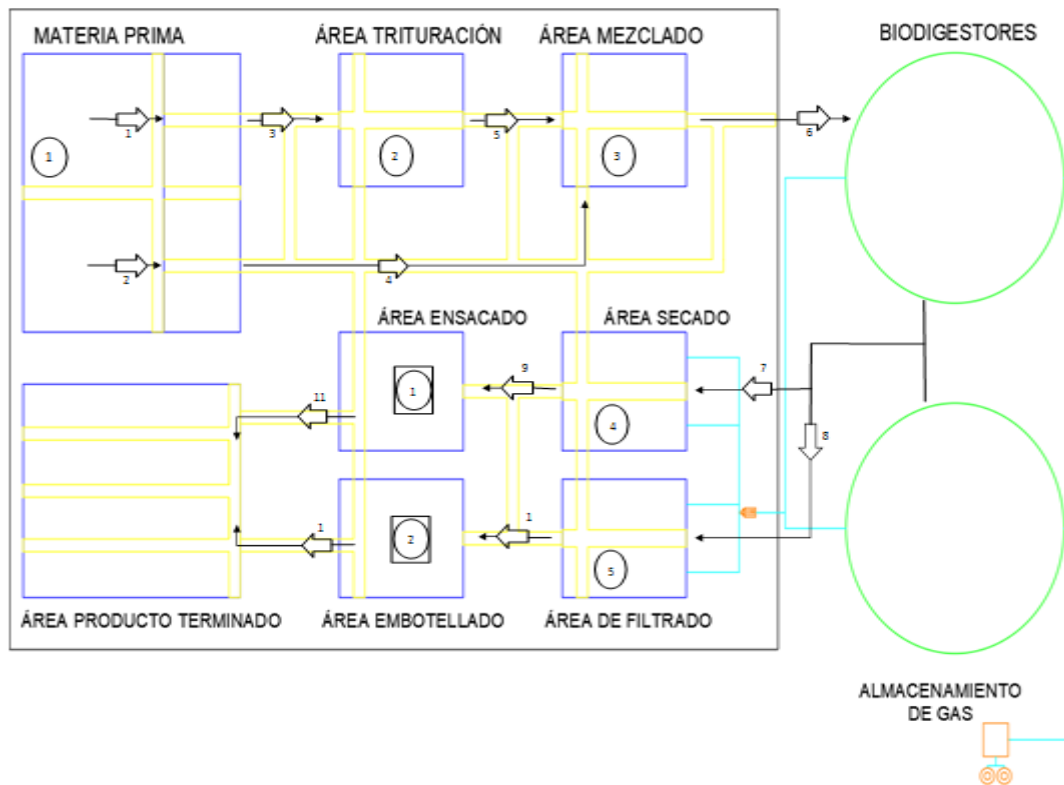


Figura 7. Diagrama de bloques y de recorrido

Se detallan las áreas de trabajo con línea azul, los pasillos para el transporte de materias primas con color amarillo, de color verde los biodigestores de la planta, con celeste las líneas de tuberías y finalmente de naranja la bombona de gas y la bomba. (Figura 7)

Con el uso de Flexsim se elaboró el Layout de manera gráfica y la configuración de la distribución en planta a partir de la metodología PSD.

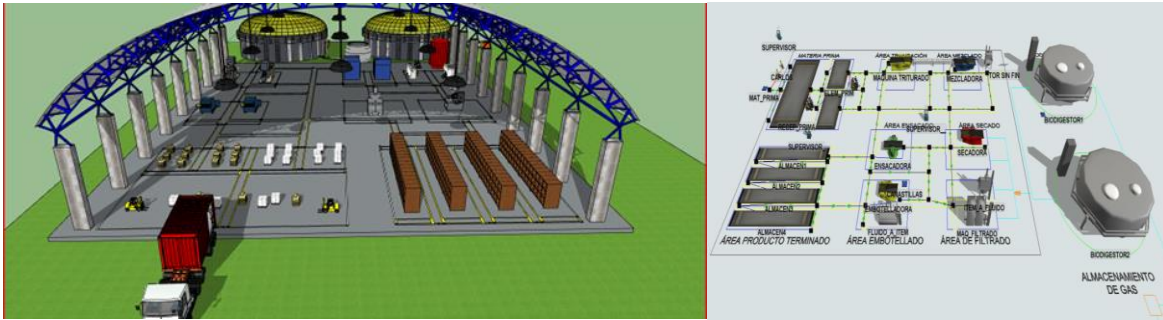


Figura 8. Distribución de planta. Visión 3D

La figura 8 muestra la forma en la que las áreas de trabajo y la maquinaria utilizada están distribuida de manera uniforme de acuerdo con la metodología implementada con la finalidad de desarrollar el producto en cuestión.

Conclusiones

El estudio propone un plan estratégico de localización para la implementación de una planta de producción de fertilizante líquido y sólido a partir del aprovechamiento del contenido orgánico de biomasa residual de uso agrícola.

La cuantificación de los macronutrientes del biol, así como la variabilidad de las concentraciones y el comportamiento de los parámetros significativos del proceso, son explicadas en otras investigaciones que, a la vez, sirvieron de referencia para el análisis mostrado en el presente artículo

La propuesta se articula con los proyectos de investigación orientados al análisis de la rentabilidad de la producción del biol con fines comerciales lo que supone un producto asequible y que a diferencia de los ofertados en el mercado contiene alta concentración nutricional para los suelos y plantas.

Referencias

1. Carro, R. & González, D. (2012). Localización de instalaciones. Universidad Nacional de Mar de la Plata; Facultad de Ciencias Económicas y Sociales; http://nulan.mdp.edu.ar/1619/1/14_localizacion_instalaciones.pdf
2. Chase, R. B., & Jacobs, R. F. (2014). Administración de Operaciones. Producción y Cadena

- de suministros. México: Mc Graw Hill.
3. INEC, 2016. Encuesta de superficies y producción agropecuaria continua.
 4. Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2017). MAG promueve control biológico para enfermedades en cultivo de mora. <https://www.agricultura.gob.ec/tungurahua-mag-promueve-control-biologico-para-enfermedades-en-cultivos-de-mora/>
 5. Moreta, M. (2017). El cuy crece en la región central del Ecuador. <https://www.revistalideres.ec/lideres/cuy-crece-region-central-economia.html>
 6. Murillo-Amador, B., Morales-Prado, LE., Troyo-Diéguez, E., Córdoba-Matson, M.V., Hernández-Montiel, L.G., Rueda-Puente, E.O., Nieto-Garibay, A. (2015). Changing environmental conditions and applying organic fertilizers in *Origanum vulgare* L. *Front Plant Sci.*, 6:549. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4508838/citedby/>
 7. Muther, R. (1961). Systematic Layout Planning, Industrial Education Institute, Boston
 8. Soria, M., Ferrera, R., Echevers, J., Alcántar, G., Trinidad, J., Borges, L., Pereyda, G. (2001). Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra Latinoamericana*, 19(4). pp. 353-362. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319408.pdf>
 9. Xia, A, Murphy, JD. (2016). Microalgal cultivation in treating liquid digestate from biogas systems. *Trends Biotechnol.* 34 (4), pp. 264-275. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016777991500270X>.
 10. Obaya Abreu, Ma Cristina, & Lorenzo Acosta, Yaniris (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, XXXIX(1),35-48. ISSN: 0138-6204. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120659006>.