

Factibilidad técnica y financiera de la implementación de una planta de compostaje de residuos orgánicos producidos en el campus central de la Universidad Industrial de Santander

Paula Catalina Chaparro Ruiz, Julia Elena Gutiérrez Gómez

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniería Civil

Director

Edgar Ricardo Oviedo Ocaña

PhD en Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2020

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mi madre por ser la mujer más valiente, fuerte y persistente que conozco y a mi padre por demostrarme que con disciplina, esfuerzo y dedicación puedo conseguir todo lo que me proponga.

Julia Elena Gutiérrez Gómez

La vida está llena de retos que ponen a prueba nuestras capacidades y habilidades este no fue la excepción, por eso lo dedico a Mis Padres y a Mi abuelo Alberto, quienes me enseñaron que todo se puede lograr con disciplina, constancia y perseverancia.

Paula Catalina Chaparro Ruiz

Agradecimientos

Gracias a Dios por darme una familia especial y unida que nunca dejo de creer en mi y en lo que puedo lograr, a mis padres por siempre apoyarme y a mis hermanos por impulsarme siempre a ser mejor. Gracias al profesor Ricardo Oviedo que nos guio siempre con respeto y paciencia durante todo el proceso.

Julia Elena Gutiérrez Gómez.

Agradezco a Dios por permitirme culminar mi carrera, a mis padres quienes siempre han sido mi apoyo incondicional sin importar las circunstancias, mis hermanos por guiarme y acompañarme en este proceso con sus consejos y experiencias, a los que desde el cielo siguieron dirigiendo mis pasos para concluir esta etapa, mis maestros y a todas aquellas personas que de una u otra forma hicieron parte de mi formación, a Julia con la que emprendí esta aventura y al director de proyecto por su confianza..

Paula Catalina Chaparro Ruiz

Tabla de Contenido

Introducción	16
1. Objetivos	19
1.1 Objetivo General	19
1.2 Objetivos Específicos.....	19
2. Marco referencial	20
3. Metodología	24
3.1 Condiciones técnicas para la implementación de la planta de compostaje.....	24
3.1.1 Cantidades y características de los residuos.	24
3.1.2 Recolección de los residuos.	24
3.1.3 Sistema de compostaje seleccionado.	24
3.1.4 Análisis de proceso.	25
3.1.5 Predimensionamiento.....	25
3.1.6 Mano de obra.	26
3.1.7 Obra Civil.....	27
3.1.7.1 Arquitectura.	27
3.1.7.2 Estructura.....	27
3.1.7.3 Hidrosanitarios.....	28
3.1.7.4 Eléctricos.....	28
3.1.7.5 Estabilización de taludes.....	29
3.2 Cálculo de costos y presupuesto de obra.....	29
3.2.1 Cálculo de cantidades.	29
3.2.2 Análisis de precios Unitarios.	29
3.2.3 Administración Imprevistos y Utilidades (AIU).....	29
3.2.4 Presupuesto.	29
3.3 Cálculo de indicadores financieros.....	30
3.3.1 Cálculo de egresos.	30
3.3.1.1 Personal.	30
3.3.1.2 Operacionales.....	30

3.3.1.2.1	Energía.	30
3.3.1.2.2	Acueducto.	30
3.3.1.2.3	Alcantarillado.....	30
3.3.1.2.4	Aseo.	30
3.3.2	Cálculo de Ingresos.	31
3.3.2.1	UIS.	31
3.3.2.2	Comercialización.....	31
3.3.2.3	Indicadores financieros.	31
3.3.2.3.1	Valor presente neto.	31
3.3.2.3.2	Relación costo-beneficio.....	32
3.3.2.3.3	Periodo de recuperación de la inversión.	32
3.3.2.3.4	Tasa interna de retorno (TIR)..	32
4.	Análisis de resultados.	33
4.1	Condiciones técnicas.....	33
4.1.1	Cantidades y características de los residuos.	33
4.1.2	Recolección de los residuos.....	33
4.1.3	Sistema de compostaje seleccionado.	33
4.1.4	Análisis del proceso.	35
4.1.4.1	Equipos y Maquinaria.....	35
4.1.4.2	Tiempos en cada etapa del proceso de compostaje.....	35
4.1.4.3	Predimensionamiento de la planta.	37
4.1.4.4	Mano de obra.	38
4.1.4.5	Personal.	38
4.2	Obra Civil.....	39
4.2.1	Planta Manual.	39
4.2.1.1	Arquitectura.	39
4.2.1.2	Estructural.....	39
4.2.1.3	Cubierta.	39
4.2.1.4	Hidrosanitarios.	40
4.2.1.5	Taludes.	40
4.2.2	Planta Semi mecanizada.....	41
4.2.2.1	Arquitectura.	41

4.2.2.2 Estructura.....	41
4.2.2.3 Cubierta.	41
4.2.2.4 Hidrosanitario.	42
4.3 Costos.	42
4.4 Análisis financiero.	44
4.4.1 Análisis de Egresos.....	44
4.4.1.1 Personal.....	44
4.4.1.2 Operacionales.....	46
4.4.1.2.1 Gastos energéticos	46
4.4.1.2.2 Consumos de agua.	47
4.4.1.2.3 Consumo de Alcantarillado.....	47
4.4.1.2.4 Aseo	47
4.4.2 Análisis de Ingresos.....	48
4.4.2.1 UIS.	48
4.4.2.2 Comercialización..	49
4.4.2.3 Por disposición final..	49
4.5 Indicadores Financieros.....	49
4.5.1 Valor presente neto (VPN).....	49
4.5.2 Tasa interna de retorno (TIR).	50
4.5.3 Relación Costo Beneficio (C/B)..	50
4.5.4 Periodo de recuperación de la inversión (PRI).	50
5. Conclusiones.....	51
6. Recomendaciones	53
Referencias bibliográficas.....	54

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Espacio requerido para una planta de compostaje</i>	26
Tabla 2 <i>Valores de rendimientos por actividad</i>	26
Tabla 3 <i>Valores máximos de condiciones hidráulicas para tubería sanitaria</i>	28
Tabla 4 <i>Volumenes de materia orgánica obtenidos por recolección</i>	34
Tabla 5 <i>Maquinaria propuesta según el tipo de planta a implementar</i>	35
Tabla 6 <i>Tiempos por actividad en cada planta</i>	36
Tabla 7 <i>Áreas propuestas para cada fase del proceso de compostaje</i>	37
Tabla 8 <i>Datos geotécnicos asumidos para los suelos</i>	40
Tabla 9 <i>Resumen por capítulos del Presupuesto de Construcción de las plantas</i>	42
Tabla 10 <i>Bases Salariales 2020</i>	44
Tabla 11 <i>Porcentaje de Prestaciones Sociales sobre el sueldo</i>	44
Tabla 12 <i>Costos de las prestaciones Sociales por profesión</i>	45
Tabla 13 <i>Egresos por nomina según el tipo de planta</i>	46
Tabla 14 <i>Costos por consumo de Agua</i>	47
Tabla 15 <i>Costos por Servicio de Alcantarillado</i>	47
Tabla 16 <i>Costos por Servicio de Aseo</i>	47
Tabla 17 <i>Costos según el tipo de Planta</i>	48
Tabla 18 <i>Dineros Ahorrados por la UIS con la implementación de una planta de compostaje</i>	48
Tabla 19 <i>Resumen de los indicadores Financieros</i>	50

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema del manejo de los residuos orgánicos mediante el proceso de compostaje. ..	21
Figura 2 Diagrama definido del proceso de compostaje para la UIS.	25
Figura 3 Dimensionamiento pilas en fase activa.	34
Figura 4 Dimensionamiento pilas en fase maduración.	34

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 Valor presente neto.	31
Ecuación 2 Relación Costo-Beneficio	32
Ecuación 3. Periodo de recuperación de la inversión.	32

Lista de Apéndices

(Los apéndices están adjuntos en el CD y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca UIS)

- Apéndice 1. Plano Arquitectónico Planta Manual.
- Apéndice 2. Plano Estructural Planta Manual.
- Apéndice 3. Plano Hidráulico Planta Manual.
- Apéndice 4. Plano Sanitario Planta Manual.
- Apéndice 5. Plano de Taludes Planta Manual.
- Apéndice 6. Plano Arquitectónico Planta Semi mecanizada.
- Apéndice 7. Plano Estructural Planta Semi mecanizada.
- Apéndice 8. Plano Hidráulico Planta Semi mecanizada.
- Apéndice 9. Plano Sanitario Planta Semi mecanizada.
- Apéndice 10. Plano de Taludes Planta Semi mecanizada.
- Apéndice 11. Cálculo de dimensiones de Pilas.
- Apéndice 12. Chequeos de la cubierta zona activa y de maduración para la planta Manual.
- Apéndice 13. Análisis Hidráulico Planta Manual.
- Apéndice 14. Análisis Sanitario Planta Manual.
- Apéndice 15. Análisis de estabilidad de taludes Planta Manual.
- Apéndice 16. Presupuesto completo para planta Manual.
- Apéndice 17. Flujo de Caja para la Planta Manual.
- Apéndice 18. Análisis del Valor presente neto para la Planta Manual.

- Apéndice 19. Análisis de Tasa Interna de Retorno para la Planta Manual.
- Apéndice 20. Chequeos de la cubierta zona activa y de maduración para la Semi mecanizada.
- Apéndice 21. Análisis Hidráulico Planta Semi mecanizada.
- Apéndice 22. Análisis Sanitario Planta Semi mecanizada.
- Apéndice 23. Análisis de estabilidad de taludes Planta Semi mecanizada.
- Apéndice 24. Presupuesto completo para Planta Semi mecanizada.
- Apéndice 25. Flujo de Caja para la Planta Semi mecanizada.
- Apéndice 26. Análisis del Valor presente neto para la Planta Semi mecanizada.
- Apéndice 27. Análisis de Tasa Interna de Retorno para la Planta Semi mecanizada.
- Apéndice 28. Análisis de Fases por pilas.
- Apéndice 29. Calendario Operacional Planta Manual.
- Apéndice 30. Calendario Operacional Planta Semi mecanizada.
- Apéndice 31. Análisis Software SAP 2000.
- Apéndice 32. Análisis Software Revit.
- Apéndice 33. Análisis Software GeoSlope.
- Apéndice 34. Planos Estructurales Software AutoCAD.
- Apéndice 35. Planos Arquitectónicos Software AutoCAD.
- Apéndice 36. Planos Metálicos Software AutoCAD.
- Apéndice 37. Plano localización UIS Software AutoCAD.
- Apéndice 38. Planos de Sistemas Software AutoCAD.

Resumen

Título: Factibilidad técnica y financiera de la implementación de una planta de compostaje de residuos orgánicos producidos en el campus central de la Universidad Industrial de Santander*

Autores: Paula Catalina Chaparro Ruiz**, Julia Elena Gutiérrez Gómez**.

Palabras Clave: Residuos sólidos, Compostaje, Planta de compostaje, Estudio técnico, Estudio financiero.

Descripción: El aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos por medio de procesos de compostaje se ha convertido actualmente en una de las alternativas más usadas para la gestión de residuos sólidos municipales. Las instituciones educativas no pueden ser ajenas a la implementación de prácticas de manejo de residuos que contribuyan con la sostenibilidad ambiental. Por tal motivo, este proyecto estudió la factibilidad técnica y financiera de la implementación de una planta de compostaje de residuos orgánicos producidos en el campus central de la Universidad Industrial de Santander. La instalación procesaría alrededor de 3,912.5 Kg/ semanales de RV (residuos verdes) y de RC (Residuos de comida incluyendo cruda y procesada), con un sistema de compostaje en una sola fase y en hileras; mediante la formación de 14 pilas en fase activa y 11 pilas en fase de maduración durante un tiempo de proceso de aproximadamente 96 días y con pérdidas de volumen promedio del 50% en el interfaz de fases, ocupando alrededor de 934 a 1,460 metros cuadrados en área de planta. Para este análisis se propusieron tres alternativas tecnológicas para la operación: Totalmente manual, semimecanizada y totalmente mecanizada; para cada alternativa se establece el tipo de maquinaria, mano de obra e infraestructura, así como los diseños arquitectónicos, estructurales e hidrosanitario. Seguidamente, se realizó un análisis de costos, el cálculo del presupuesto y el análisis financiero que mostró que la alternativa más viable es una planta semi mecanizada, donde la mano de obra son 3 trabajadores, el periodo de recuperación de la inversión es de 13 años, la relación costo beneficio arrojó el valor positivo de 3.27 y los demás indicadores como el valor presente neto con un valor de \$ 1,089,548,718 y la tasa interna de retorno de 8.38% que arrojan valores referentes a una inversión conveniente.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña PhD in Sanitary and Environmental Engineering

Abstract

Title: Technical and financial feasibility of the implementation of an organic waste composting plant produced on the central campus of the Industrial University of Santander*

Authors: Paula Catalina Chaparro Ruiz**, Julia Elena Gutiérrez Gómez**

Keywords: Solid waste, Composting, Composting plant, Technical study, Financial study

Description: The use of organic solid waste through composting processes has now become one of the most widely used alternatives for municipal solid waste management. Educational institutions cannot be unrelated to the implementation of waste management practices that contribute to environmental sustainability. For this reason, this project studied the technical and financial feasibility of the implementation of a composting plant of organic waste produced on the central campus of the Industrial University of Santander. The facility would process about 3.912,5 kg/ per week of GW (green waste), and FG (raw and processed food), with a single phase, row composting system and a formation of 14 active phase piles and 11 mature piles during a process time of approximately 96 days and with average volume losses of 50% in the phase interface, occupying about from 934 to 1,460 m² in plant area. For this analysis, three technological alternatives were proposed for the operation: Fully manual, semi-machined and fully machined; for each alternative the type of machinery, labor and infrastructure is established, as well as architectural, structural and hydro sanitary designs. Subsequently, a cost analysis was performed, the budget calculation and financial analysis were carried out, which showed that the most viable alternative is a semi mechanized plant, where the workforce is 3 workers, the payback period is 13 years, the cost benefit indicator yielded the positive value of 3.27 and the other indicators such as the net present value with a value of \$ 1,089,548,718 and the internal rate of return of 8.38% which yield values of a suitable investment.

* Bachelor Thesis

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña., PhD en Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Introducción

A nivel mundial la generación de residuos sólidos es una de las mayores problemáticas a la que se enfrenta la humanidad, debido al crecimiento poblacional y económico de los últimos años. En promedio se generan en el mundo, 2010 billones de toneladas de residuos sólidos anuales, siendo la fracción orgánica la predominante con un 44% del total (Banco Mundial, 2018). En países en desarrollo la fracción orgánica es de 75% contrastando la situación con países desarrollados donde esta fracción es del 36%. Esta situación es preocupante porque en la región de América Latina y el Caribe tan solo se aprovecha el 2% del total de los residuos sólidos orgánicos generados (BID, 2009). De este modo, altas cantidades de residuos sólidos se siguen depositando en sitios de disposición final estimándose un total de 3400 millones de toneladas por año para el 2025 (Banco mundial, 2018).

Esta situación no es ajena a nivel nacional, en donde de las 11.3 millones de toneladas de residuos sólidos generados en 2016, el 77.45% representan residuos orgánicos (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2017), y de estos residuos, la mayor cantidad (83%) terminan en sitios de disposición final como rellenos sanitarios o botaderos a cielo abierto y aprovechándose tan solo el 17% de estos en plantas de aprovechamiento (Departamento Nacional de Planeación, 2017).

Con toda esta problemática reflejada en las altas cantidades de residuos sólidos generados, es necesario implementar procesos de reutilización de estos para minimizar el daño ambiental y sacar el máximo provecho de estos residuos. Una de las estrategias para lograrlo es la implementación de tecnologías de tratamiento y valorización como el compostaje, donde se transforma la materia orgánica para obtener un producto que es empleado como enmienda y mejorador del suelo (Sztern,

Pravia, 1999). En este sentido, se deben promover estudios conducentes a analizar la factibilidad técnica y financiera de la implementación de este tipo de opciones tecnológicas a nivel del municipio, industrias y establecimientos institucionales.

Con el ánimo de contribuir al manejo apropiado de los residuos sólidos orgánicos en los centros urbanos, en la Universidad Industrial de Santander (UIS) se han realizado diversos estudios que han estado enfocados a la búsqueda de opciones para la implementación del compostaje como opción para el manejo de sus residuos sólidos. En tal sentido, los resultados obtenidos en los proyectos mencionados han sido los siguientes:

En el 2014 Gaitán y Hernández (2014) evaluaron la calidad fisicoquímica de los residuos orgánicos de rápida degradación generados en el campus central de la UIS, sugiriendo una mezcla de 19.6% de alimentos crudos y 80.4% residuos de poda y jardín para obtener una relación C/N apta para el proceso de compostaje. Posteriormente, Forero y Pachón (2015) evaluaron el compostaje de la mezcla propuesta e incluyeron una mezcla con residuos de alimentos procesados encontrando que el proceso se realizó efectivamente en 77 días y que la calidad del producto fue mejor en los tratamientos que incluían una proporción de 40% de alimento crudo y 60% de residuos de poda. Seguidamente, Cruz y García (2016) propusieron la adición de comida procesada para el mejoramiento de las propiedades fisicoquímicas, obteniendo los mejores resultados con una mezcla en una proporción de 50% RV, 30% alimentos sin procesar y 20% de residuos procesados.

En el 2018, Barragán y Gómez (2018) estimaron una producción de 732.5 Kg diarios de RV en la universidad y un potencial de compostaje del 74%, Finalmente, Calderón y Medina (2018) analizaron mezclas con base de residuos de poda y combinan esta con alimentos crudos y procesados y roca fosfórica, comprobando que las mejores mezclas son las que contenían residuos

crudos o procesados mejorando los tiempos en las etapas, y ayudando a la descomposición de los residuos de poda que son los que aportan los nutrientes a la mezcla.

Dada la cantidad de información generada en los diversos estudios y la necesidad de que la UIS pueda implementar este tipo de tecnologías para el manejo de sus residuos orgánicos, en este proyecto de grado se realiza un análisis de la factibilidad técnica y financiera de la implementación de una planta de compostaje en el campus central. Para tal efecto, i) se realiza el dimensionamiento técnico del sistema, ii) se estiman los costos de inversión, operación y mantenimiento, y iii) se analizan indicadores financieros para determinar la factibilidad de esta opción. De esta manera, la UIS podría contribuir con la política nacional de residuos sólidos que incluye como estrategia primordial el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos y a la disminución de los residuos que se llevan al sitio de disposición final; además se posicionaría como una institución en la gestión de residuos que apuntan al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General.

Evaluar la factibilidad técnica y económica de la implementación de una planta de compostaje de residuos verdes y residuos de alimentos en el campus central de la Universidad Industrial de Santander.

1.2 Objetivos Específicos.

- Proponer las condiciones técnicas para la implementación de una planta de compostaje de residuos verdes y residuos de alimentos en la Universidad Industrial de Santander.
- Estimar los costos de inversión, operación y mantenimiento del sistema de compostaje propuesto.
- Evaluar la viabilidad financiera de la implementación de la planta de compostaje de residuos verdes y residuos de alimentos propuesta.

2. Marco referencial

El proceso de compostaje es la descomposición aeróbica de residuos orgánicos, en condiciones controladas, en el que se consigue un producto estable y aplicable al suelo como abono o mejorador de suelos (Hernández, 2003). Es posible interpretar el compostaje como el sumatorio de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que, en presencia de oxígeno, transforman la materia orgánica presentes para producir su propia biomasa. En este proceso, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido estable, que es llamado compost (FAO, 2013).

Según la temperatura generada durante el proceso la cual varía entre 25 y 65 °C, se reconocen cuatro etapas principales en el compostaje, conocidas como Mesófila, Termófila, Enfriamiento y Maduración de duración variable (FAO, 2013). Las diferentes fases del compostaje dependen a su vez de parámetros adicionales a la temperatura como la humedad, la cual debe estar situada en alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas (FAO, 2013); el pH el cual varía entre 6 y 8 durante el proceso (Sztern y Pravia, 1999), concentración de Oxígeno la cual se debe mantener entre 15-21% (Mac gregor et al, 1981) y por último la presencia de microorganismos, los cuales deben estar en condiciones óptimas de carbono y nitrógeno para su supervivencia, recomendando una relación C-N entre 25-30 (Golueke,1991).

Acorde con el producto obtenido se definen los potenciales usos (i.e. agrícola, forestal, horticultura). La Figura 1 presenta un esquema del manejo de los residuos orgánicos mediante el proceso de compostaje.

Este proceso de compostaje se ha ido implementando progresivamente en algunas universidades, contemplándolo como una oportunidad de contribuir a la sostenibilidad ambiental debido a que se generan grandes cantidades de residuos sólidos que pueden ser aprovechados

mediante este proceso antes de terminar en sitios de disposición final. Algunos ejemplos claros de plantas de tratamiento en campus universitarios son los de la Universidad Nacional en sus sedes de Medellín y Orinoquia.

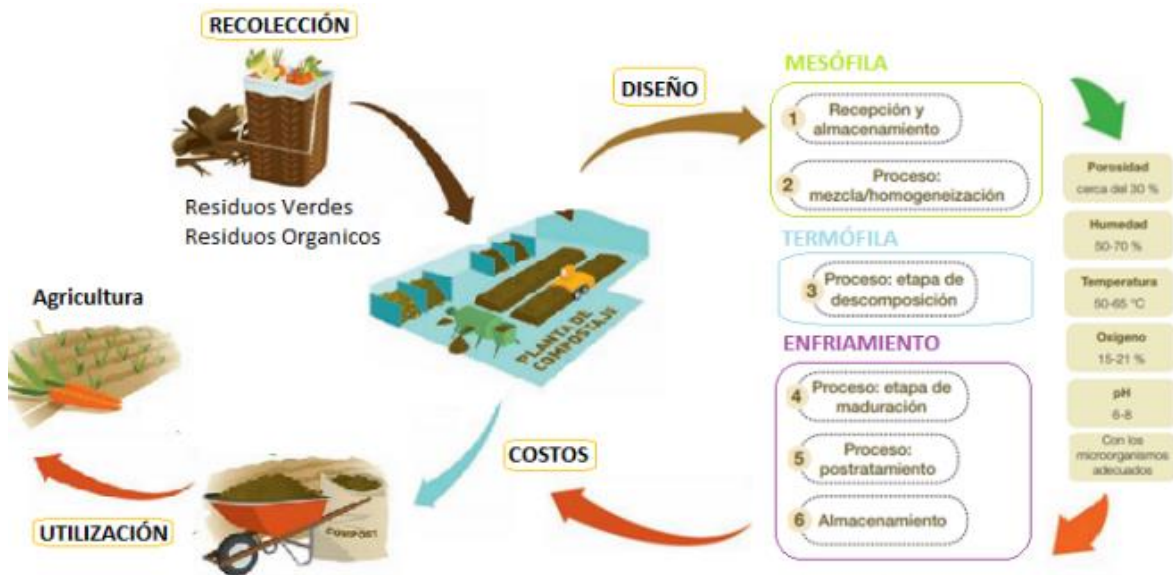


Figura 1. Esquema del manejo de los residuos orgánicos mediante el proceso de compostaje.

Nota: Adaptado de Agencia de residuos de Cataluña. (2016).

En la primera se procesa alrededor de 0.5 toneladas diarias de residuos sólidos, mediante un método de deshidratación, inóculos y aditivos como el aserrín, sometiendo a la mezcla a permanecer en composteras por un periodo de 35 días de fase activa, para luego pasar a una fase de maduración y almacenamiento; además de esto usa un filtro en el que se descontamina el 60% del agua empleada en el proceso (Universidad Nacional de Colombia, 2019); la segunda cuenta con una extensión de aproximadamente 360 m² de la granja experimental El Cairo, en la cual logran convertir los desechos de la cafetería de la institución, excretas de bovinos y hojas de árboles en abonos, plaguicidas y fertilizantes orgánicos. Usan tres estrategias principales para la obtención de abono: 1) a partir de desechos orgánicos produciendo en promedio 1 tonelada al mes de abono; 2) Uso de lombrices californianas recogiendo alrededor de un litro de abono líquido cada mes; 3) a partir de Residuos verdes y de poda.

En total se producen entre 12 a 15 toneladas mensuales de abono para autoconsumo y comercialización. (Agencia de Noticias UN, 2015).

Otra universidad que opta por el compostaje para manejo de sus residuos sólidos orgánicos es la Universidad ICESI de Cali, la cual, mediante el procesamiento de residuos verde (RV), transforma 1600 m^3 de RV a 2200-2500 kilogramos de abono por mes, empleados para el autoconsumo y embellecimiento de sus jardines. La planta de compostaje procesa el 80% del material vegetal generado entre pasto, hojas y poda, (PGIRS, 2013), las cuales son recolectadas y cada 15 días clasificadas y trituradas para iniciar la transformación; luego de esto los residuos son apilados y mezclados con un inóculo rico en nitrógeno y un cultivo de bacterias y hongo; su proceso tiene una duración de 2 meses para obtener su producto final (ICESI, 2013).

Respecto de la UIS, se ha analizado la posibilidad de implementar una instalación de compostaje para la universidad, se plantean las siguientes etapas:

Se debe realizar un estudio técnico que determine los parámetros relacionados a la producción, características fisicoquímicas de los residuos, infraestructura, funcionamiento y operabilidad de la planta. A partir de esto se definen aspectos como el tipo y características del proceso de compostaje, capacidad de producción, mano de obra requerida y maquinaria a implementar. Posteriormente, se analizan y proponen diseños, distribuciones y modelos que satisfagan estas necesidades (Arteaga, Diaz & Pedraza; 2016).

De igual forma del estudio técnico se define la función de producción que optimice el uso de recursos disponibles, las necesidades de capital, mano de obra y materiales para la puesta en marcha y operación del proyecto puesto que los aspectos relacionados con la ingeniería del proyecto tienen gran incidencia sobre los costos y las inversiones (Sapag, 2008). Finalmente, una vez definidos todos los parámetros técnicos, se estiman los insumos, ingresos y los costos de

operación de la planta, pues así se pueden determinar por medio de indicadores financieros como el valor presente Neto, Tasa interna de retorno, Relación Costo-Beneficio y el tiempo de recuperación de la inversión la rentabilidad y viabilidad en la ejecución del proyecto. Dependiendo del análisis financiero se toman las decisiones para la selección de la alternativa más adecuada según las necesidades y beneficios que se obtengan.

3. Metodología

3.1 Condiciones técnicas para la implementación de la planta de compostaje

3.1.1 Cantidades y características de los residuos. Se obtuvo información de la producción, composición física (ej. pasto, ramas, hojas, suelo, cáscaras) y características fisicoquímicas (i.e. carbono orgánico, nitrógeno, pH, conductividad eléctrica, fósforo, humedad) de los residuos verdes, residuos de alimentos procesados y residuos de alimentos crudos en la Universidad Industrial de Santander. Para tal efecto, se revisaron los proyectos de grado desarrollados en el grupo de investigación GPH desde 2014: Gaitán y Hernández (2014), Forero y Pachón (2015), Cruz y García (2016), Calderón y Medina (2017), Barragán y Gómez (2018). Esto permitió identificar las mezclas potenciales de residuos a procesar al interior del campus.

3.1.2 Recolección de los residuos. Para establecer condiciones operacionales en cuanto a las condiciones de recepción de los residuos y el inicio del proceso es necesaria información de la recolección y manejo actual de los RV y RC en la Universidad. Para tal efecto, se tomó información del estudio de Barragán y Gómez (2018) que permitió establecer: a) horarios de llegada del material a la planta, b) tiempos de formación de pilas, y c) cantidad de material en fase activa y en fase de maduración.

3.1.3 Sistema de compostaje seleccionado. Se establecen cuatro características principales para definir el tipo de proceso: i) Clasificación de los residuos; ii) Definición del tipo proceso (i.e. una o en dos etapas); iii) Tipo de aireación acorde con el tipo de proceso; iv) Selección del sistema de compostaje apropiado (i.e. pilas o hileras). Se consideró para el dimensionamiento del sistema que en la fase activa y en la de maduración existen pérdidas de masa (Román, Martínez y Pantoja, 2013), las cuales afectaran la cantidad de producto final del proceso y el dimensionamiento de las zonas que participen en este proceso.

3.1.4 Análisis de proceso. El proceso completo desde la llegada del material, hasta su empaque y salida de la planta se divide en las etapas presentadas en la Figura 2.

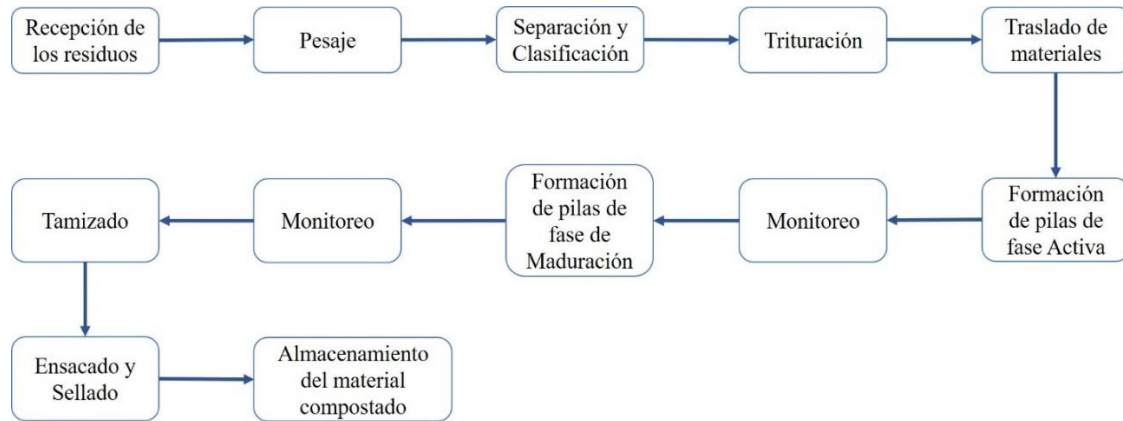


Figura 2 Diagrama definido del proceso de compostaje para la UIS.

Para la definición de las condiciones del proceso se siguieron recomendaciones de literatura relacionadas con: rendimientos del proceso en las distintas etapas, requerimientos de mano de obra, herramientas, materiales y equipos en el proceso. Se revisó información de Uribe y Páez (2012), Duarte y Jiménez (2016), Chiumenti et al. (2005), Bernal (2018), Sierra y Mesa (2017) y Zurbrügg et al. (2005).

3.1.5 Predimensionamiento. El dimensionamiento de la planta se divide en dos partes: La primera, el área directa del proceso, donde se tuvo en cuenta los estudios previos realizados en la universidad estipulando la cantidad de residuos y teniendo en cuenta las pérdidas de masa presentes en cada fase para diseñar las pilas en la fase activa y de maduración; de igual manera en esta se establecen las especificaciones técnicas como la forma de llegada del material y su distribución por las diferentes zonas del proceso.

La segunda parte es el dimensionamiento de las áreas complementarias las cuales se consideraron acorde con Zubrugg et al. (2005) que presenta valores de áreas mínimas para una planta de compostaje que procesa 3 ton/diarias de material como se observa en la tabla 1; es

importante resaltar el uso de las diferentes áreas puesto que estas pueden cambiar dependiendo de la maquinaria diseñada y del espacio requerido para el tránsito de estas.

Tabla 1

Espacio requerido para una planta de compostaje Autores: Zurbrugg et al. (2005).

Tipo	Área requerida (m ²)
Recepción y triturado	40
Zona de basura	25
Herramienta	10
Fase Activa	400
Fase de maduración	150
Tamizado	35
Almacenamiento de material	30
Facilidades	36
Clasificación	40
Parqueadero	30
Laboratorio	10

3.1.6 Mano de obra. Para establecer la mano de obra necesaria para la operación de la planta se realizaron calendarios operacionales, para el sistema propuesto teniendo en cuenta los tiempos de cada etapa del proceso, los rendimientos por actividad presentados en la tabla 2 y estableciendo cuadrillas de trabajo que cumplan con éstas.

Tabla 2

Valores de rendimientos por actividad

Actividad	Rendimiento	Unidad
Traslado de material	1	m ³ /hr
Separación y clasificación	1.25	m ³ /hr
Trituración	4	m ³ /hr
Tamizado	1000	Kg/h
Formación de pilas	2.88	m ³ /hr
Ensacado y sellado (Mecanizado)	12000	Kg/hr
Ensacado y sellado (Manual)	8.33	Kg/hr

3.1.7 Obra Civil.

3.1.7.1 Arquitectura. Para realizar el diseño arquitectónico se tuvieron en cuenta los requerimientos de movimientos de material dentro de la planta. Acorde con Peña y García (2005), se debe tener claro que la zona activa y de maduración del material dependerá directamente de la cantidad de material a procesar, las demás zonas se deben diseñar de acuerdo al Predimensionamiento calculado con base en Zurbrugg et al. (2005). En la zona de facilidades, en cuanto a medidas y alturas de la infraestructura se siguieron las recomendaciones de Steegman (2013) y los elementos sanitarios acorde con Jimeno Blasco (2000).

3.1.7.2 Estructura. Los diseños estructurales se dividieron en dos zonas principales: La primera es el diseño de la zona de fase activa y maduración que es recomendable realizarla como una placa base con una cubierta con estructura metálica (Peña y García, 2000). Para estos diseños y requerimientos de correas, cordones, diagonales, columnas, conexiones y platinas se consideró la referencia de McCormac y Csernak (2012). La segunda zona, que es la de facilidades, se realizó

según lo estipulado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (2010) (i.e. NSR 10) y se analizó en el software de análisis de estructuras SAP 2000.

3.1.7.3 Hidrosanitarios. Los diseños hidrosanitarios se realizaron con base en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento (RAS 2000), estableciendo el trazado de la tubería hidráulica (Azul) y sanitaria (verde), chequeando pendiente, caudal, velocidad, y diámetros para cada tramo de tubería. El diseño incluyó la verificación de las presiones (i.e. menores a 50 m.c.a) y para la tubería sanitaria se verificaron los valores máximos de la tabla 3.

Tabla 3

Valores máximos de condiciones hidráulicas para tubería sanitaria Fuente: RAS 2000

Valores base para tubería sanitaria	
V min (m/s)	0.45
V max (m/s)	5
τ cte min (N/m ²)	1,5
ϕ min (in)	8
R (γ/D) max	0.85
Fr	0.9
Fr	1.1

3.1.7.4 Eléctricos. Para el diseño eléctrico en las zonas de facilidades, fase activa, maduración y zona de cribado se suponen los posibles puntos de luz requeridos para cada una, dividiendo cada zona por circuitos dependiendo el número de interruptores, tomacorrientes y bombillas usadas que finalmente irán conectados entre sí a una caja de fusibles. Para que el cálculo

de cantidades en cuanto a tubería y cableado será más exacto se usa un software de análisis de procesamiento de imágenes 3D para todos los sistemas.

3.1.7.5 Estabilización de taludes. El diseño del movimiento de tierras consideró un sistema de plantas de compostaje escalonado como se observa en Peña y García (2000); para tal efecto, se siguieron las recomendaciones de taludes y manejo de suelos planteados por Suarez (1998).

3.2 Cálculo de costos y presupuesto de obra.

3.2.1 Cálculo de cantidades. Este procedimiento se realizó con ayuda del software REVIT® (Ver apéndice 31) el cual una vez montado el proyecto arrojó las cantidades de cada material según los diseños, Arquitectónicos, Estructurales, Hidrosanitarios y Eléctricos.

3.2.2 Análisis de precios Unitarios. En el análisis de precios unitarios se estableció el valor real de cada actividad en obra, este se calculó adicionándole al valor de una unidad del material, el precio por transporte, a excepción de los materiales que en su valor por unidad lo incluyeron, se adicionó el valor de mano de obra por medio de un análisis de rendimientos previos como los establecidos por Peña y García (2000), Para los equipos, se consideró el valor en el mercado y de reemplazarse por herramienta menor, se asumió el 5% del valor de mano de obra según Ardila (2019). Finalmente, se le adicionó el valor de la maquinaria que se deba rentar.

3.2.3 Administración Imprevistos y Utilidades (AIU). El valor de AIU depende de cada sector y en específico surge de un acuerdo entre el contratista y la entidad contratante; dado que no se tienen valores puntales para sistemas de compostaje, se tomó lo establecido por Rojas y Bohórquez (2009).

3.2.4 Presupuesto. Para el cálculo del presupuesto se determinaron inicialmente los materiales y las cantidades requeridas de cada uno, los cuales son multiplicados por su respectivo precio unitario; totalizando estos valores se aplicó el A.I.U seleccionado para obtener el valor del

presupuesto de la planta.

3.3 Cálculo de indicadores financieros.

3.3.1 Cálculo de egresos.

3.3.1.1 Personal. Para el cálculo del presupuesto se determinaron inicialmente los materiales y las cantidades requeridas de cada uno, los cuales son multiplicados posteriormente por su respectivo precio unitario; totalizando estos valores se aplicó el A.I.U seleccionado para obtener el valor estimado del presupuesto de la planta.

3.3.1.2 Operacionales. Para los gastos operacionales se consideraron: costos de servicios públicos (i.e. energía, agua, alcantarillado y aseo) y costos de personal. La información fue suministrada por la dependencia de planta física de la UIS y se estimó de la siguiente manera:

3.3.1.2.1 Energía. Se estimó el gasto promedio con base en consumos de industrias semejantes (Conservación de energía en las industrias mecánicas y forestales, 1991) o de experiencias previas para tener un gasto mensual de energía y multiplicarlo por el valor de Kwatt en Bucaramanga.

3.3.1.2.2 Acueducto. Se realizó una estimación de la cantidad de agua a emplear en el sistema (Reyes, 2017), se adapta a la cantidad de material que se está tratando para este proyecto y se multiplica por la tarifa por consumo unitario establecida por la empresa de servicios públicos amb.

3.3.1.2.3 Alcantarillado. Se tomaron las tarifas establecidas por la empresa de servicios públicos EMPAS donde se enuncian el cargo fijo mensual por consumo básico acorde con tipo de usuario.

3.3.1.2.4 Aseo. Se estimaron acorde con las tarifas fija y variable estipuladas por EMAB que es la empresa encargada del cobro y administración de los servicios públicos.

3.3.2 Cálculo de Ingresos.

3.3.2.1 UIS. Los ingresos considerados para la evaluación financiera están relacionados con los costos evitados por conceptos de compra en abono para el mejoramiento de zonas verdes del campus (i.e. relación suelo-abono por m³ de 0.006) (Ballester, Olmos y Anguis, 2006). De igual manera, se establecen la reducción de costos del servicio de aseo y manejo de residuos verdes en el campus, por costos evitados para la recolección y disposición final de estos residuos por la empresa de servicio de aseo. Esta información fue suministrada por personal administrativo y operativo de la UIS.

3.3.2.2 Comercialización. Se aplicó la relación obtenida por Simón (2005) para calcular si el producto obtenido satisface la demanda interna o si, por el contrario, puede ser comercializado, obteniéndose un valor de venta en el mercado para generar un ingreso adicional a la planta por la venta de este.

3.3.2.3 Indicadores financieros. El análisis de los siguientes indicadores se realizó con base a Montero (2018), con el cual se realizó el cálculo del valor presente neto, la relación costo beneficio, el periodo de recuperación de la

3.3.2.3.1 Valor presente neto. Para aplicar la fórmula del valor presente neto es necesario establecer

el costo de oportunidad (i) con referencia a otras posibles opciones de inversión se realizó en comparación al porcentaje de un CDT, además de esto la fórmula incluye un tiempo (t) y X que representa el valor de los ingresos por año.

$$\sum_{t=0}^n \frac{X_t}{(1+i)^t}$$

Ecuación 1 Valor presente neto.

3.3.2.3.2 *Relación costo-beneficio.* Una vez calculado el valor presente neto para la relación Costo-Beneficio se dividió este valor de ingresos sobre el valor de costos, donde una relación mayor a uno significa que es un proyecto conveniente y que los beneficios superan los costos, en caso contrario se tendría a un proyecto no conveniente donde los costos superan los beneficios.

$$\frac{B}{C} = \frac{VPN \text{ ingresos}}{VPN \text{ costos}}$$

Ecuación 2 Relación Costo-Beneficio

3.3.2.3.3 *Periodo de recuperación de la inversión.* Para el periodo de recuperación de la inversión se realizó una gráfica comparando el tiempo en años y el valor presente neto acumulado, con esto se realizó una regresión lineal y se encontró la ecuación que representa estos puntos, posteriormente se calculó el punto en el que el valor presente neto acumulado es igual al valor de la inversión inicial, y este punto es el periodo de recuperación de la inversión.

3.3.2.3.4 *Tasa interna de retorno (TIR).* La tasa interna de retorno se tomó como el indicador inverso del valor presente neto donde se realizó una línea de tiempo en la cual X representa el valor de los ingresos por año t el año y la i es el valor que se va a calcular igualando la fórmula a 0.

$$\sum_{t=0}^n \frac{X_t}{(1+i)^t} = 0$$

Ecuación 3. Periodo de recuperación de la inversión.

4. Análisis de resultados.

4.1 Condiciones técnicas.

4.1.1 Cantidades y características de los residuos. En el campus central de la UIS se producen alrededor de 3,912.5 kg semanales de residuos aprovechables, de los cuales 3,662.5 Kg son RV 100 Kg RC cruda y 150 Kg RC procesada; es así como diariamente se produce 732,5 Kg, 20 Kg y 30 Kg de residuos respectivamente para un total de 782.5 Kg. Esta mezcla tiene una composición de 93.6% de RV de los cuales el 75% de estos son los que finalmente entran al proceso de compostaje junto con 6,4 % de RC.

En la evaluación de la mezcla mencionada previamente se concluye que el tiempo de proceso se lleva a cabo aproximadamente en 96 días en donde la fase mesofílica tarda 3 días, la termófila 16 días, enfriamiento entre 25-29 días y la fase de maduración 48 días (Anexo digital “Antecedentes”), con una pérdida de volumen en promedio del 30% en la fase activa y 20% en fase de maduración (Dulac, 2001).

4.1.2 Recolección de los residuos. Teniendo en cuenta el manejo de los RV en el campus central, semanalmente se formarán dos pilas, los martes y viernes. La primera pila se diseña con una capacidad de 1,198.75 kg y 1,438.51 kg de residuos en la segunda, las cuales iniciarán el proceso de compostaje en la zona de fase activa, después de la pérdida de masa respectiva se obtendrán alrededor de 9,59.01 kg y 1,489.03 Kg de residuos tratados que pasarán a la fase de maduración para continuar con el proceso de compostaje (Ver Apéndice 11).

4.1.3 Sistema de compostaje seleccionado. Teniendo en cuenta que la cantidad de residuos orgánicos a transformar en cada pila oscila entre 1 y 2 toneladas, los residuos predominan en su gran mayoría son de baja degradación.

Se establece que el sistema más adecuado para su tratamiento es un proceso en una etapa y en hilera, obteniendo durante los 50 días de fase activa un total de 14 pilas y en los 48 días de fase de maduración 11 pilas (Ver Apéndice 28), las cuales manejan densidades en fase activa de 250 kg/m^3 y en fase de maduración de 650 kg/m^3 (Román, Martínez & Pantoja, 2013), consiguiendo los volúmenes presentados en las Tabla 4.

Tabla 4

Volúmenes de materia orgánica obtenidos por recolección (VR1, VR2)

Volúmenes de recolección				
Fase /	Volumen	Según	VR1	VR2
Recolección			(m^3)	(m^3)
Fase Activa			4.79	0.92
Fase Maduración			7.19	1.38

Se asumen las siguientes dimensiones para formar las pilas, ilustradas en las Figuras 3 y 4

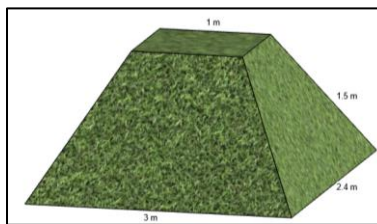


Figura 3 Dimensionamiento pilas en fase activa.

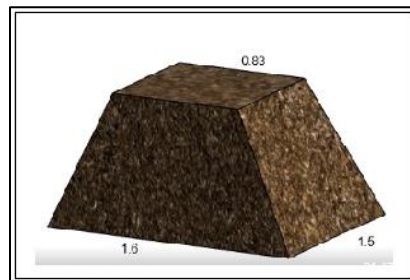


Figura 4 Dimensionamiento pilas en fase maduración.

4.1.4 Análisis del proceso. A partir del análisis realizado a los residuos que se procesan, se evalúan tres posibles alternativas para el funcionamiento de la planta de compostaje, una totalmente manual, semi mecanizada y totalmente mecanizada. Es así como a continuación se determinará cuál de estos sistemas es el más adecuado desde el punto de vista de equipos, maquinaria, tiempos en cada etapa del proceso y su respectiva mano de obra a implementar.

4.1.4.1 Equipos y Maquinaria. Se determinaron los elementos para el funcionamiento de las etapas del proceso de compostaje en la Tabla 5.

Debido a la complejidad de los equipos y maquinarias necesarias para el funcionamiento de una planta totalmente mecanizada, se descarta esta alternativa debido a que su inversión inicial es muy elevada y la cantidad de residuos a procesar no requeriría este tipo de tecnología.

4.1.4.2 Tiempos en cada etapa del proceso de compostaje. Se calcularon en promedio los tiempos de operación en cada etapa del proceso de compostaje Tabla 6, el tiempo mínimo de ejecución de una actividad en el calendario se adopta de 15 minutos según lo sugerido en la aproximación de tiempos realizada por Uribe y Páez 2012.

Tabla 5

Maquinaria propuesta según el tipo de planta a implementar

Maquinaria propuesta				
Etapa	Proceso	Manual	Semi mecanizado	Mecanizado
Tratamiento de materia prima	Recepción	Contenedor, pala	Mini cargador	Banda transportadora
	Pesaje	Balanza digital	Balanza digital	Balanza digital
	Separación y clasificación	Canecas	Canecas	Separadora de residuos
	Trituración	Trituradora TR 500	Trituradora TR 500	Trituradora TR 500

	Traslado de material	Carretilla, pala	Mini cargador	Mini cargador y moldes
Producción fase activa y maduración	Formación de pilas	Carretilla, pala	Carretilla, pala	Mini cargador y moldes
	Hidratación de pilas	Manguera	Manguera	Aspersores
	Aireación	Volteos	Tubería perforada	Tubería perforada
	Monitoreo	Laboratorios	Sensores	Sensores
	Traslado de material	Carretilla, pala	Mini cargador	Banda transportadora
	Formación de pilas maduración	Carretilla, pala	Carretilla, pala	Mini cargador y moldes
	Monitoreo pilas maduración	Laboratorios	Sensores	Sensores
	Llegada de material	Carretilla, pala	Mini cargador	Banda transportadora
	Tamizado	Tamices	Tamizadora	Tamizadora
	Pesaje	Balanza digital	Balanza digital	Balanza digital
	Empaquetado	Pala	Empaquetadora	Empaquetadora
	Sellado	Prensa		

Tabla 6

Tiempos por actividad en cada planta.

Fase / Mecanismo	Manual (min)	Semi Mecanizado (min)
Recepción de material	15.0	15.0
Pesaje	15.0	15.0
Separación y Clasificación	75.0	75.0
Trituración	35.0	35.0
Traslado de material	15.0	15.0
Formación de pilas Fase activa	112.5	112.5

Hidratación	37.5	15.0
Aireación	60.0	15.0
Monitoreo	55.0	15.0
Formación de pilas Fase Maduración	90.0	90.0
Almacenamiento del material	64.0	15.0
Tamizado	32.0	32.0
Empacado y sellado	88.0	5.0

4.1.4.3 Predimensionamiento de la planta. Las áreas donde se ejecutarán los procesos de la planta fueron diseñadas teniendo en cuenta el tránsito y tamaño de la maquinaria y equipos a usar en el proceso de compostaje; además de esto se superan las dimensiones mínimas para cada área sugeridas en plantas de pequeño y mediano tamaño de Zurbrugg et al. (2005).

Se determinó que el terreno donde estará ubicada la planta tiene un área aproximada de 5,128.84 m², ocupadas de la manera expuesta en la Tabla 7.

Tabla 7

Áreas propuestas para cada fase del proceso de compostaje.

Predimensionamiento		Manual	Semimecanizada
Espacio	Área mínima	Área real	Área real
Recepción	7.71	11.84	11.84
Triturado	5.00	5.94	5.94
Zona de basura	2.20	4.50	4.50
Herramienta	1.00	3.24	3.24
Fase activa		257.09	399.60

Fase maduración		123.60	207.12
Tamizado	4.17	7.50	7.50
Almacenamiento de material	6.01	10.00	10.00
Facilidades	40.00	45.00	45.00
Clasificación	2.00	12.24	12.24
Área de circulación	37.79	337.00	637.01
Parqueadero	30.00	96.00	96.00
Laboratorio		20.00	20.00
TOTAL (m ²)		933.95	1460.00

4.1.4.4 Mano de obra. Según los tiempos en cada fase del proceso se estipularon los calendarios operacionales que se encuentran en los Apéndices 29 y 30.

Durante todos los días de operación se realizan actividades de Recepción, pesaje, separación y clasificación, traslado y trituración de materia orgánica con sus respectivos tiempos de etapa. Los martes y viernes se realizan la formación de las pilas en horas de la tarde y durante este proceso se irán hidratando las pilas a medida que se va formando cada capa.

En cuanto al control de temperatura para la planta manual se toma una vez al día de lunes a viernes con excepción del día jueves donde se realiza la toma de parámetros, estos inician en horas de la mañana y a medida que transcurre el proceso se van distribuyendo a lo largo del día, en la planta semi mecanizada se diseña con sondas incluidas en las pilas que arrojan digitalmente estas tomas y alerten cualquier alteración presente en las pilas. Las actividades de trituración, clasificación, pesaje y tamizado se realizan de la misma forma en los dos sistemas.

4.1.4.5 Personal. Una vez realizado la distribución por funciones del calendario operacional se determina que para el sistema manual son necesarias 4 personas de T.C (tiempo

completo) y 2 ayudantes que trabajaran 5 horas durante dos días a la semana; mientras que para el sistema semi mecanizado son necesarias 3 personas distribuidas de la siguiente manera:

- Manual: 4 Trabajadores (T.C)

2 laboratoristas (T.C)

-Semimecanizada: 2 Trabajadores (T.C)

1 laboratorista (T.C)

La diferencia en el número de laboratoristas de una planta respecto a la otra radica en que en la planta manual las pruebas son llevadas a cabo en laboratorio mientras que, en la otra el análisis es sistematizado y llevado a cabo por sensores.

4.2 Obra Civil.

4.2.1 Planta Manual.

4.2.1.1 Arquitectura. Se propone la distribución de espacios ilustrado en el plano Apéndice 1.

4.2.1.2 Estructural. Se realiza el diseño estructural presentado en el plano Apéndice 2.

4.2.1.3 Cubierta. Se implementó una cubierta de dos aguas, en acero tipo A-36 y teja forte con inclinación de 20°, en cuanto a sus distancias se tiene un frente de 12.4m, una altura de 5 m, distancia entre columnas de 6 m, entre otros.

Las correas están diseñadas en un perfil UPN 180, el cordón superior es un perfil L 3/8"x5 y sus columnas son perfiles HEA 400. Además, cuenta con columnas en concreto reforzado y una placa de contrapiso de espesor 17 cm. Su cimentación está compuesta por zapatas corridas. Para observar los demás diseños y chequeos estructurales remitirse al apéndice 12. Además de observar el comportamiento de la estructura en el software SAP2000 en el Apéndice 31.

La zona de facilidades está diseñada como un sistema a porticado, con cimentación en zapatas corridas.

4.2.1.4 Hidrosanitarios. Los diseños hidráulicos se realizaron mediante el chequeo de las condiciones de presión en cada punto de la red, suponiendo una presión de entrada de 45 m.c.a determinando los siguientes consumos en las tres redes principales: zona de facilidades con 48.74%, Laboratorios con 1% y proceso con 51%, representados en el plano Apéndice 3. Las condiciones de Caudal, Velocidad, Alturas y Presiones por tramo de tubería se pueden ver en el apéndice 13.

Respecto de los sanitarios, según los aparatos hidrosanitarios implementados se determinaron los caudales de diseño y chequeos de la tubería del anexo digital “SM” para una red de dos tramos representados en el plano Apéndice 4. Se determinó que se implementara tubería en PVC sanitaria con diámetro en el primer tramo de 14” y de 2” en el segundo tramo, cálculos que se encuentran en el apéndice 14.

4.2.1.5 Taludes. Para realizar el análisis de Taludes se toman valores representativos de los suelos de la Tabla 8, teniendo en cuenta que no existe un análisis correspondiente para establecer un perfil, sin embargo por recomendaciones de Celis, (2020) se asume la primera capa de suelo como tipo relleno por el uso brindado a este área hasta el momento, y el restante como un limo rojo característico de la formación Bucaramanga, se establece un diseño en tierra reforzada con geotextil y geomalla por el tipo de terreno y los movimientos grandes de tierra con la capacidad para brindar superficies planas, diseños ilustrados en el Apéndice 5 y con los chequeos representados en el apéndice 15 para Planta Manual y el Apéndice 23 para Planta Semi mecanizada, el análisis en el software GeoSlope se encuentra en el Apéndice 32.

Tabla 8

Datos geotécnicos asumidos para los suelos

Datos de los suelos					
Material de relleno			Material base		
Γ	1.73	Ton/m ³	γ	1.9	Ton/m ³
c'	1	T/m ²	c'	5.4	T/m ²
Φ	25	°	Φ	38	°

Se diseñaron 6 taludes, para observar los chequeos del diseño de muros en geotextil y geomalla remitirse a los anexos digitales “T”, además de observar el comportamiento de los taludes antes de su refuerzo en el software GEOslope en los anexos digitales (Taludes).

4.2.2 Planta Semi mecanizada.

4.2.2.1 Arquitectura. Se propone la distribución de espacios del plano Apéndice 6.

4.2.2.2 Estructura. Se realiza el diseño estructural presentado en el plano Apéndice 7.

4.2.2.3 Cubierta. Se implementó una cubierta de dos aguas, en acero tipo A-36 y teja forte con inclinación de 20°, en cuanto a sus distancias se tiene un frente de 17.3 m, distancia de separación entre apoyos de 7.5 m, entre otras.

Las correas están diseñadas en un perfil UPN 180, el cordón superior es un perfil L 3/8”x5 y sus columnas son perfiles HEA 400. Además, cuenta con columnas en concreto reforzado y una placa de contrapiso de espesor 17 cm. Su cimentación está compuesta por zapatas corridas. Para observar los demás diseños y chequeos estructurales remitirse al Apéndice 20. Además de observar el comportamiento de la estructura en el software SAP2000 en el Apéndice 31

La zona de facilidades está diseñada con un sistema a porticado con cimentación de zapatas corridas

4.2.2.4 Hidrosanitario. Los diseños hidráulicos se realizaron mediante el chequeo de las condiciones de presión en cada punto de la red, como en el diseño de la planta Manual, determinando los siguientes consumos en las tres redes principales: zona de facilidades con 44.24%, Laboratorios con 2% y proceso con 53%, representados en el plano Apéndice 8.

Las condiciones de Caudal, Velocidad, Alturas y Presiones por tramo de tubería se pueden ver en el Apéndice 21.

Respecto a los sanitarios según los aparatos hidrosanitarios implementados se determinaron los caudales de diseño y chequeos de la tubería (Ver Apéndice 22) para una red de dos tramos representados en el plano Apéndice 9. Se determinó que se implementara tubería en PVC sanitario con diámetro en el primer tramo de 12” y de 2” en el segundo tramo.

4.3 Costos.

Realizado el análisis de cantidades, de precios y actividades necesarias para la construcción de la planta se obtiene el resumen presupuesto representado en la Tabla 9, los presupuestos detallados de la Planta Manual y la Planta Semi mecanizada se encuentran en los apéndices 16 y 24 respectivamente.

Tabla 9

Resumen por Capítulos del Presupuesto de Construcción de las plantas

Actividad	Manual (\$)	Semimecanizada (\$)
Obras preliminares	207,601,084.53	248,988,770.10
Zona activa y de maduración		
Preliminares	71,674,437.10	126,299,531.54
Concretos	132,551,534.50	100,073,373.52
Pisos	57,514,451.76	21,665,674.08

Cubierta	129,383,412.88	174,358,160.32
Instalación Eléctrica	28,371,192.00	11,889,525.00
Equipos	71,224,500.00	51,912,940.00
Sistema de Recolección Agua Lluvia	867,300.00	775,220.00
Estabilidad de Taludes	367,302,330.73	825,079,467.96
Módulo de cribado, empaque y herramientas		
Preliminares	48,679.05	48,679.05
Concretos	1,172,155.37	1,172,155.37
Pisos	1,460,937.77	1,460,937.77
Mampostería: Pañetes y Acabados	25,386,696.00	25,244,596.00
Cubierta	10,275,933.95	10,275,933.95
Instalación Eléctrica	10,291,221.00	7,213,688.00
Equipos	18,877,845.00	125,123,623.00
Módulo de facilidades		
Preliminares	862,480.50	1,043,517.02
Concretos	25,905,779.88	36,727,428.70
Pisos	8,272,764.00	96,737,804.00
Mampostería. Pañetes y Acabados	125,344,416.58	159,681,032.00
Pintura	10,050,696.00	5,801,202.00
Carpintería Metálica	5,676,252.65	8,429,610.60
Carpintería de Madera	2,386,674.00	2,386,674.00
Instalaciones Hidrosanitarias	56,760,731.21	60,197,675.60
Aparatos Sanitarios	2,349,746.30	3,572,439.25

Instalaciones Eléctricas	36,077,852.00	23,114,987.00
Entrada principal		
Preliminares	4,935,882.00	4,935,882.00
Pisos	56,548,025.00	60,051,000.00
COSTOS DIRECTOS TOTAL	1,469,647,313	2,194,261,528
AIU (30%)	440,894,194	658,278,458
INVERSION TOTAL	1,910,541,507	2,852,539,986

4.4 Análisis financiero.

4.4.1 Análisis de Egresos. Se tuvieron en cuenta los siguientes gastos anuales para las plantas.

4.4.1.1 Personal. Se tomaron como referencia las bases salariales y porcentajes de prestaciones sociales de la tabla 10 y Tabla 11 respectivamente.

Tabla 10

Bases Salariales 2020.

Puesto	Coste base mensual	
Trabajadores TC	\$	877,803
Laboratoristas	\$	1,325,176

Tabla 11

Porcentaje de Prestaciones Sociales sobre el sueldo

Concepto	Especificaciones	Porcentaje (%)
Cesantías		8.33
Interés sobre cesantías		1

Prima		8.33
Vacaciones		4.17
Parafiscales	SENA	2
	I.C.B. F	3
	Caja de Compensación	4
	Familiar	
	Pensiones	12
	Salud	12.5
	Riesgos Profesionales	4.35

Obteniendo así los egresos mensuales por prestaciones reflejados en la Tabla 12.

Tabla 12

Costos de las Prestaciones Sociales por profesión.

Prestaciones laborales				
Concepto	Especificaciones	Trabajadores tc		Laboratoristas
Cesantías		\$	81,676	\$ 110,387
Interés sobre cesantías		\$	9,805	\$ 13,252
Prima		\$	81,676	\$ 110,387
Vacaciones		\$	36,604	\$ 55,260
Parafiscales	SENA	\$	17,556	\$ 26,504
	I.C.B.F	\$	26,334	\$ 39,755

	Caja de Compensación	\$	39,220	\$	53,007
	Familiar				
	Pensiones	\$	117,661	\$	159,021
	Salud	\$	122,563	\$	165,647
Dotación	Riesgos Profesionales	\$	38,184	\$	57,645
Trasporte		\$	102,703		
TOTAL		\$	673,984	\$	790,865

Teniendo en cuenta los datos anteriores y la cantidad de personal requerido para el funcionamiento de cada planta los egresos por nomina serían los representados en la Tabla 13.

Tabla 13

Egresos por nomina según el tipo de planta

	Pago nómina mensual	Anual
Planta manual	\$10,439,228	\$125,270,739
Planta semi mecanizada	\$5,219,614	\$ 62,635,369

4.4.1.2 Operacionales. Se tuvieron en cuenta gastos energéticos estándares, consumos de agua mensuales, alcantarillado y aseo.

4.4.1.2.1 Gastos energéticos. Se tomo como referencia un gasto energético mensual de 280KWh para la planta manual, mientras que en la planta semimecanizada se asume un incremento de 400 KWh generado por el mini cargador para un total de 680 KWh y se asumió un costo de \$ 675 por KWh durante 12 meses del año para un total de \$ 2,268,000 para la primera de las plantas y \$ 5,508,000 para la semimecanizada.

4.4.1.2.2 *Consumos de agua.* Se asumió un consumo mensual promedio de 5,199.58 L para el proceso y 100 L diarios necesarios por persona, con un costo de \$ 2,211 por m³ de agua, obteniendo los gastos para cada planta en la Tabla 14.

Tabla 14

Costos por consumo de Agua

Consumo de Agua (L)	L	m ³	Total, Mensual (\$)	Total, Anual (\$)
Manual	90,794.12	90.79	200,746	2,408,950
Semi-Mecanizada	81,794.12	81.79	180,847	2,170,162

4.4.1.2.3 *Consumo de Alcantarillado.* Con los consumos de agua para cada una de las plantas y un costo por consumo de 2,244 \$/m³ y un cargo fijo mensual de 7,500 \$/mes se determinaron los siguientes gastos anuales destinados a alcantarillado en la Tabla 15.

Tabla 15

Costos por servicio de Alcantarillado

Concepto	Total, anual
Planta manual	\$ 2,534,904
Planta semimecanizada	\$ 2,292,552

4.4.1.2.4 *Aseo.* Se determinó que 3.72 toneladas de residuos sólidos no son compostadas mensualmente y son desechados en cada una de las plantas, por tanto, deben ser recolectados y dispuestos de manera adecuada, esta actividad tiene el costo mensual presente en la Tabla 16.

Tabla 16

Costos por Servicio de Aseo

Concepto		Valor
Recolección (\$/T)	\$	77,850
Disposición final (\$/T)	\$	25,904
Comercialización (\$/mes)	\$	1,856

Adicionalmente se debe pagar un sobrecargo de barrido de 5,003.75 (\$/mes), arrojándonos un gasto anual de \$ 4,721,994 en cada una de las plantas.

Teniendo en cuenta los gastos anteriormente mencionados se tendrían gastos totales para cada planta representados en la Tabla 17.

Tabla 17

Costos según el tipo de Planta

Concepto		Total
Planta manual	\$	137,204,586
Planta Semimecanizada	\$	77,328,077

4.4.2 Análisis de Ingresos.

4.4.2.1 UIS. Se toma en cuenta los costos que se le estaría ahorrando a la universidad en la compra de insumos agrícolas para el mantenimiento de las zonas verdes y los destinados a la recolección de desperdicios para ser llevados al sitio de disposición final “EL CARRASCO” el cual se hace cada tres meses

Tabla 18

Dineros Ahorrados por la UIS con la implementación de una planta de compostaje

Concepto	Total
Dinero destinado para la compra de abonos por parte de la UIS	\$ 81,400,000
Dinero destinado para el aseo y recolección de residuos cada 3 meses	\$ 17,831,876
Total, anual dinero destinado a residuos aprovechables	\$ 71,327,504

4.4.2.2 Comercialización. Se determinó que son 52 semanas trabajadas anualmente, de las cuales 39,4 son de producción donde se obtienen 1,423.52 kg semanales de compost con una pérdida del 5% antes del ensacado final, es así como se estarían produciendo 56,086.52 kg anuales de compost que cuenta con una densidad final de aproximadamente 650 kg/m³, en otras palabras, se estarían produciendo 86.3 m³, de las cuales se usarían 59.89 m³ para autoconsumo, estimado en un costo de \$ 8,363,373 y quedan 26.4 m³ para la venta en bultos de 50 kg, las cuales se comercializarían a \$181,667 para un total \$ 62,345,392.

En total se calculan ingresos de \$ 223,436,269 para ambas plantas.

4.4.2.3 Por disposición final. Anualmente la universidad produce mensualmente 281,700 kg de residuos entre residuo verde y de comida tanto cruda como procesada, los cuales son destinados al sitio de disposición el CARRASCO con un costo anual de \$29,227,550.

4.5 Indicadores Financieros.

4.5.1 Valor presente neto (VPN). El flujo de caja neto asumido con un incremento anual del 4% en los 25 años de vida útil (Ver apéndice 17 y 25) del proyecto arroja un VPN total acumulado por año de \$ 2,595,879,945 para la planta manual (Ver apéndice 18) y \$ 3,942,088,704 para la semimecanizada (Ver apéndice 26), y que al relacionarlo con la inversión inicial para cada una de las plantas arroja un valor de \$ 685,338,438 y \$ 1,089,548,718 respectivamente, teniendo un valor de \$685,338,438 y \$ 1,089,548,718 respectivamente, para un costo de oportunidad 5,25.

Como en ambos casos el valor presente neto es mayor que 0, se asume que es conveniente la realización de los dos proyectos.

4.5.2 Tasa interna de retorno (TIR). En la TIR se determinó que las plantas son rentables pues durante los 25 años de vida útil del proyecto se logra recuperar la inversión con un 8.21% para la planta manual (Ver Apéndice 22) y un 8.38% para la semimecanizada (Ver Apéndice 27), presentando diferencias respecto al costo de oportunidad de 2.96 y 3.14 respectivamente.

4.5.3 Relación Costo Beneficio (C/B). La relación de costo beneficio para la planta manual fue de 1.84 y para la planta semimecanizada 3.27; siendo para ambas alternativas superiores a 1 lo que indica que es conveniente la inversión en ellas.

4.5.4 Periodo de recuperación de la inversión (PRI). Los periodos de recuperación de la inversión en años para la planta manual son de 18 años, mientras que para la semimecanizada fueron 13 años lo cual indica que son viables ya que son inferiores a la vida útil del proyecto.

Tabla 19

Resumen de los Indicadores Financieros.

Índice financiero	Tipo de planta	
	Manual	Semimecanizada
VPN	\$ 685.338.438	\$ 1.089.548.718
TIR	8,21%	8,38%
C/B	1,84	3,27
PRC	18	13

5. Conclusiones

Una planta de compostaje es un sistema complejo interdisciplinario donde influyen las diversas ramas de la ingeniería, por esto se realizó una revisión bibliográfica amplia donde se pudiera establecer las condiciones técnicas de esta en cuanto a espacios, manejos del material, cantidades, tipos de sistemas, tipos de tecnología y todas las variables que influyen en este proyecto. En este caso se encuentra que el mejor sistema para una planta que maneja menos de 3 toneladas diarias para hacer compostaje a gran escala es el compost en pilas, también depende del presupuesto que se tenga puesto que dependiendo de este se selecciona la tecnología que puede o no inferir en el proyecto para agilizar ciertos procesos e incluso sistematizarlos para prevenir errores, es por esto que se diseñan tres tipos de planta la primera totalmente mecanizada la cual se descartó después de la revisión bibliográfica pues excedía con una sola máquina el valor de las otras plantas, la segunda es la planta semimecanizada adaptada para que las personas que se encuentran trabajando en ella hagan el menor esfuerzo posible pero con un alto costo de inversión comparándola con la planta manual que aunque cuenta con facilidades para los trabajadores el esfuerzo físico es mayor en comparación, pero la inversión inicial es menor.

En el análisis financiero fue importante estimar los costos de inversión para poder afirmar cosas como la anterior e igualmente importante estimar los costos operacionales de la planta para asignarlos a los egresos de la misma, en cuanto a inversión se tiene para una planta manual con las especificaciones antes mencionadas y referidas en los planos un total de \$ 1' 910,541,507 mientras que la planta semimecanizada requiere de una inversión inicial de \$ 2'852,539,986 con estos valores y los resultados referenciados en la tabla 7 se puede concluir que la inversión inicial es mayor en la planta semimecanizada debido a los equipos especializados para su operación, las plantas se diseñaron con una vida útil de 25 años, donde la planta manual en el análisis arroja un

valor de ingresos mensuales de \$ 252,663,819 y egresos mensuales de \$ 137,204,586 con indicadores de bondad económica que muestran a esta planta como una inversión conveniente, con un periodo de recuperación de la inversión de 18 años. Por otro lado, se puede observar que la planta semi mecanizada, aunque tiene una inversión inicial mayor, genera egresos mensuales de \$77,328,077 e ingresos mensuales iguales a la planta manual, lo que permite tener una relación costo-beneficio igualmente positiva y un periodo de recuperación de la inversión de 13 años.

Finalmente se establece que las dos opciones de plantas de residuos orgánicos para la producción de compostaje con las condiciones técnicas planteadas en este proyecto son viables a nivel económico. Comparando la tasa interna de retorno de ambas se establece como la opción más factible la planta semimecanizada con 3,14% con respecto al costo de oportunidad.

Cabe resaltar la importancia de este proyecto a nivel ambiental el cual reduciría 3,7 toneladas de residuos semanales producidos en el campus central de la universidad brindando una opción amigable con el medio ambiente y factible técnica y económicamente.

6. Recomendaciones

Para obtener resultados más confiables se deben realizar estudios de suelos en el área de la planta para establecer un perfil y en dado caso modificar los diseños presentados en este proyecto, además de esto chequear las condiciones hidráulicas necesarias.

De ser posible se recomienda que la planta procese mayor cantidad de residuos y que opte vender el material que no sea usado para el autoconsumo.

Referencias bibliográficas

- Agencia de residuos de Cataluña. (2016). *Guía práctica para el diseño y explotación de plantas de compostaje* (1st ed). Cataluña.
- Barragan R D, Gomez F. (2018). Estimación de la producción y composición física de los residuos verdes generados en el campus central de la Universidad Industrial de Santander. *Proyecto de Grado. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad Industrial de Santander.*
- Calderon, A Y, Medina J C. (2018). Evaluación de la aplicación de estrategias operativas en el mejoramiento y optimización del proceso de compostaje de residuos verdes. *Proyecto de Grado. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad Industrial de Santander.*
- Cano, M. A. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 14(2), 15-31.
- Cruz, W, & Garcia, E. (2016). Evaluación del compostaje de residuos de poda y de alimentos crudos y procesados generados en el Campús central de la universidad Industria de Santander. *Proyecto de Grado. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad Industrial de Santander.*
- Domiciliarios, S. D. S. P. (2017). Informe de Disposición Final de Residuos Sólidos–2017. *Bogotá: Superservicios.*
- Forero, A R, Pachon, C F. (2015). Análisis del compostaje de residuos orgánicos de rápida degradación para su implementación en la Universidad Industrial de Santander sede Bucaramanga. *Proyecto de Grado. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad Industrial de Santander.*
- Golueke, C. G. (1991). Principles of composting. The Staff of BioCycle Journal of Waste Recycling. The Art and Science of Composting. The JG Press Inc., Pennsylvania, USA, 14-27.

HERNANDEZ HERNANDEZ, A. R. T. U. R. O. (2014). LA COMPOSTA, SU ELABORACION Y BENEFICIO.

Hernandez, L., & Gaitan, C. (2014). Evaluación de la calidad fisicoquímica de los residuos orgánicos de rápida degradación generados en el campus universitario como potencial materia prima del proceso de compostaje. *Proyecto de Grado. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad Industrial de Santander.*

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank Publications.

Reyes, M. (2017). PASANTÍA DE INVESTIGACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL ESTADO DEL ARTE SOBRE ESTRATEGIAS PARA OPTIMIZAR EL COMPOSTAJE DE RESIDUOS VERDES.

Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina.

SAPAG, C. (2008). Nassir y SAPAG, CH. Reinaldo. *Preparación y Evaluación de Proyectos*.

Rothenberger, S., Zurbrugg, C., Enayetullah, I., & Sinha, M. (2006). *Decentralised composting for cities of low and middle income countries: a user's manual*. EAWAG.

Sztern, D., & Pravia, M. A. (1999). *Manual para la elaboración de compost: Bases conceptuales y procedimientos*. Organización Panamericana de la Salud.

Terraza, H. (2009). Lineamientos estratégicos del Banco Interamericano de Desarrollo para el sector de residuos sólidos. *Banco Interamericano de Desarrollo. Washington (USA)*.

- Uicab-Brito, L. A., & Castro, C. S. (2003). Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 2(2), 45-63.
- Bernal Ramírez, J. M. Optimización del proceso de compostaje en pilas por volteo, como alternativa económicamente viable para la disposición final de residuos vegetales generados en una empresa floricultora.
- Ojeda Angarita, S. J., Orejarena Torres, R. A., & Ramos Hernandez, M. (2014). *Estudio De Pre Factibilidad Para La Creacion De Una Planta De Compostaje Para La Empresa Palmas Del Cesar SA* (Doctoral dissertation, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Estudios Industriales Y Empresariales).
- Calderon Ferreira, A. Y., & Medina Ardila, J. C. (2018). *Evaluacion De La Aplicacion De Estrategias Operativas En El Mejoramiento Y Optimizacion Del Proceso Del Compostaje De Residuos Verdes* (Doctoral dissertation, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Ing. Civil).
- Arteaga, V., De Jesus, J., Diaz Perez, J. T., & Pedraza Lizarazo, M. (2016). *Estudio Tecnico Y Financiero A Nivel De Prefactibilidad Para El Montaje De Una Planta De Compostaje En El Municipio De Bucarasica, Norte De Santander* (Doctoral dissertation, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Estudios Industriales Y Empresariales).
- Silva, J., López, P., & Valencia, P. (2000). Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje. *Escuela de ingeniería recursos naturales y el ambiente (EIDENAR). Universidad del Valle. Facultad de Ingenieria. Cali. Colombia.*
- Rojas López, M. D., & Bohórquez Patiño, N. A. (2016). Aproximación metodológica para el cálculo del AIU. *Dyna*.

- Jimeno, E. (1995). Instalaciones Sanitarias en edificaciones. *Perú: Capítulo de Ingeniería Sanitaria–Consejo Departamental de Lima–Colegio de Ingenieros del Perú.*
- Arboleda, H., Briggith, L., & Gaitan Prada, C. A. (2014). *Evaluacion De La Calidad Fisicoquimica De Los Residuos Organicos De Rapida Degradacion Generados En El Campus Universitario Como Potencial Materia Prima Del Proceso De Compostaje* (Doctoral dissertation, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Ing. Civil).
- Trautmann, N. M., & Krasny, M. E. (1998). *Composting in the Classroom: Scientific Inquiry for High School Students*. Kendall/Hunt Publishing Company.
- Gallego León, E. E., Duarte Jiménez, A. J., & Fernández Espinosa, N. A. Estudio de Pre-Factibilidad para el Diseño de una Planta de Reciclaje en Bogotá de Componentes Pétreos Generados en Obras Civiles.
- Miranda Cori, W., & Tapia Terrazas, E. (2017). *Diseño de una criba para la concentración de oro para la cooperativa “Unión flor de mayo”* (Doctoral dissertation).
- Salazar, C. S., & Suarez, C. (2005). *Costo y tiempo en edificación*. Editorial Limusa.
- Mildred Peña, L., & García, D. C. (2005). Planta integral para el manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos en el municipio de pacho (Cundinamarca).
- Uribe Páez, S. (2012). Propuesta de proceso productivo para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos a través de la elaboración de abono orgánico en Isla Fuerte, Cartagena.
- Franco Antolinez, L. J., Meza Joya, M. A., & Ernesto Almeida, J. (2018). Situación de la disposición final de residuos sólidos en el Área Metropolitana de Bucaramanga: caso relleno sanitario El Carrasco (revisión). *Revista Avances: Investigación en Ingeniería*, 15(1).

- Manual, T. (2009). Developing integrated solid Waste Management Plan. *Prepared by United Nations Environ Program, 3.*
- Sztern, D., & Pravia, M. A. (1999). *Manual para la elaboración de compost: Bases conceptuales y procedimientos* (Vol. 26). Organizacion Panamericana de la Salud.
- de la Puente, J. M. Á., Ruiz, R. G., Arana, J. J., & Perez, A. M. (2010). Compostaje de alperujos en Andalucía. *Fertilidad de la tierra: revista de agricultura ecológica*, (41), 12-14.
- Uicab-Brito, L. A., & Castro, C. S. (2003). Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 2(2), 45-63.
- Oviedo-Ocaña, E. R., Dominguez, I., Komilis, D., & Sánchez, A. (2019). Co-composting of green waste mixed with unprocessed and processed food waste: influence on the composting process and product quality. *Waste and biomass valorization*, 10(1), 63-74.
- Hoornweg, D., Thomas, L., & Otten, L. (1999). Composting and its applicability in developing countries. *World Bank working paper series*, 8, 1-46.
- Sztern, D., & Pravia, M. A. (1999). *Manual para la elaboración de compost: Bases conceptuales y procedimientos* (Vol. 26). Organizacion Panamericana de la Salud.
- Simón, A. S. (2005). Tecnologías de fertilización y mantenimiento de áreas verdes. *Q.E.J. Bricojardinería & paisajismo: Revista profesional de distribución en horticultura ornamental y jardinería*, (128), 28-34.
- Cano, M. A. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 14(2), 15-31.

- Osorio Betancurth, D. P., Coronado Forero, D. I., Cruz, S., & Steven, E. (2017). *Diseño y construcción de una planta de tratamiento de buchón para compost* (Doctoral dissertation).
- Röben, E. (2002). Manual de compostaje para municipios. *DED/Ilustre Municipalidad de Loja, Loja, Ecuador*.
- Epstein, E. (2011). *Industrial composting: environmental engineering and facilities management*. CRC Press.
- Arturo, S., Artigas, G., Miranda, R., & Sira, S. (2017). SISTEMA LOGÍSTICO PARA EL DESARROLLO TECNOLÓGICO DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE EN LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO.
- McCORMAC, J. (2012). *Diseño de estructuras de acero*. Alfaomega Grupo Editor.
- Román, P. M., & Martínez, M. (2015). A. & Pantoja, A.(2013). *FAO: Manual de compostaje del agricultor, experiencias de América Latina*.
- Resistente, R. C. D. C. S. (2010). NSR-10. *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá*.
- MONTERO , J. (2018). *Indicadores de Bondad Económica Presentación Power Point. Universidad Industrial de Santander*.
- ARDILA , R. (2019). *Rendimientos de mano de obra Presentación Power Point. Universidad Industrial de Santander*.