

# SISTEMA LOGÍSTICO PARA EL DESARROLLO TECNOLÓGICO DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE EN LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO

Suárez Arturo<sup>1</sup>; Artigas Georgina<sup>1</sup>; Miranda Ricardo<sup>2</sup>; Sira Silvia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Industrial. Universidad de Carabobo

<sup>2</sup>Profesor de la Escuela de Ingeniería Industrial. Universidad de Carabobo

<sup>3</sup>Centro de Investigaciones en Ingeniería Industrial: Tecnología Emergente y Productividad (CITEP), Escuela de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo  
[silvia.sira@gmail.com](mailto:silvia.sira@gmail.com)

**Resumen:** Esta investigación tiene por objeto diseñar un sistema logístico para el desarrollo tecnológico de una planta de compostaje en la Universidad de Carabobo. Se realizó un diagnóstico de la situación actual, evidenciando un total de 20,52 Ton/sem de residuos orgánicos generados. Luego, se evaluó de forma objetiva las posibles ventajas, con el fin de proponer alternativas viables (Sistema de Pilas manual, mecanizado y Biogás) y luego a partir de un despliegue de costos basado en la Metodología WCM (World Class Manufacturing), se identifican pérdidas o desperdicios involucrados en los procesos de producción, para traducirlas en costos y seleccionar la que arroje el menor valor; por consiguiente, esta alternativa fue el Sistema de Pilas con volteo manual. Se establecieron aspectos para el diseño sistemático de la planta, lo cual abarca aspectos que van desde la estructura organizacional, hasta aspectos técnicos para su continuidad, al igual que la factibilidad técnica del proyecto.

**Palabras clave:** Planta de compostaje, residuos orgánicos, WCM, pérdidas y desperdicios.

## LOGISTICS SYSTEM FOR THE TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF A COMPOSTING PLANT AT THE UNIVERSITY OF CARABOBO

**Abstract:** The project aims to design a logistics system for the technological development of a composting plant at the University of Carabobo. To run a diagnosis of the current situation it was performed, showing a total of 20.52 tons / wk. Starting from this fact, its feasibility is analyzed objectively evaluating the potential advantages of the plant development at UC, then propose viable for transforming waste into compost alternatives. First, three alternatives (System Manual Pilas, machining and biogas) were identified, then the methodology WCM (World Class Manufacturing), based on the strategy of a deployment costs through matrices (Matrix Cost Deployment) was implanted, with the aim of identifying losses or waste involved in production processes, then translate them into costs and select yielding the lowest value; therefore, this alternative was cell system with manual turning. Aspects for the systematic design of the plant were established, which covers aspects ranging from organizational structure, location and distribution of the same, to technical aspects for continuity.

**Keywords:** Composting plant, organic waste, WCM, losses, waste and profitability.

## INTRODUCCIÓN

Los residuos orgánicos, en los últimos años, se ha convertido en un tema importante para la investigación, dado que ocupan entre el 30 y el 65% de los desperdicios que se generan en el planeta. Es por ello que este proyecto tiene como finalidad proponer un mejor uso de los mismos en las instalaciones de la Universidad de Carabobo, específicamente, en su reducción, a través del uso eficiente de los mismos, que involucra mejorar el ambiente, a partir de la disposición final correcta, que le permita el tratamiento adecuado de los mismos, Ramos y Audor (2015).

La Ley de Gestión Integral de la Basura (Gaceta oficial N° 6017 30/12/2010), establece las disposiciones regulatorias para la gestión integral de la basura, con el fin de reducir su generación y garantizar que su recolección, aprovechamiento y disposición final sea realizada en forma sanitaria y ambientalmente segura.

Es tarea impostergable de los seres humanos orientar sus esfuerzos en disminuir el impacto ambiental que perjudica el normal desenvolvimiento de la vida, no sólo en estos momentos, sino también, para los años futuros, dado que de la naturaleza extraemos nuestra principal fuente para sobrevivir. Las consecuencias del descontrol ambiental son sumamente alarmantes, la contaminación que se vive actualmente crece de manera exponencial, debido al crecimiento de la población y a la producción tanto industrial como agrícola, lo cual produce acciones que afectan el equilibrio ambiental, dando cabida a la interrupción y alteración del curso natural del medio ambiente.

Han sido muchos los investigadores que han estudiado las distintas formas de utilizar los

residuos orgánicos, incluso hasta como ser eficiente en el aprovechamiento de los mismos; sin embargo, hasta ahora ha sido tradición que los residuos sean utilizados por los agricultores como abono para la siembra. El proceso de compostaje se basa en el principio de fermentación, que naturalmente se da en los suelos, aunque hay que destacar, que ahora se requiere que se realice en forma oportuna y rápida; tomando en consideración su principal virtud, como lo es el hecho que resulta de ese proceso un abono con excelentes características para enriquecer los suelos, tal como el humus natural, Palmero (2010).

Actualmente, el compost puede resultar de la aplicación de biotecnologías, lo cual disminuye los costos de producción, y permite mantener la materia orgánica dentro del ciclo natural, dado que no es incinerada, tal y como se realiza en los rellenos sanitarios o peor aún en los vertederos, por lo tanto, se puede considerar como un beneficio para la sociedad y para el ambiente, siendo un aspecto relevante la disminución de los residuos orgánicos, considerando la reutilización de los mismos y así devolver a la sociedad un bien que fue generado por ella, evitando el agotamiento del humus y tierras productivas, Román (2013). En definitiva, el compost se ha convertido, en los últimos años en la solución imperante que apunta a la reducción de desperdicios, dado que es imposible pensar erradicar de forma total la generación de los mismos, Luciano (2007).

## FUNDAMENTOS

El hombre, desde tiempos remotos, ha utilizado a la naturaleza para sus procesos de alimentación, vestido, vivienda, entre muchos otros aspectos que le han permitido su supervivencia; por supuesto, esto ha

traído como consecuencia, una generación de residuos, en alarmante crecimiento, que incluso su cuantificación es muy difícil de calcular, puesto que dichos residuos están sido colocados en cualquier ambiente, dañando en algunos casos los suelos, y provocando contaminación de aire y aguas. El ser humano, en los espacios urbanos, se ha convertido en el mayor responsable del daño ambiental, utiliza aproximadamente entre el 30% y el 50% de sus recursos en la eliminación de los desechos sólidos, y en algunas ocasiones, esto no es suficiente para enfrentar la cantidad de desechos generados, por lo cual, esto siempre ha sido un reto para los gobiernos, especialmente, en los niveles municipal y parroquial, que son los directamente responsables de esta materia, de acuerdo a las normas y leyes vigentes, Palmero (2010).

Partiendo de estudios realizados acerca de la producción del compost, se espera alcanzar las expectativas generadas con el planteamiento de esta investigación y los objetivos trazados inicialmente para, de esta forma, obtener resultados óptimos y planear a futuro la creación formal de una empresa que contribuya al desarrollo y conservación del medio ambiente y garantice la obtención de un producto limpio, libre de riesgos para la salud ambiental, animal y humana.

A través de las industrias, el hombre ha generado grandes cantidades de residuos, que no han sido procesados para ser convertidos en otros sub-productos, sino que los han vertido en diferentes lugares, provocando la contaminación, aspecto que merece ser investigado en profundidad, por los graves problemas que le está trayendo al planeta, Suárez (2015). De esta manera, los investigadores hacen énfasis en establecer los lineamientos de una empresa dedicada a la producción y comercialización de abono

orgánico, para disminuir la contaminación del ambiente.

Por otro lado, existe una investigación que abordan los autores Ramos y Audor (ob. cit.), referida al estudio para la creación y puesta en marcha de una planta de compost a partir de los residuos orgánicos del Municipio de Suaza, que serviría como propuesta social, ambiental y económica para contrarrestar las amenazas actuales, y ser una solución tentativa a problemas de contaminación en el Municipio, mitigando los efectos que ocasiona el mal manejo de los residuos orgánicos que conllevan a su desperdicio y desaprovechamiento. A partir de dicho estudio, se pueden realizar comparaciones en cuanto a métodos para la contabilización, recolección y transformación de los desechos orgánicos, como también el mantenimiento y puesta en marcha de una planta de compost, con el fin de optimizar e innovar los que se manejan actualmente.

En ese mismo orden de ideas, otra investigación aborda el aumento de la producción avícola a nivel mundial, que tiene como consecuencia un incremento en los desechos producidos. El compostaje es una alternativa eficiente para el manejo de desechos orgánicos por razones de bioseguridad, y la posibilidad de generar ingresos extras. Con ese estudio, se buscó la optimización del proceso de compostaje del tambor giratorio horizontal del Centro de Investigación y Enseñanza Avícola Zamorano (CIEAZ). Las variables evaluadas fueron la relación de carbono nitrógeno (C:N), la temperatura, los volteos y la humedad. Al igual que la investigación anterior, el principal objetivo fue realizar comparaciones de métodos utilizados para la transformación de los desechos orgánicos, con el fin de implementar una herramienta óptima para el proceso de compostaje

manejado en la propuesta de dicha planta, Mayén (2013).

## METODOLOGÍA

Esta investigación se considera un proyecto factible porque se puede implementar y ejecutar eficazmente, dado que se busca elaborar un sistema logístico para el desarrollo tecnológico de una planta de compostaje en la Universidad de Carabobo, por lo tanto será necesario la medición, aplicación y modificación de ciertos parámetros que permitan definir las condiciones de trabajo para el mayor aprovechamiento de los residuos vegetales; en éste se pretende plantear el método y técnica a seguir, así como los beneficios sociales, ambientales y económicos que genera la propuesta.

Las técnicas de recolección de datos a utilizar para el desarrollo de la investigación será mediante la consulta de fuentes primarias, que son todas aquellas de las cuales se obtiene información directa, es decir, de donde se origina la información a través de la aplicación de instrumentos como las entrevistas, encuestas o listas de chequeo, y fuentes secundarias que son todas aquellas que ofrecen información sobre el tema a investigar, pero que no son fuente original de los hechos o situaciones, sino que los referencian, como lo son estudios y antecedentes de investigación relacionados con el tema, normas, teorías, entre otros, realizadas por diferentes autores citados en dicho estudio.

La información obtenida a través de la técnica de recolección de datos mencionada, es examinada, procesada y tabulada en un cuadro haciendo uso del Microsoft Excel, con el fin de agruparlos y organizarlos de manera que puedan ser evaluados con base en una

escala semántica diferencial, los cuales son presentados a través de distintos instrumentos, como lo son las gráficas y tablas.

Para la selección de la mejor alternativa se utiliza la metodología del WCM (World Class Manufacturing), que indica en primera instancia un despliegue de costos a través de la Matriz Cost Deployment (Matriz de despliegue de costos). Este método establece científicamente y sistemáticamente un programa de reducción de costos, por medio de la identificación rigurosa de pérdidas y desperdicios existentes en un proceso manufacturero, con el fin de traducir dichas pérdidas y desperdicios a costos y así seleccionar la alternativa óptima con relación al mismo, Benítez (2015).

Es importante destacar, que dicha metodología es aplicada actualmente a procesos ya existentes, por tanto, se utiliza en esta investigación con el objetivo de identificar las pérdidas y desperdicios de forma anticipada, basándose en que en todo proceso manufacturero existen de manera implícita y explícita dichos costos, tal y como lo estipula el Centro de desarrollo de WCM (2010). Los factores clave son:

- Investigar la relación entre los factores de los costos, el proceso que los genera y los diversos tipos de desperdicios y pérdidas.
- Hallar una conexión entre los desperdicios y las pérdidas;
- Aclarar si se cuenta con los conocimientos prácticos (*know how*) sobre la reducción de desperdicios y pérdidas, y si fuese necesario, obtenerlos.

## ANÁLISIS Y RESULTADOS

Las acciones de mantenimiento y acondicionamiento de las áreas verdes de la

Universidad de Carabobo las lleva a cabo la DMAI (Dirección de Mantenimiento, Ambiente e Infraestructura); la cual coordina y delega las acciones al vivero de la universidad, quien es el que ejecuta labores de supervisión, control y participación sobre las empresas contratadas para tales labores. El mantenimiento de las áreas verdes de la Universidad de Carabobo, incluye el control de los aspectos fitosanitario, riego, barrido y recolección de desechos generales y vegetales en aceras, vialidad interna y estacionamiento; adicionalmente, las actividades de corte de grama, corte y eliminación de maleza, perímetros de edificaciones, bordes de las quebradas, limpieza de las bases de las plantas de arbustos y árboles, control de plantas acuáticas, poda y tala de plantas ornamentales, reposición de especies vegetales, recuperación, siembra y mantenimiento de nuevos espacios, fertilización y fumigación, roleado de árbol caído, entre otras funciones, las cuales se muestran en la investigación de Luciano (2007).

Para establecer la cuantificación de los desechos de jardinería, primeramente se clasificaron dichos desechos en tres tipos principales A, B y C, que dependen de su tamaño: grandes, medianos y pequeños. La recolección de dichos desechos, se realiza en conjunto; debido a que no existe separación alguna al momento de la recolecta. Para determinar la cantidad generada de desechos orgánicos en cada punto, se procedió a realizar inspecciones semanales, con el fin de cuantificar e identificar las variables más relevantes al momento de la recolecta y traslado de dichos desechos.

Se definieron tres áreas (I, II y III), entre las que más son utilizadas por el personal para la recolección de los desechos, a través de sacos de lona de aproximadamente 100 Kg,

los cuales son trasladados por medio de carretillas, donde son vaciados en los puntos de recolección. Se tomó nota de la cantidad de sacos diarios de todas las áreas y el peso de cada saco; dicho peso fue determinado por medio de una romana, se tomaron varios datos semanales y así se aproximó el peso aparente de cada saco.

El estudio de la generación de desechos se realizó para 24 semanas, partiendo del mes de mayo del año 2015 hasta finales del mes de octubre del año 2015, con un total de 6 meses de estudio, con lo cual se generó una base de datos que permitió el análisis e interpretación para la propuesta de un sistema para el bioaprovechamiento de los residuos generados por la universidad. Las cantidades generadas de desechos vegetales para el tiempo en estudio se encuentran reflejadas en la Tabla 1, especificando el número de sacos generados en cada área.

**Tabla 1. Cantidad aproximada de sacos/semana por mes**

MES	AREA			TOTAL Sacos/Sem	X	X
	I	II	III			
	SACOS 100kg					
Mayo	40	60	98	198	198,8	205,2
	43	59	100	202		
	36	59	99	194		
	42	62	97	201		
	41	66	98	205		
Junio	40	65	99	204	205,0	
	40	66	97	203		
	49	60	99	208		
	45	63	97	205		
	43	62	98	203		
Julio	40	64	96	200	204,3	
	47	68	94	209		
	50	60	97	207		
	52	61	99	212		
Agosto	50	60	97	207	212,5	
	52	61	99	212		
	49	64	99	212		
	51	66	102	219		
Septiembre	52	68	108	228	216,3	
	51	63	110	224		
	48	60	100	208		
	46	59	100	205		
Octubre	44	56	99	199	194,3	
	39	55	98	192		
	41	55	97	193		
	38	58	97	193		

Previamente, se definió que los principales clientes, quienes comprarían los residuos obtenidos, eran los productores de fertilizantes, quienes lo utilizarían como materia prima para la producción de abonos. Por lo que, de acuerdo a la recopilación de datos obtenida y a la información de los productores de fertilizantes (la oferta en la actualidad) se puede decir, en primera instancia, que con base en la cantidad de desechos generada por la Universidad de Carabobo (UC) es incuestionable la necesidad de implementar y llevar a cabo una planta de compostaje, debido al alto porcentaje de materia prima con la cual se cuenta, además de aprovecharla, se contribuye con el medio ambiente ya que dichos desechos son tratados sin afectar al mismo, se genera un abono orgánico con el cual se cuenta para el mantenimiento de áreas verdes así como también la venta del mismo para transformarse en una unidad generadora de ingresos para la universidad.

Por otro lado, no existen suficientes empresas que se dediquen a la comercialización de fertilizantes orgánicos, en especial de compost; una razón de peso para que los agricultores compren ese producto, ya que el mismo se comporta como un sustituto en suelos específicos, tal y como lo expresa en su investigación, Luciano (ob. cit.).

Los autores de esta investigación, basados en la revisión documental de las distintas referencias bibliográficas incluidas en este artículo, consideraron para establecer la metodología adecuada a utilizar en este proyecto, las variables técnicas tales como: maquinaria necesaria para el proceso, materia prima para la planta de compostaje, rendimiento mensual de la técnica, superficie requerida para el funcionamiento de la planta y superficie disponible.

Por lo tanto, se concluye y se confirma la necesidad de aprovechar los desechos orgánicos generados en la UC Campus Bárbula, por medio de la transformación a través del compostaje, para obtener un abono 100% orgánico, tanto para el uso interno de la universidad como su venta.

## **Métodos y Factibilidad**

El escenario competitivo conduce a las compañías a usar de manera óptima los recursos disponibles, lo que implica medir, determinar y verificar los costos de forma estructurada. Es por ello que el costo se convierte cada vez más en una variable competitiva en la que se debe centrar la atención.

El costo es el precio pagado por las compañías o empresas para obtener los recursos que requieren en sus procesos. Cada función de la empresa tiene que contribuir con la gestión de costos en distintos niveles: por ejemplo, la recolección de datos, la medición y el análisis de costos y el proceso de toma de decisiones debe efectuarse de manera congruente.

En efecto, gestionar significa tener conciencia de lo que está ocurriendo y tomar las decisiones subsecuentes; es por ello que es importante que participen todas las funciones de la empresa en la gestión de costos, cada una de acuerdo con sus propias capacidades.

Cada área o proceso de la empresa debe analizarse individualmente para determinar su rentabilidad. No se considera satisfactorio un buen resultado global, ya que este enfoque ayuda a evitar que la ineficiencia de algunos procesos quede encubierta por los buenos resultados de otros procesos.

La metodología de despliegue de costos se fundamenta en el uso de matrices que funcionan como una herramienta fundamental para administrar toda la información sobre la identificación de pérdidas y su reducción.

Ahora bien, para dicho estudio se tomaron en cuenta las matrices A, B y C, ya que el resto de las matrices que menciona la metodología necesariamente se debe llevar a cabo en un proyecto en marcha, que no es el caso de esta investigación, con el fin de aplicar métodos de mejoras pertinentes, que permitan identificar la magnitud a la cual se disminuyó o eliminó dichas pérdidas.

Por lo tanto, con base en los conocimientos teóricos de las alternativas a ser evaluadas se identifican, clasifican y traducen en costos las pérdidas y desperdicios que pueden existir de forma implícita en dicho proceso de producción, basándonos en la filosofía de que en todo proceso de manufactura existen pérdidas y desperdicios asociados a una gran cantidad de factores que serán explicados detalladamente más adelante.

Así mismo, el enfoque estará centrado principalmente en los desperdicios y pérdidas de los procesos, con el fin de traducirlos a costos y de esta manera tomar la alternativa óptima en cuanto a estos indicadores, con el fin de seleccionar la alternativa con menor costo.

La trayectoria para instrumentar el despliegue de costos, se inicia con el análisis de pérdida, por lo que el primer esfuerzo básico debe ser prepararse para identificar y definir el tipo de pérdidas con el cual se trabajará.

Desde luego, se deben definir en primer lugar las alternativas a evaluar, las cuales son

definidas como métodos para la obtención del compost; éstas son:

**Pilas.** Esta técnica consiste, en armar pilas de desechos orgánicos con determinadas dimensiones ( $2m^3$ ) con el fin de alcanzar los parámetros establecidos como estándar (aireación, temperatura, humedad, pH, entre otros). Son armadas en terrenos abiertos y mezcladas con herramientas manuales (palas) para garantizar su aireación, Palmero (2010).

**Pilas Mecanizadas.** Éste es un sistema de pilas con volteo mecanizado, utilizando un volteador mecánico que permite airear los desechos. De igual forma, son armadas en terrenos abiertos, para así facilitar la tarea del volteo.

**Biogás.** Técnica que produce biogás por medio de un proceso biológico. En ésta se utilizan biodigestores para el proceso de transformación, donde la materia orgánica se descompone formando una mezcla de gases conocida como biogás, Nachwachsende (2019).

Efectivamente a fin de identificar las pérdidas tanto como sea posible, se requiere analizar los procesos cuidadosamente, a partir de la detección de sus debilidades, para posteriormente, realizar un estudio que proponga métodos que mejoren sustancialmente los resultados que se obtienen.

Ahora bien, para detectar las pérdidas en los procesos, se explican a continuación las categorías macro correspondientes que generan desperdicios:

- Equipo
- Mano de obra
- Materiales

Luego de identificar las categorías, se procede a desglosar en las tablas de forma clara las causas que generan dichas pérdidas, para luego unificar con éstas las causales y resultantes que existen en cada departamento de acuerdo con cada categoría. La base de esta afirmación radica en que por más controlado que se tenga un proceso, siempre existirán pérdidas, que promuevan el mejoramiento de la situación actual, tal y como lo expresa en su libro los autores Gómez y Núñez (2013). Por supuesto, que toda la información que se muestran en las siguientes figuras son estimaciones propias de la extrapolación y

cuantificación de las pérdidas obtenidas en la situación actual de la universidad.

Se estimaron las pérdidas obtenidas desde el almacén de materia prima, recorriendo toda la línea de producción hasta llegar al producto final, cumpliendo con un flujo racional en lo que respecta a los flujos de inventario y de materiales. En la matriz A se muestran: Peso de cada pérdida e Identificación de la pérdida como causal o resultante, relacionándolo con un proceso y el departamento que lo realiza. Se puede visualizar en la Figura 1.

Categoría de la pérdida	Causa	Causal/Resultante	DEPARTAMENTOS															
			Materia Prima				Producción				Producto terminado							
			Descarga	Inspección	Triturado	Almacen	Traslado	Armado de pilas	Hidratación de pilas	Monitoreo	Mezclado	Cermido	Almacen	Traslado	Empaquetado	Pesaje	Sellado	Etiquetado
EQUIPO	Averías	Causal	Red	Red														
	Cambios	Resultante																
	Configuraciones y ajustes	Resultante																
	Cambio de herramientas	Resultante																
	Arranque y parada	Causal																
	Paradas menores	Resultante																
	Pérdida de velocidad	Resultante																
	Retrabajos	Resultante																
	Mantenimiento programado	Causal																
	No utilización de la capacidad	Resultante																
	Equipo inactivo	Resultante																
	Limpiezas técnicas	Resultante																
	Desgaste	Causal																
	Espera de instrucciones	Causal																
	Adiestramiento y capacitación	Causal																
	Retrabajos	Resultante																
Controles	Resultante																	
Mediciones	Resultante																	
Falta de automatización	Causal																	
Operaciones provisionales	Resultante																	
Huelga	Causal																	

Figura 1. Matriz A

Se determinaron las causas de dichas pérdidas, las cuales se muestran en la Tabla 2 y se determinó el nivel de influencia que tenían esas pérdidas en los procesos, identificándose con color verde cuando es

leve, amarillo moderado y rojo cuando es severo.

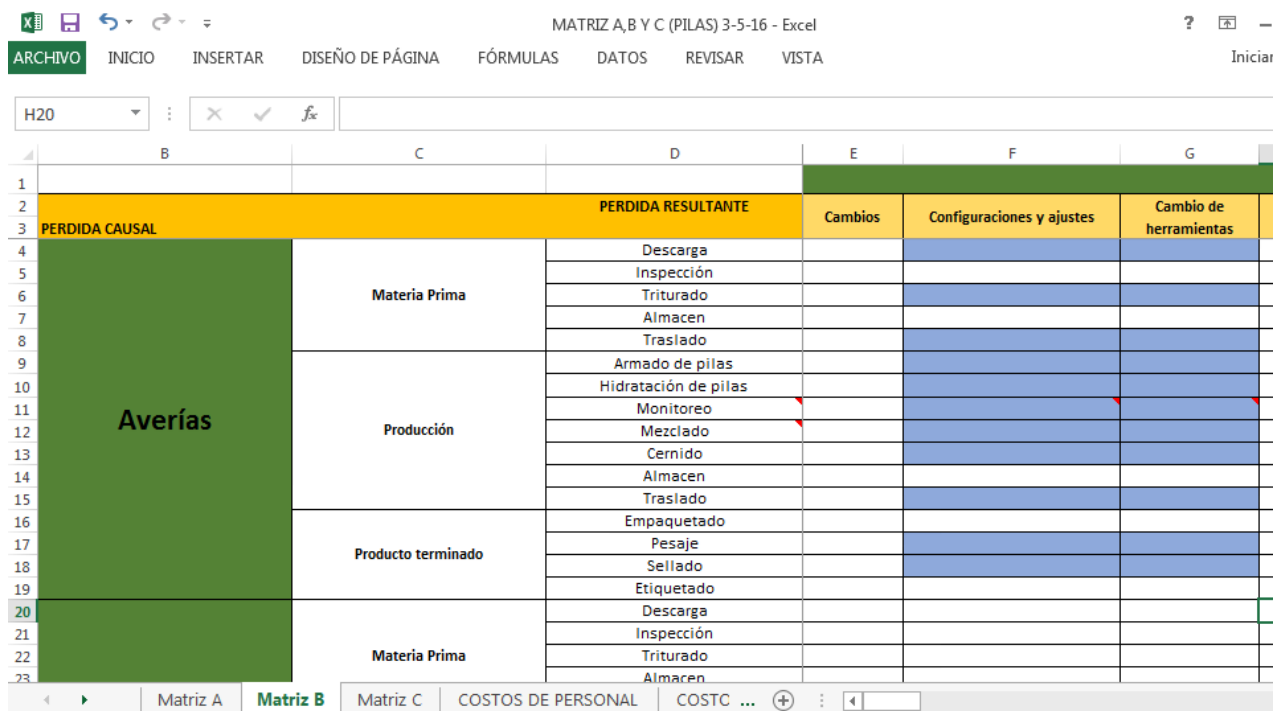
En la Matriz B se presentan las causas raíces de las pérdidas contempladas en la



Matriz A, así se puede visualizar en la Figura 2 las resultantes, para cada proceso y por departamento y se relacionan las pérdidas causales con los resultados por cada departamento.

**Tabla 2. Causas de las Pérdidas en Planta de Compostaje**

CAUSAS		
Averías	Absentismo	Falta de automatización
Cambios	Paradas menores	Operaciones provisionales
Configuraciones y ajustes	Materiales consumibles	Imprevistos
Cambio de herramientas	Materiales de mantenimiento	Falta de control automático
Arranque y parada	Retrabajos	Ajustes/Calibraciones
Paradas menores	No utilización de capacidad productiva	Espera de instrucciones
Pérdida de velocidad	Equipo inactivo	Mediciones
Residuos de materiales directos	Limpiezas técnicas	Adiestramiento y capacitación
Falta de materiales	Desgaste	Mantenimiento programado
Iluminación	Empaque	Controles



**Figura 2. Matriz B**

Los datos presentados en la Figura 3 (Matriz C) están reflejados en Bs/hr, de esta manera, es posible comparar las pérdidas identificadas en la matriz C con el costo asociado a cada renglón. Estos costos están

reflejados suponiendo de manera objetiva el caso extremo de que todas las pérdidas o desperdicios identificados se encuentran existentes en cada área, es decir, están presentes en forma paralela, tomando el

caso extremo, por lo tanto, la sumatoria de los costos (Bs/día) se puede considerar un tanto excesiva al final de los cálculos, pero se reitera una vez más que estos costos van de la mano al caso extremo de que todos los desperdicios y pérdidas existen en cada área especificada.

El objetivo es detectar, por medio de esta matriz, la alternativa que genera menor costo, con la finalidad de descartar la que genere mayores costos asociados a las pérdidas o desperdicios.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L		
					Equipos	Herramientas	Mano de Obra Directa	Mano de Obra Indirecta - Mantenimiento	Mano de Obra Indirecta - Técnico/Analista/Ejecutivo de ventas	Sobretiempo	Retrabajo	Costo total (Bs/Hr)		
	Tipo	Departamento	Área	Pérdida Causal	Costo (Bs/Hr)	Costo (Bs/Hr)	Costo por Hr (Bs/Hr)	Costo por Hr	Costo por Hr	Costo por Hr	Costo por Hr			
5	EQUIPO	Materia Prima	Descarga	Averia			48,24	48,24		96,48		193,0		
6			Triturado		9,13	1,82	48,24	48,24		96,48	48,24	252,2		
7			Traslado		0,74	1,82	48,24	48,24		96,48	48,24	243,8		
8			Descarga	Arranque y parada										
9			Triturado		9,13	1,82	48,24	48,24			48,24	155,7		
10			Descarga		Mantenimiento programado									
11			Triturado	9,13		1,82	48,24	48,24		96,48		203,9		
12			Traslado	0,74		1,82	48,24	48,24		96,48		195,5		
13			Descarga	Desgaste										
14			Triturado		9,13	1,82						10,9		
15			Traslado		0,74	1,82						2,6		
16			Armado de pilas	Producción	Averia		0,146	1,82	48,24	48,24		96,48	48,24	243,2
17			Hidratación de pilas			0,61	1,82	48,24	48,24		96,48	48,24	243,6	
18			Monitoreo			0,853	1,82	88,33	48,24	88,33		139,2		
19			Mezclado		0,146	1,82	48,24	48,24		96,48	48,24	243,2		
20		Cernido	0,39		1,82	48,24	48,24		96,48	48,24	243,0			
21		Armado de pilas	0,146		1,82	48,24	48,24		96,48	48,24	243,2			
22		Hidratación de pilas	0,608		1,82	48,24	48,24		96,48	48,24	243,6			
23		Monitoreo	0,853		1,82	88,33	48,24	88,33		412,4				
24		Mezclado	0,146		1,82	48,24	48,24		96,48	48,24	243,2			
25		Cernido	0,391		1,82	48,24	48,24		96,48	48,24	243,4			
26		Armado de pilas	0,146		1,82	48,24	48,24		96,48	48,24	243,2			
27		Hidratación de pilas	0,608		1,82	48,24	48,24		96,48	48,24	243,6			
28		Monitoreo	0,853		1,82	88,33	48,24	88,33		412,4				
29		Mezclado	0,146		1,82	48,24	48,24		96,48	48,24	243,2			
30		Cernido	0,391		1,82	48,24	48,24		96,48	48,24	243,4			
31		Pesaje	1,22	0,57	48,24	48,24		60,74	96,48	48,24	303,7			
32		Sellado	11,20	0,57	48,24	48,24		60,74	96,48	48,24	313,7			
33		Pesaje	1,22	0,57	48,24	48,24		60,74	96,48	48,24	303,7			
34		Sellado	11,20	0,57	48,24	48,24		60,74	96,48	48,24	313,7			

Figura 3. Matriz C

El criterio de decisión evidentemente está basado en el menor costo asociado a las pérdidas, el cual fue la alternativa del Sistema de Pilas (método rudimentario). Las alternativas presentadas son el resultado de considerar diferentes sumas de dinero con relación a las pérdidas o desperdicios estimados en las distintas áreas de cada departamento en específico, tomando en cuenta con gran relevancia los equipos y herramientas asociados a dichas pérdidas dentro de la vida útil de las mismas. Para posibilitar la selección más apropiada, dichas

alternativas fueron reducidas a una base temporal común (categoría de pérdidas), entendiéndose como tal, la comparación realizada en el mismo punto del eje temporal.

Esta situación en que los costos son expresados con base en las pérdidas, en función de una variable de decisión común (las categorías de pérdidas), se evaluaron de forma objetiva y analítica con la aplicación del criterio correspondiente a cada alternativa.

Un rasgo importante del mundo industrial es el continuo perfeccionamiento de su trayectoria. La optimización es la presentación matemática de esta idea. Cualquier problema en el diseño, operación y análisis de plantas manufactureras y procesos industriales pueden ser reducidos en el análisis final al problema de la determinación del valor máximo o mínimo de una función de distintas variables.

Muchos métodos han sido introducidos para determinar procedimientos o políticas óptimas. Los métodos de optimización proporcionan medios eficaces y sistemáticos para seleccionar entre infinitas soluciones, como surgen de los problemas con un número grande de variables de decisión.

Las técnicas de optimización pueden abarcar métodos analíticos y numéricos, que son seleccionados en función de la naturaleza de

la función objetivo y las restricciones que conforman el modelo.

A fin de evitar los problemas más comunes de plantas manufactureras, con relación a los desperdicios o pérdidas existentes de manera implícita, este método ayuda de manera significativa a reducir costos que en un futuro se generarían si no se toman las medidas acertadas para evitarlos, es decir, es una técnica preventiva, que con base en los conocimientos del proceso de producción se pueden evidenciar y al mismo tiempo reducir o eliminar las pérdidas o desperdicios involucrados en ella.

### Diseño y técnica

A continuación se presenta en la Figura 4, la estructura organizacional de la planta de compostaje diseñada:

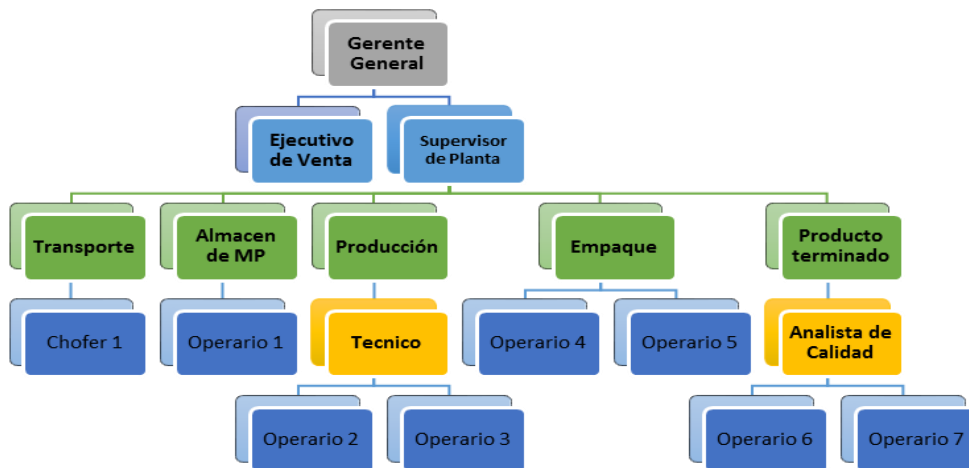


Figura 4. Estructura Organizacional

La localización de la planta de compostaje, estará dentro de las instalaciones de la universidad, específicamente donde funcionaría el vivero, una vez que el proyecto del sistema de ferrocarriles se llevara a cabo en su totalidad; todo esto porque dicho proyecto requiere el espacio que actualmente ocupa el vivero. El método utilizado para localizar la planta es el de

factor preferencial, el cual se basa en tomar en cuenta sólo la preferencia del inversionista de ubicar su planta en determinada región o localidad, Gómez y Núñez (ob. cit.), debido a razones de orden estrictamente personal y subjetiva.

De igual manera se menciona sus ventajas, por factores primarios (suministro de

materias primas y mercado) y factores específicos (transporte y características del terreno) relevantes a considerar al momento de dicha ubicación.

En la Figura 5 se muestra la ubicación prevista en el futuro para el Vivero de la UC.



**Figura 5. Plano de conjunto, ubicación Vivero**

### **Especificaciones Técnicas del Producto**

El compostaje se puede considerar como un proceso microbiológico aerobio que combina fases mesófilas (15-45 °C) y termofílica (45-70 °C) para conseguir la transformación de un residuo orgánico en un producto estable, libre de patógenos y semillas de malas hierbas consiguiendo un gran valor agronómico, así como lo expresa Román, J. en su investigación del año 2013.

En forma más abreviada se puede decir que es la descomposición biológica en condiciones aerobias y controladas de residuos orgánicos.

En el momento en que una materia orgánica es oxidada por microorganismos, una

fracción de la energía liberada es capturada y usada para la síntesis de una nueva materia celular.

Este proceso se va repitiendo hasta que la porción de materia orgánica remanente es muy resistente al ataque microbiano. A medida que avanza el proceso de compostaje, los compuestos orgánicos más fácilmente biodegradables van oxidándose y gradualmente van siendo reemplazados por materiales húmicos cada vez menos biodegradables, hecho demostrado por el investigador Luciano (2007).

Los compuestos más estables que quedan después del compostaje son todavía degradables, pero a una velocidad mucho más pequeña comparada con la velocidad de degradación inicial.

El producto final no es una materia orgánica totalmente estabilizada, sino un material semejante al “humus” del suelo, capaz de seguir evolucionando y en esa evolución, suministrar nutrientes al sistema de suelos y plantas.

En la figura 6 se puede visualizar una muestra del compost.



**Figura 6. Pila de Compost**

## Materiales e Insumos Necesarios

En cuanto al requerimiento de la materia prima es importante que la planta procesadora se encuentre cerca del sitio donde se generan los materiales orgánicos y que los proveedores tenga facilidad de acceso a la misma.

Dentro del sistema logístico propuesto se tiene estipulado que la materia prima sea en su mayoría: hojas secas, frescas, restos de podas, ramas y troncos caídos de todo el sector UC Bárbula pero el diseño tiene la capacidad si a futuro se requiere, de procesar los materiales compostables que a continuación se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2. Materiales compostables**

No.	DESCRIPCIÓN
1	Hojas frescas
2	Restos de poda/limpieza de jardines y aéreas verdes
3	Estiércol de animal herbívoros
4	Residuos de mercados de fruta y verdura
5	Restos de plantas hortícolas
6	Bolsas de infusiones y posos de café
7	Cáscaras de huevo
8	Restos de plantas y macetas
9	Serrín y virutas de madera
10	Pelos y plumas
11	Cáscaras de frutos secos
12	Cenizas de leña

## Maquinaria y Herramientas

La planta procesadora de compost de acuerdo con su proceso de producción, para la obtención de un producto de buena calidad, requiere de diferentes equipos, maquinarias e implementos, descritos en las Tablas 3, 4 y 5, mostradas a continuación:

**Tabla 3. Herramientas Utilizadas**

	PROCEDENCIA	DESCRIPCION	IMAGEN
Phmetro	R&M Market	Phmetro HannaExcellence™ pH/conductividad/concentración de iones. Manejo mediante una pantalla táctil intuitiva para el control de pH de las pilas.	
Termómetro	R&M Market	Termómetro digital marca Hanna modelo 1326s (-20 a 500C). Para medir y controlar la temperatura de las pilas.	
Rastrillo	R&M Market	Rastrillo de hierro 12 dientes mango de madera. Tiene la utilidad de mover cantidades de poda y preparación de terreno para las pilas.	
Palas	R&M Market	Pala cabeza cuadrada mango de madera. Sirve para mover pequeñas cantidades de materiales, en este caso nos servirá para empaquetar el compost en los sacos y para remover las pilas.	
Pico	R&M Market	Pico de hierro mango de madera. Tiene la utilidad de mover la tierra y preparación de terreno para las pilas.	
Chicora	R&M Market	Chicora cabeza de hierro mango de madera. Tiene la utilidad de mover cantidades compost y preparación de terreno para las pilas.	
Carretilla de Plataforma	R&M Market	Transporta material de un lugar a otro, con una capacidad de 3 Ton, es muy versátil a la hora de operar	
Harnero Grueso/Fino	R&M Market	Cernir el material y dejar un tamaño de grano de 15-16 mm (grueso) y 5-6mm (fino) para ser utilizado en jardinería	

**Tabla 4. Equipos Utilizados**

	PROCEDENCIA	DESCRIPCION	IMAGEN
Mini cargador	Gamma Inversiones AG.CA.	Minicargador Komatsu. Modelo SK265-5 especificaciones en anexo#	
Balanza Digital	Gamma Inversiones AG.CA.	Balanza Industrial con tablero digital de una capacidad de 200Kg	
Trituradora	Gamma Inversiones AG.CA.	Briggs & Stratton Intek motor 5.5HP, arranque de retroceso, 6 cuchillas de la coriadora. Neumáticos con una capacidad 150kg	
Bomba	Gamma Inversiones AG.CA.	Potencia 1.1kW -1.5Hp RPM 3.400 Trifásico Tensión: 220V / 380V, Delta - Estrella Corriente: 4.6A / 2.65A Frecuencia: 60Hz Para la distribución y obtención de líquidos	



**Tabla 5. Equipos de Protección Personal Utilizados**

	PROCEDENCIA	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Guantes PVC	R&M Market	Guantes con refuerzo en las palmas de textura porosa para mejorar agarre. Fabricada en PVC y Nitrilo. resistente a hidrocarburos, aceites, grasas y ácidos bajo la norma EN-345	
Mascarillas	R&M Market	Máscaras reutilizables 3M para gases y vapores (Normas Europeas EN136:1998; EN140:1998; EN141:2000; EN143:2000+A1:2006; EN14387:2004)	
Lentes	R&M Market	Lentes con cristal reforzado y goma moldeable al rostro para protección de aire particulado e impactos leves	
Casco	R&M Market	Casco para protección craneana	
Botas de Seguridad	R&M Market	Botas de seguridad con puntera de acero adecuada para el sector alimentario. Fabricada en PVC y Nitrilo. Toda la bota es resistente a hidrocarburos, aceites, grasas y ácidos. Suela antideslizante y antiestática. Calzado tipo S4 según normativa EN-345.	

### Evaluación Técnica

Debido a que el compostaje es un proceso de conversión microbiológica de materia prima orgánica (residuos orgánicos vegetales) en humus estable y suelo enriquecido, donde se requiere de las mejores condiciones internas y externas para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos, se hace indispensable que exista un manejo adecuado de los factores críticos del proceso, así como lo expresa Luciano (2007).

### Factores Críticos Cualitativos

De acuerdo con cada caso se instrumentan los procedimientos de pre compostaje necesarios. Un aspecto muy importante, es asegurar que los residuos estén libres de contaminantes químicos, en particular metales pesados.

Esta situación no es frecuente en desechos provenientes de la UC Campus Bárbula, sin embargo, puede presentarse en algunas ocasiones en los centros de acopios que están expuestos a zonas transitadas.

### Factores Críticos Cuantitativos

La cuantificación de los volúmenes que se dispondrán para compostar, así como la frecuencia de ingreso de los mismos, es un dato de gran importancia, ya que nos permitirá calcular la necesidad de área de compostaje y determinar la Unidad de Compostaje.

Es aconsejable manejarse con medidas volumétricas y determinar los parámetros: Densidad (D), Masa (M) y Volumen (V), a partir de la fórmula  $D = M/V$ , expresando la masa en toneladas (Ton.), y el volumen en metros cúbicos (m<sup>3</sup>); relación tomada de Román (2013).

Así como también, los siguientes factores:

- Tamaño de partículas (Granulometría)
- Humedad
- Aireación
- Temperatura
- pH
- Relación C:N
- Tiempo
- Periodo de estabilización

## Diseño de las Pilas de Compost

La Pila de Compost, es la masa de residuos que permitirá la conformación de un camellón y que ingresará al sistema como una unidad independiente del resto.

De acuerdo con los cálculos estimados en el diagnóstico, en la UC se estima que semanalmente se generan alrededor de 20 toneladas de residuos compostable, con una merma de 50% de la partícula molida con una Densidad = 0,25 Ton/m<sup>3</sup>, valor tomado de Luciano (ob. cit.). Por lo tanto, la cantidad total será:

$$UM_{SEM} = (0.5 * 20) = 10 \text{ Ton} = 40 \text{ m}^3$$

## Diseño del Camellón o Pilas

No es aconsejable la conformación de pilas o camellones de pequeños volúmenes, ya que las fluctuaciones de temperatura en estos pequeños volúmenes son muy bruscas.

Se considera que los camellones y pilas se conforman con una base mayor a los 2 m. El ancho del pasillo dependerá absolutamente de la maquinaria utilizada para el volteo y disposición de los materiales en la Unidad de Compostaje, por lo que si se realiza de manera manual se necesitará de al menos 2 m de ancho. A diferencia que si se realiza de manera mecánica el mínimo es de 4 m.

La altura de la pila debe estar entre 1,5 y 1,8 m ya que permite mantener un intercambio de aire entre el interior de la pila y el exterior.

El ancho, generalmente se recomienda el doble de la altura y la forma de éstas dependerá del clima, serán trapezoidales en zonas de lluvias moderadas y circular en zonas de alta pluviometría.

Por lo tanto, se tomará como altura la mitad de la base, los que permite obtener una buena relación Superficie/Volumen.

Las dimensiones estimadas de las pilas de compost, se calculan con base en el volumen de un paralelepípedo, como se muestra a continuación:

$$V_p = X * Y * Z$$

$$X = \text{base}$$

$$Y = \text{altura}$$

$$Z = \text{longitud}$$

$$\therefore V_p = 40 \text{ m}^3$$

Luego, se procede a despejar el valor de la longitud:

$$X = 3 \text{ m}$$

$$Y = 1,5 \text{ m}$$

$$\therefore Z = \frac{V_p}{X * Y} = \frac{40}{3 * 1,5} = 8,89 \text{ m}$$

Finalmente, se tiene:

$$\text{Volumen aproximado} = 40 \text{ m}^3$$

$$\text{Área de la Base} = (3 * 8,89) = 26,67 \text{ m}^2$$

En la Figura 7 se muestran las dimensiones de los camellones:

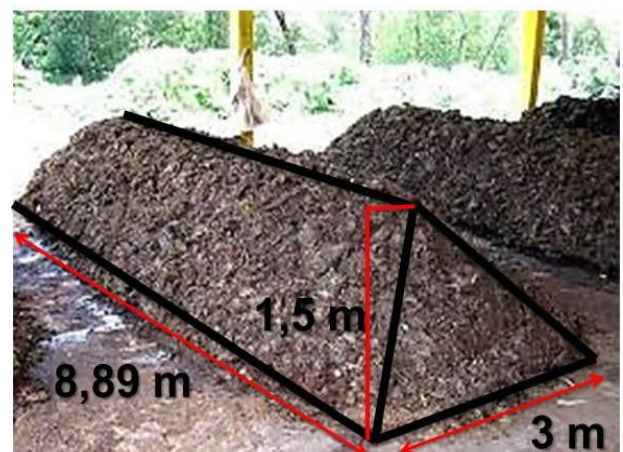


Figura 7. Dimensiones de los camellones

## Diseño del Área de Compostaje

El área donde se conforman las pilas y se lleva a cabo el proceso de compostaje será en el nuevo vivero, el cual consta de unos 79.084 m<sup>2</sup>, en las cuales se apilan y se ejecuta el proceso de canchas de compostaje, donde deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

### Preparación de las Canchas

Una vez seleccionada el área de acuerdo a los criterios mencionados, se procede a retirar de la misma, malezas, arbustos u otros elementos que interfieran con la operación del sistema. Posteriormente, se realizará la compactación y nivelación del terreno.

Es conveniente que el área de descarga, triturado y el proceso de transformación esté rodeada por una canaleta perimetral, necesaria para la evacuación y posterior colecta de los líquidos lixiviados. El diseño del sistema de drenajes, admite diversas alternativas y dependerá de las características topográficas del predio y dimensiones del área de compostaje.

### Dimensión de la Cancha

La dimensión de la cancha estará determinada por la unidad de Compostaje, ya sea de camellón o de pila y el tiempo de compostaje (Tc). Ejemplo anterior, se asume un Tc = 80 días, que es lo que tarda el compost en madurar con aireación manual.

La conformación de los camellones se realiza en forma semanal, aproximadamente ocupa un área base de 26,67 m<sup>2</sup>/sem, el área necesaria para la instalación de las canchas es de 26,67 m<sup>2</sup> x 16sem = 426,72 m<sup>2</sup>, valor relacionado en Luciano (ob. cit.)

Se debe considerar además el espacio necesario entre pilas, a los que se le llaman pasillos. Este espacio es necesario para manejar las pilas. Las dimensiones del mismo estarán sujetas a la forma en que se realicen las operaciones de remoción y aireación.

En la Figura 8 se muestra la ubicación de las pilas.

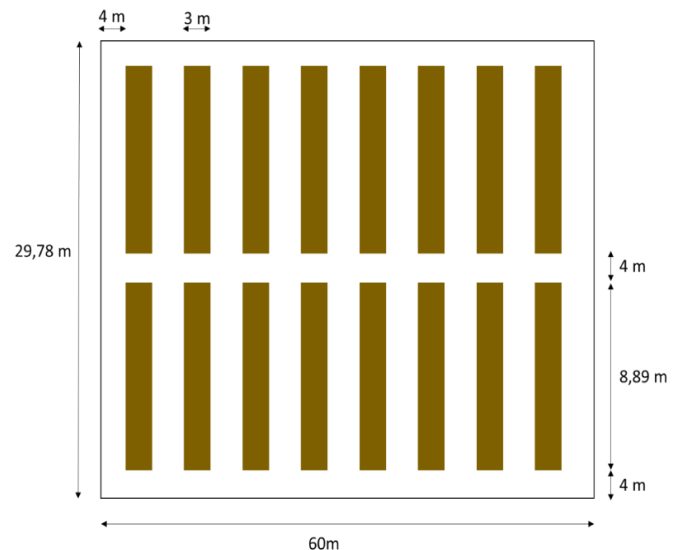


Figura 8. Diseño de ubicación de pilas

Se contará con las 52 semanas hábiles para la generación de compost dando un total de:

$$52 \text{ semanas} \times 40 \text{ m}^3/\text{semanal} = 2080 \text{ m}^3/\text{año}$$

Una vez establecida, la cantidad de fertilizante orgánico (compost) que se va a producir, es indispensable conseguir la materia prima adecuada, pero sobre todo tener el terreno listo para la ubicación de las pilas, método de elaboración del compost, el mismo que se desarrollará de acuerdo a los siguientes procedimientos establecidos para obtener la materia orgánica.



## Distribución en Planta

Para la determinación de la distribución en planta, se dispone de aproximadamente 79.094,76 m<sup>2</sup>, (como se mencionó en la localización); se establece el orden de las áreas de trabajo y del equipo más eficiente en costos, al mismo tiempo que se garantiza la seguridad para los colaboradores de la organización, fundamentándose obviamente en los desechos generados por la universidad y así estimar la capacidad de la misma.

Para diseñar la distribución en planta se debe aclarar que se hará partiendo fundamentalmente que la producción se realiza por producto, ya que los equipos están determinados por la secuencia de operaciones que requiere el mismo; básicamente la finalidad es balancear las cargas de trabajo y los métodos utilizados, de modo que exista un balance de línea en la producción.

Este tipo de distribución corresponde al caso en el que toda la maquinaria y equipos necesarios para la fabricación del producto se agrupan en una misma zona y se ordena de acuerdo con el proceso secuencial de fabricación, ya que el mismo es estándar; así como lo expresan Gómez y Núñez (ob. cit.).

La distribución en planta propuesta toma en cuenta la minimización de los recorridos, la ubicación de cada uno de los procesos, de tal forma de hacerlos más eficiente, garantizando que los almacenes cuenten con la cantidad de metros cuadrados necesarios, según los niveles de producción que se esperan obtener, para cubrir los requerimientos de los clientes.

Dicha distribución se muestra en la Figura 9.

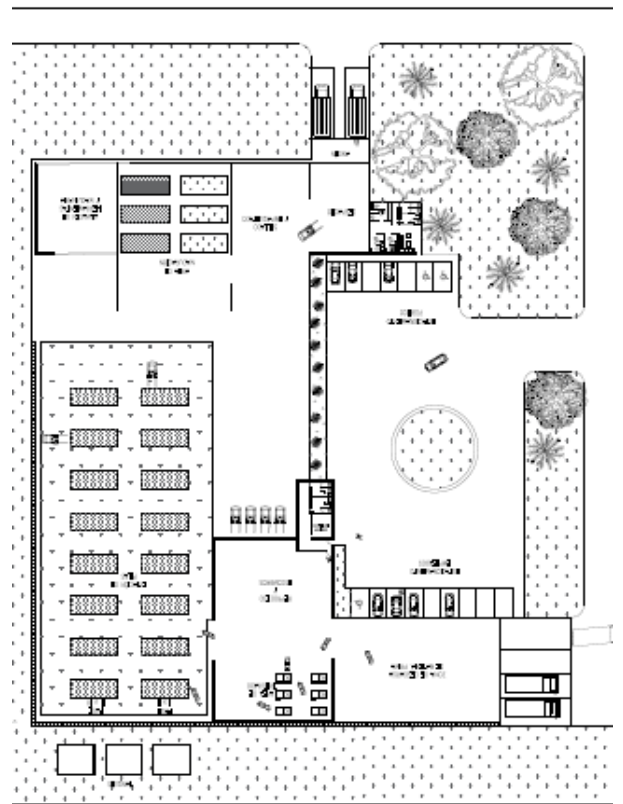


Figura 9. Distribución en planta.

## Descripción del Proceso

En la Figura 10 se muestra el Diagrama del Proceso del Compostaje en la UC:

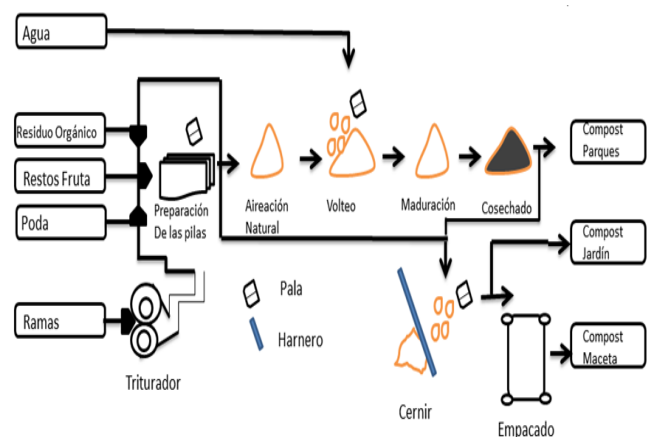


Figura 10. Diagrama de Proceso

## CONCLUSIONES

Una vez finalizado el desarrollo del estudio y dando cumplimiento al objetivo previamente planteado, como lo era el diseñar un sistema logístico para el desarrollo tecnológico de una planta de compostaje en la Universidad de Carabobo, y teniendo en cuenta la estructura del mismo, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- Para el tiempo de estudio la cantidad aparente de residuos orgánicos (restos de poda, frutos caídos, hojas secas, entre otros) generados por la UC, se encuentran conformados por una cantidad de 20,52 Ton/sem.
- El total de residuos representa un porcentaje a ser usado para la transformación en compost y a su vez para disponerlo como materia prima en el desarrollo de una planta de compostaje.
- El tratamiento que mejor se adaptó a los requerimientos exigidos y beneficios esperados para la transformación de dichos residuos, fue el método de Pilas de Compost en un Sistema Abierto, el cual se caracteriza principalmente por ser rudimentario y netamente manual, garantizando la correcta transformación para así obtener un compost de calidad.
- Los aspectos técnicos considerados en cuanto a la localización, distribución y equipos son de suma importancia para el desarrollo tecnológico de una planta de compostaje, factores que influyen de forma directa al producto.
- Disponer de dichos residuos para su transformación y de esta manera crear una fuente de ingresos para la UC, representa beneficios tangibles como intangibles, por el aporte al ambiente, la disposición de un abono orgánico para el

mantenimiento de las áreas verdes, reducción de costos en cuanto a la adquisición de fertilizantes, venta de un producto de calidad y finalmente obtener prestigio en alcanzar y demostrar un sólido desempeño ambiental mediante el control de los impactos de las actividades realizadas en el recinto, acorde con las leyes, normas. Esto no se mostró en el desarrollo del artículo y lineamientos a los objetivos ambientales.

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Benítez, J. (2012). *World Class Manufacturing como perspectiva para el liderazgo empresarial.*

Centro de desarrollo de WCM (2010). *Manual del Despliegue de costos FCA.*

Gómez, E. y Núñez, F. (2013). *Plantas Industriales. Aspectos técnicos para el diseño.*

Ley de Gestión Integral de la Basura (2010). *Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela No. 6.017*

Luciano, M. (2007). *Diseño de un sistema para el bioaprovechamiento de los desechos de jardinería generados en la Universidad de Carabobo, Núcleo Bárbula.*

Mayén, M. (2013). *“Optimización de la compostera tipo tambor giratorio horizontal del Centro de Investigación y Enseñanza Avícola Zamorano, Honduras”*

Nachwachsente, H. (2010). *Guía sobre el Biogás.*

Palmero, G. (2010). *Elaboración de compost con restos vegetales por el sistema tradicional en pilas o montones.*

Ramos, E. y Audor, L. (2015). *“Estudio para la creación y puesta en marcha de una planta de compost a partir de los residuos orgánicos en el municipio de Suaza Huila”*

Román, J. (2013). *Manual de Compostaje del agricultor (FAO)*

Suárez, L. (2015). *“Elaboración y comercialización de abonos orgánicos a través de la creación de una procesadora en el cantón Pueblo Viejo de la provincia de los ríos”*

Fecha de recepción: 14 de marzo de 2017

Fecha de aceptación: 29 de Mayo de 2017