

Nota de Aceptación:

Proyecto de Diseño Aprobado, en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana Cali para optar el título de Ingeniero Industrial.



HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO
Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias



JORGE ENRIQUE ÁLVAREZ PATIÑO
Director Carrera Ingeniería Industrial



JOSÉ LUIS RAMÍREZ DUQUE

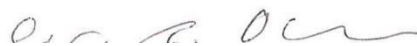
Director(a) Proyecto de Diseño



JORGE ENRIQUE ALVAREZ

PATIÑO

Jurado 1



CARLOS ALBERTO OLARTE

MENESES

Jurado 2

Santiago de Cali 9 de diciembre de 2020

Señores

Programa académico de ingeniería Industrial

Facultad de ingeniería Civil e Industrial

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Asunto: Aval de aprobación para el proyecto de grado

Por medio de la presente autorizo y doy el aval continuar con el proceso de evaluación y sustentación del proyecto de diseño titulado “Diseño de una propuesta para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en la Pontificia Universidad Javeriana Cali”, presentado por el equipo BIOTEAM conformado por los estudiantes Juan Sebastián Rodríguez Paz (Código 5184348), Alejandro Rendon Giraldo (Código 8922229) y Jhonny Alejandro Cárdenas Rojas (Código 8923048).

Cordialmente,



José Luis Ramírez Duque

Cedula: 6199207

Profesor Planta de la Facultad de ingeniería Pontificia Universidad Javeriana Cali

Diseño de una propuesta para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en la Pontificia Universidad Javeriana Cali

Juan Sebastian Rodríguez ^{a,c} , Alejandro Rendón ^{a,c} , Jhonny Alejandro Cardenas Rojas ^{a,c} ,

Jose Luis Ramirez Duque ^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

^dEntidad y área donde realizó el estudio

Resumen

En los últimos años la contaminación ambiental ha aumentado gracias a los desechos que nosotros los seres humanos producimos a través de nuestro diario vivir. Debido a esa contaminación, los seres vivos atraviesan una difícil era donde las basuras se acumulan, los alimentos y los recursos son escasos, la salud es pobre, los daños en los ecosistemas aumentan y la probabilidad de que sucedan las catástrofes naturales cada vez es mayor. Es por esa razón que el ser humano tiene que buscar un equilibrio en las actividades rutinarias para evitar los problemas mencionados anteriormente.

Este proyecto surge como una iniciativa para reducir el pasivo ambiental de la Pontificia Universidad Javeriana Cali a través del aprovechamiento de los residuos orgánicos. Por otra parte, mediante la metodología DMAVD se logra establecer y diseñar una propuesta, la cual consiste en un Biodigestor. Para el diseño del reactor se realizó una prueba piloto con el fin de caracterizar el proceso, posteriormente se desarrolló una simulación para definir la capacidad necesaria de un digestor para la universidad y por último, se validó con herramientas estadísticas como pruebas de hipótesis que, si el diseño llegara a ser implementado en efecto se reduciría un 20% de los residuos orgánicos no aprovechados en la universidad, disminuiría la utilización en la UCA, ayudaría a potenciar el compostaje y reduciría los costos de disposición final de los residuos, cumpliendo así con gran parte de los requerimientos de los interesados y a su vez con los indicadores de desempeño establecidos.

Finalmente, la propuesta de solución introduciría a la universidad en una economía circular, en donde se aprovechan los desperdicios y estos a su vez tienen la capacidad de generar energía limpia y fertilizantes que pueden ser utilizados en jardines o cultivos reduciendo la utilización de químicos nocivos para la salud y dañinos para el medio ambiente.

Palabras claves: Biogás, Digestor, Compostaje, GEI, Medio ambiente.

Abstract

In the last years, the environmental contamination has increased due to the waste people generated during the day. Owing to contamination, living beings cross a difficult era when the garbage is being accumulated, the food and resources are scarce, health is poor, the damaged into the ecosystems increase and the probability of natural disasters each time grow. For this reason, the human must search a balance into the activities of daily routine to avoid the problems mentioned behind.

This project was born as an initiative to reduce the ambiental passive of the Pontificia Universidad Javeriana Cali using organic waste. On the other hand, through DMAVD methodology we set and design a proposal which consist in a biodigester. For the reactor design we did a pilot test which the target was to characterize the process, then the team did simulation to define the needed capacity of a digester for the university. Last one the validation of the process was done by statistical tools as hypothesis test. We find that if the design was implemented in the university indeed the waste will be reduced in 20% and the UCA space to save waste will be reduce, the compost will increase 3 times more and the final disposition cost will reduce a 20% reaching some of the requirements of stakeholders and the performance indicators.

Finally, the solution proposal will introduce university in a circular economy which the waste will be used and this waste at the same time has the capacity to generate green energy and fertilizer that could be used in gardens or seeds reducing the use of chemicals which causa several problems in humans, animals, and seeds.



Key Words: Biogas, Biodigester, compost, GHG, Environment

Tabla de contenido

I.	PROJECT CHARTER.....	6
	Identificar los principales riesgos.....	9
II.	DEFINIR.....	11
	A. Contexto y Justificación.....	11
	B. Grupos de interés.....	15
	C. Requerimientos.....	17
III.	MEDIR.....	19
	A. Plan de recolección de datos.....	19
	B. Exploración del mercado.....	21
IV.	ANALIZAR.....	30
	A. Análisis de Oportunidad.....	30
	B. Revisión de literatura.....	34
	C. Exploración de ideas y selección de alternativa.....	38
	D. Objetivos.....	41
	E. Plan de trabajo (PDT).....	42
	Identificar los principales riesgos.....	42
V.	DISEÑAR.....	44
	A. Desarrollo del diseño de la solución.....	44
	B. Validación del diseño propuesto.....	49
VI.	VERIFICAR.....	53
	A. Medición de los impactos.....	53
	B. Estandarización de la solución – POE'S (plan de control) (600 palabras).....	55
	C. Conclusiones (600 palabras).....	59
	D. Recomendaciones (600 palabras).....	60
VII.	GLOSARIO.....	60
VIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	61
IX.	ANEXOS.....	64

Índice de Tablas

TABLA I.....	15
TABLA II.....	17



TABLA III.....	20
TABLA IV	30
TABLA V.....	31
TABLA VI	34
TABLA VII.....	37
TABLA VIII.....	42
TABLA IX	51
TABLA X.....	52
TABLA XI	¡Error! Marcador no definido.
TABLA XII.....	56
TABLA XIII.....	59
TABLA XV.....	64

Índice de Figuras

Fig. 1 Diagrama de Pareto para residuos sólidos generados por restaurantes de la Pontificia Universidad Javeriana Cali: [4].	12
Fig. 2 Cantidad total de residuos sólidos generados en la universidad Javeriana Cali durante el periodo 2015-2019 modificado de: [4].....	13
Fig. 3. Proyección para la generación de residuos orgánicos del 2019 en adelante modificado de: [4].....	14
Fig. 4 Matriz Poder vs Interés	16
Fig. 5 modelo de procesos de la Pontificia Universidad Javeriana Cali tomado de [5]	22
Fig. 6. Ciclo de apoyo para la gestión de recursos físicos y ambientales tomado de [5]	23
Fig. 7. Diagrama de flujo para el proceso de disposición final de residuos orgánicos en la PUJ Cali	24
Fig. 8. pronóstico para la generación de residuos orgánicos 2020 en la PUJ Cali modificado de: [4].....	25
Fig. 9. CDF anual modificado de: [4]	26
Fig. 10 Pronóstico para los ROAC modificado de: [4].....	27
Fig. 11 Temperatura comparativa de la UCA entre enero y mayo del año 2020 modificado de: [7].....	28
Fig. 12. Resultados de las encuestas sobre el GSDFRO.....	29
Fig. 13 Diagrama Ishikawa para el análisis de la oportunidad.....	32
Fig. 14. Método Disney para la generación de ideas	39
Fig. 15. Evaluación final de las alternativas por medio de la metodología AHP	41
Fig. 16 Biodigestor tubular con membrana de PVC tomado de [13].....	44
Fig. 17 Digestor tipo chino o rígido. Tomado de [13].....	45
Fig. 18 Diseño del biodigestor a escala por medio de software de diseño industrial.....	46
Fig. 19. Trampa de agua o burbujeador	48
Fig. 20 Filtro de ácido sulfhídrico con esponjas de lana de acero.....	48
Fig. 21 Prototipo a escala terminado y en funcionamiento.	49
Fig. 22 Pruebas de bondad de ajuste y rangos según la extensión Statfit de ProModel.....	50
Fig. 23 Prueba de hipótesis reducción RONA	51
Fig. 24 Prueba de hipótesis % aprovechamiento	52
Fig. 25. Indicadores del impacto ambiental de la implementación de un biodigestor en la Universidad modificado de [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22] [23].....	55
Fig. 26. Componentes del Biodigestor rígido tomado de [14].....	56
Fig. 27. Sustratos recomendados y prohibidos para la operación del digestor tomado de [14].....	57



I. PROJECT CHARTER

Descripción				
<p>En la Universidad Javeriana Cali (PUJ Cali) existen aproximadamente 18 restaurantes que operan entre los lunes y sábados; cada restaurante presta un servicio de comida diferente, esto se debe a que algunos se especializan en comidas rápidas, comidas hipocalóricas, ensaladas, pastas etc. Sin embargo, todos tienen algo en común y es la generación de residuos orgánicos e inorgánicos como consecuencia de su operación. El equipo ha encontrado una oportunidad de desarrollar un proyecto, en el cual se busca mitigar el aumento de la cantidad de residuos orgánicos en la Pontificia Universidad Javeriana Cali, Por consiguiente, se pretende utilizar los conocimientos y herramientas ingenieriles para poder disminuir o aprovechar como mínimo un 5% la cantidad de residuos orgánicos totales generados en el campus.</p>				
Planteamiento del problema		Impacto de los actores		
<p>Dentro del campus universitario, en muchas ocasiones no se desarrollan alternativas solidas que generen beneficios sociales, ambientales o económicos por medio del aprovechamiento de los residuos orgánicos que se producen como consecuencia de la actividad diaria. Se ha evidenciado un incremento en la producción de residuos sólidos orgánicos entre los años 2015 y 2019, estos residuos provocan un impacto tanto en la economía como en el pasivo ambiental de la universidad, ya que gran parte de ellos son destinados a disposición final, proceso por el cual la universidad debe pagar a empresas municipales para que se transporten dichos residuos a los vertederos de la ciudad. A su vez estos vertederos son puntos de concentración de gérmenes, vectores y lixiviaciones que provocan un impacto ambiental en su entorno y que poco a poco son expandidos hacia las ciudades aledañas.</p>		<p>Matriz PODER vs. INTERÉS</p>		
Requerimientos				
Grupos de interés	Requerimientos	Restricciones	Especificaciones	Marco legal
Oficina de planta física Universidad Javeriana Cali	<ul style="list-style-type: none"> - Reducir la cantidad de los residuos orgánicos dirigidos a rellenos sanitarios. - Reducir los costos asociados a rellenos sanitarios. - Reutilizar o aprovechar los residuos sólidos entregados a disposición final. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los costos de disposición final que maneja la planta física con respecto al manejo y disposición final de los residuos no pueden ser mayores a 26 mil pesos por metro cúbico según el historial y facturas de empresas como Proambiental - Según la norma R 601 del 2006 solo se puede aprovechar una cantidad proporcional al 85% de residuos dirigidos a rellenos sanitarios 	Reutilizar por lo menos el 5% de los residuos entregados a disposición final.	Licencias ambientales El artículo 9 numeral 10 (Manual de Compostaje Normatividad Colombiana)



Restaurantes	Proponer un proceso en el cual se genere una buena gestión con respecto al 55% de los residuos generados de los restaurantes.	La cantidad total generada de residuos sólidos no puede exceder los 150 kg /restaurante, dado por la norma RICA 2640	Reutilizar los residuos por medio de un proceso que genere una utilidad en la universidad.	R.601 de 2006 Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial
UCA	<ul style="list-style-type: none"> - Aumentar el espacio utilizado para almacenar residuos en descomposición. - Reducir el riesgo de contaminación a causa de las altas temperaturas en los cuartos de almacenamiento de residuos. 	<ul style="list-style-type: none"> - La unidad de almacenamiento UCA tiene una capacidad máxima de almacenamiento de 56 metros cúbicos. - En la UCA no se cuenta con dispositivos o procesos de control de temperaturas como aires acondicionados o cuartos fríos. - Las temperaturas en el almacenamiento de residuos orgánicos no pueden exceder los 34 grados centígrados según el artículo 9 numeral 10 del manual de gestión ambiental 	Reducir un 3% la ocupación del área de almacenamiento en las instalaciones de la UCA.	N/A
Equipo de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> - Tener la capacidad de obtener información a cualquier hora del día en la generación de residuos por restaurante - Disponer de cualquier información o base de datos requeridos para el proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> - La jornada laboral de los restaurantes es de lunes a viernes de 8 de la mañana hasta 8 o 9 de la noche. - Planta física tiene jornada laboral administrativa es decir de 8 a 5 de la tarde. - Las personas encargadas de la oficina de planta física, en ocasiones no se encuentran disponible ya que tienen jornadas laborales por fuera de la Universidad. - Pandemia por el COVID-19 	<ul style="list-style-type: none"> - Obtener una calificación final en el proyecto entre 4.0 y 4.8. - Implementar una solución que ayude a mejorar el proceso de control y manejo de residuos. 	N/A
Alcaldía de Cali	<ul style="list-style-type: none"> - Es deber del usuario almacenar y presentar los residuos sólidos de manera separada, que permita la recolección selectiva de residuos aprovechables. 	<ul style="list-style-type: none"> - En la cultura universitaria los estudiantes y personal operativo y administrativo de la universidad no tienen claridad sobre los métodos de clasificación y separación correcta que dicta las políticas de gestión ambiental. 	Almacenar y presentar los residuos sólidos para su recolección en las condiciones y horarios establecidos por la persona prestadora del servicio y de conformidad con lo	Norma Técnica Colombiana NTC 5167



			definido en el presente documento.	
Industria agrícola	- Utilización de los residuos producidos en estas industrias.	- No es permitido la comercialización y venta de residuos orgánicos con criaderos vacunos, porcinos, equinos entre otros.	“Crear un proceso alternativo que aproveche los residuos generados en el sector ganadero”.	RICA 2640 de 2007 Instituto Colombiano Agropecuario
Indicadores de desempeño				
Variable	Actualidad	Meta		
Residuos orgánicos no aprovechados (RONA)	Para el 2020 se estima una generación de 78172,2 kg de residuos orgánicos que serán destinados a relleno sanitario.	Reducir en un 5% la cantidad de residuos orgánicos que serán enviados a relleno sanitario.		
Costos de disposición final (CDF)	Para el 2020 se estima un costo total de \$9.418.802,55 Para la disposición final de residuos orgánicos.	Reducir en un 5% el costo de disposición final de residuos orgánicos.		
Residuos orgánicos aprovechados en compostaje (ROAC)	Para el 2020 se estima un porcentaje de aprovechamiento de residuos orgánicos de 6,10% mensual promedio.	Aumentar el porcentaje de aprovechamiento por encima del 6.53%		
Temperatura de la Unidad Central de Almacenamiento (TUCA)	Aproximadamente entre las 11:00 y las 15:00 en la ciudad de Cali se presentan temperaturas máximas medias de 32,036°C hasta mayo del 2020	Reducir en el horario crítico la temperatura máxima media de la UCA por debajo de 30°C		
Grado de satisfacción con los procesos de disposición final de los residuos sólidos orgánicos (GSDFRO)	En promedio el 80% de las respuestas están en contra o en desacuerdo con el sistema actual.	Reducir el % de respuestas negativas a menos del 40%		
Objetivo general				
<i>Diseñar una propuesta para el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en la Universidad Javeriana Cali a partir de la biodigestión, buscando reducir el impacto ambiental.</i>				
Objetivos específicos				
<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar mediante un análisis de riesgo las variables significativas que representen peligros para la salud humana durante la operación de un biodigestor. 2. Determinar tipo, dimensiones, materiales y capacidad para realizar el diseño de un prototipo a escala de un biodigestor. 3. Caracterizar el proceso productivo y obtener especificaciones a partir de la elaboración del prototipo a escala. 4. Validar el efecto de la alternativa diseñada por medio de simulación computacional. 				
Equipo de trabajo				
Nombre		Rol		
Jhonny Alejandro Cárdenas Rojas		Aventurero		



Alejandro Rendón Giraldo			Cónsul		
Juan Sebastián Rodríguez Paz			Activista		
Plan de trabajo					
Objetivo específico	Actividad	Área IISE	Herramientas de Ingeniería	Entregable (alcance)	Fecha entrega
Identificar mediante un análisis de riesgo las variables significativas que representen peligros para la salud humana durante la operación de un biodigestor.	Identificar los principales riesgos	6. <i>Ergonomics & Human Factors.</i>	Teoría sobre ergonomía y métodos	Matriz análisis de riesgos	30/08/2020
	Elaborar plan de contingencia	6. <i>Ergonomics & Human Factors.</i>	Teoría sobre ergonomía y métodos	Plan de contingencia	5/09/2020
Determinar tipo, dimensiones, materiales y capacidad para realizar el diseño de un prototipo a escala de un biodigestor.	Investigar diseños del prototipo de otros autores	11. Information Engineering	Base de datos E-books Artículos científicos Revistas Videos	Matriz de posibles diseños	10/09/2020
	Definir materiales, capacidad y especificaciones, requeridas para el diseño escogido	4. Facilities Engineering & Energy Management	Teoría sobre la resistencia de materiales.	Ficha técnica de los materiales, capacidad y especificación del prototipo	20/09/2020
	Investigar herramientas de diseño Industrial	11. Information Engineering	Base de datos E-books Artículos científicos Revistas Videos	Listado de software de diseño industrial	24/09/2020
	Escoger herramientas de diseño industrial	9. Engineering Management	AUTOCAD TinkerCAD FreeCAD	Informe sobre la herramienta seleccionada	30/09/2020
	Realizar un presupuesto del diseño y fabricación del prototipo	3. Engineering Economic Analysis	Excel Teoría de ingeniería económica	Presupuesto	5/10/2020
	Realizar el diseño del prototipo potencial	13.1. Product Design & Development 12. Design and Manufacturing Engineering 1. Work Design & Measurement	Software de diseño industrial seleccionado.	Diseño del prototipo	10/10/2020
Caracterizar el proceso productivo y obtener	Comprar materiales y herramientas establecidas en el diseño	7. Operations Engineering & Management	N/A	N/A	20/10/2020
	Realizar procesos de transformación	13.1. Product Design & Development	N/A	N/A	25/10/2020



especificaciones a partir de la elaboración del prototipo a escala.	de los materiales para la fabricación	12. Design and Manufacturing Engineering			
	Ensamblar materiales procesados y transformados	12. Design and Manufacturing Engineering	N/A	Prototipo	28/10/2020
Validar el efecto de la alternativa diseñada por medio de simulación computacional.	Recolectar datos experimentales	11. Information Engineering 1. Work Design & Measurement	Técnicas de Muestreo	Hoja de cálculo con datos experimentales	10/11/2020
	Realizar análisis estadístico descriptivo e inferencial	11. Information Engineering	Estadística descriptiva e inferencial	Informe resumen sobre el análisis	15/11/2020
	Crear y ejecutar el modelo de simulación del prototipo a gran escala	2. Operations Research & Analysis 5. Quality & Reliability Engineering	Software Simio y Promodel	Modelo de simulación	20/11/2020
	Realizar encuestas de la satisfacción de los clientes potenciales	11. Information Engineering 5. Quality & Reliability Engineering	Escala Likert	Resultado de las encuestas	22/11/2020
	Realizar el análisis de los indicadores KPI	5. Quality & Reliability Engineering	Estadística	Dashboard	28/11/2020
Fomentar conciencia ambiental del manejo de residuos orgánicos mediante el acercamiento a la comunidad javeriana a los procesos de gestión ambiental.	Realizar una campaña informativa	11. Information Engineering	N/A	Folletos, posters etc	28/11/2020

II. DEFINIR

A. Contexto y Justificación

Uno de los problemas que enfrenta la humanidad actualmente es la sobrepoblación, lo que genera un aumento del consumo y por ende la producción de residuos, introduciendo a la población mundial en una situación actual de insostenibilidad.

El aumento de los residuos generados por los seres humanos viene de la mano con el crecimiento poblacional y actualmente es un problema para algunas sociedades que no tienen un plan específico adecuado para la disposición final de estos residuos. Consecuentemente, se crean los vertederos de basuras, los cuales representan un problema ambiental debido a las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y otros gases contaminantes de la atmósfera; como también las lixiviaciones que afectan el suelo.

En Cali, “La situación se agravó hacia los años 90 cuando la concentración de las basuras alcanzó quince millones de toneladas y una altura de 65 metros en el relleno sanitario Navarro, obligando a que la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) diera la orden definitiva de cierre porque las aguas tóxicas que eran vertidas sobre la madre vieja del río Cauca, avanzaban dos kilómetros aguas abajo. Cada segundo en el vertedero se producía siete litros de lixiviados. Los gases producidos de la descomposición de basuras eran expulsados al aire por medio de chimeneas que los operarios habían construido, los residuos no eran recubiertos ni compactados y los olores alcanzaban los cinco kilómetros [1]”, convirtiéndose claramente en un problema ambiental.

Debido a lo ocurrido en los años noventa se da la apertura del vertedero de Yotoco, el cual también actualmente presenta problemas de capacidad [2]. “Según el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS 2015 – 2027), para el año 2014 se generaron un total de 632.075 toneladas de residuos sólidos, de los cuales el 66% son de tipo orgánico, es decir, alrededor de 417.169 toneladas. Dicha fracción representa una fuente potencial de gases de efecto invernadero y lixiviados con altas cargas contaminantes en la ciudad. [3]” Lo anterior da una idea de lo que puede llegar a pasar si no se hace una debida disposición final de los residuos orgánicos, puesto que como se mencionó al inicio, la generación de residuos orgánicos incrementa con el aumento de la población. Es por esta razón que se debe buscar una forma eficiente y ambientalmente amigable que permita una adecuada disposición final de los residuos orgánicos de la universidad.

La importancia de implementar un buen plan de disposición final de residuos orgánicos radica en reducir el uso de los vertederos y los contaminantes emitidos por la descomposición de los residuos orgánicos, pues estos emiten gases mayormente compuestos de metano (CH_4), y CO_2 , además de los lixiviados que se filtran a la tierra los cuales contaminan el suelo y las aguas subterráneas.

Actualmente los residuos sólidos se clasifican en orgánicos e inorgánicos, se entiende como residuo orgánico todo residuo que proviene de un proceso biológico, vegetal o animal. Los residuos orgánicos son clasificados en la universidad de tal manera que se separan las cascaras de frutas, tubérculos, etc. con el fin de utilizarlos para compost.

La otra clasificación de los residuos orgánicos es una mezcla de desperdicios de comida de los restaurantes no aptos para el compost por cuestiones de salud para el operario y calidad del ambiente. El compostaje actualmente es realizado en contenedores verticales y el espacio es bastante reducido, por lo cual la descomposición de estos desperdicios de comida puede generar mayor cantidad de gases contaminantes y olores desagradables para el entorno, así como también riesgos biológicos para el operario. Es por esta razón que los desperdicios que no son utilizados en compostaje son dispuestos a las empresas de recolección de basuras municipales que se encargan de llevar la basura a los vertederos.

No obstante, estos residuos podrían ser entradas de otros procesos que generen un valor a la comunidad Javeriana Cali; por esta razón el equipo, ve una oportunidad con respecto al aprovechamiento y manejo de estos residuos generados en los restaurantes, ya que se podrían utilizar para producir un producto o servicio que satisfaga necesidades ya sea de ámbito energético, económico o ambiental en el medio universitario.



Es necesario aclarar que existen restaurantes los cuales recientemente se han integrado al medio universitario, por lo cual sus estadísticas de generación de residuos son menores en comparación a otros restaurantes que ya han venido operando desde inicios del año 2015.

En la Fig. 1, se muestra el diagrama de Pareto para el total de los residuos sólidos generados durante cinco años en cada restaurante de la universidad y su respectivo porcentaje acumulado.

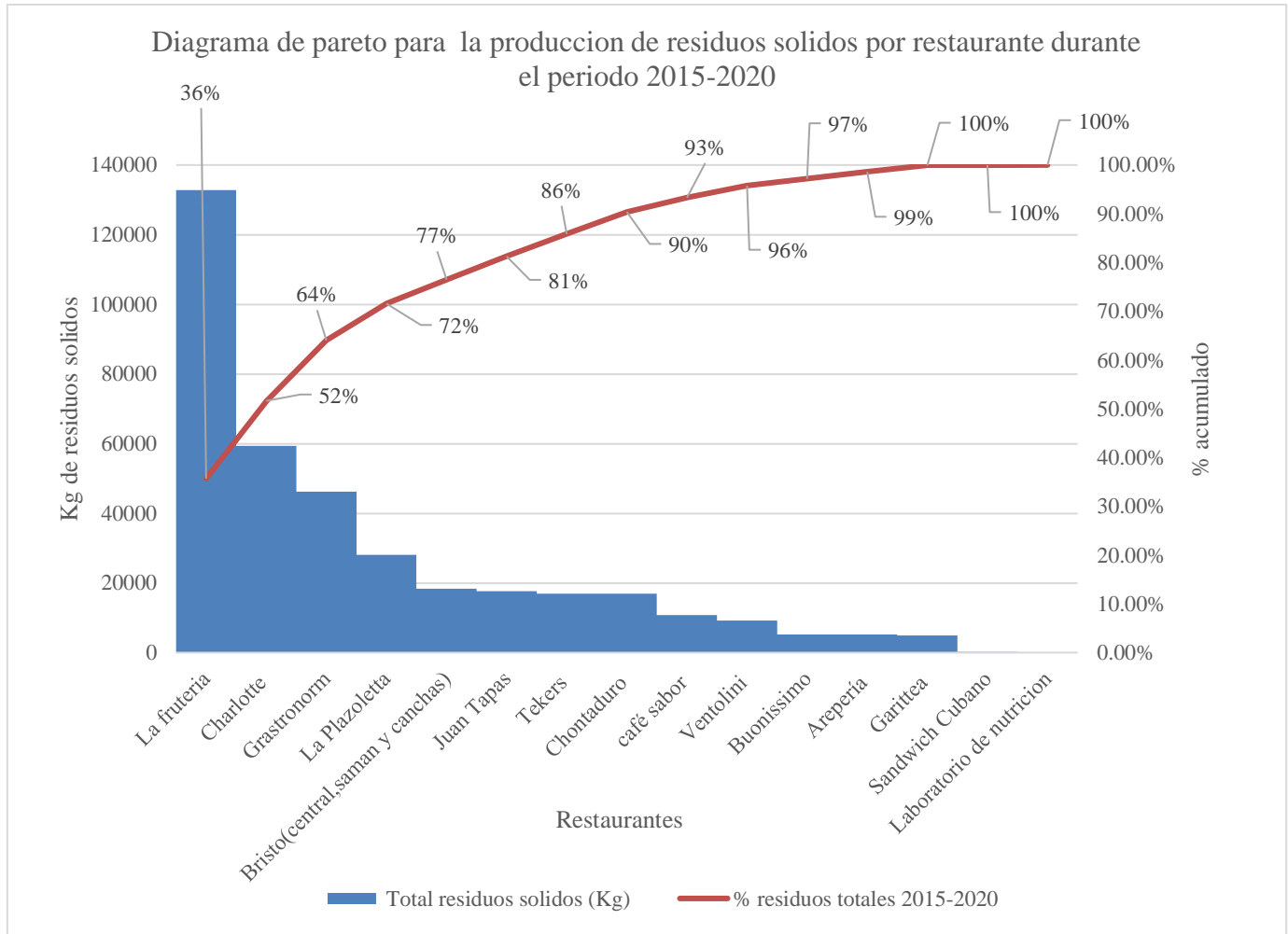


Fig. 1 Diagrama de Pareto para residuos sólidos generados por restaurantes de la Pontificia Universidad Javeriana Cali: [4].

Del anterior diagrama de Pareto se puede decir que el 35,68% de los residuos sólidos generados en la universidad provienen del restaurante La Frutería, lo que lo hace atractivo como oportunidad para el equipo, pues si solo se trabajara con los residuos de este restaurante se puede llegar a reducir un poco menos del 35,68% de los residuos orgánicos que son dispuestos a los rellenos sanitarios.

Es también de interés mostrar el comportamiento de los residuos sólidos orgánicos generados en el periodo 2015-2019, con el fin de evidenciar un crecimiento en el aumento de estos residuos en el campus universitario.

Cabe destacar, que la universidad durante el periodo 2015-2019 ha tenido remodelaciones y cambios de localización de algunos restaurantes, además de algunos errores de digitación, lo que posiblemente puede evidenciarse en algunas disminuciones en los datos de la generación de residuos orgánicos. Consecuentemente se corrigieron los datos mediante el promedio del año predecesor y sucesor.

En la Fig.2, se observa el comportamiento de la generación de residuos sólidos totales en la universidad Javeriana Cali por año.

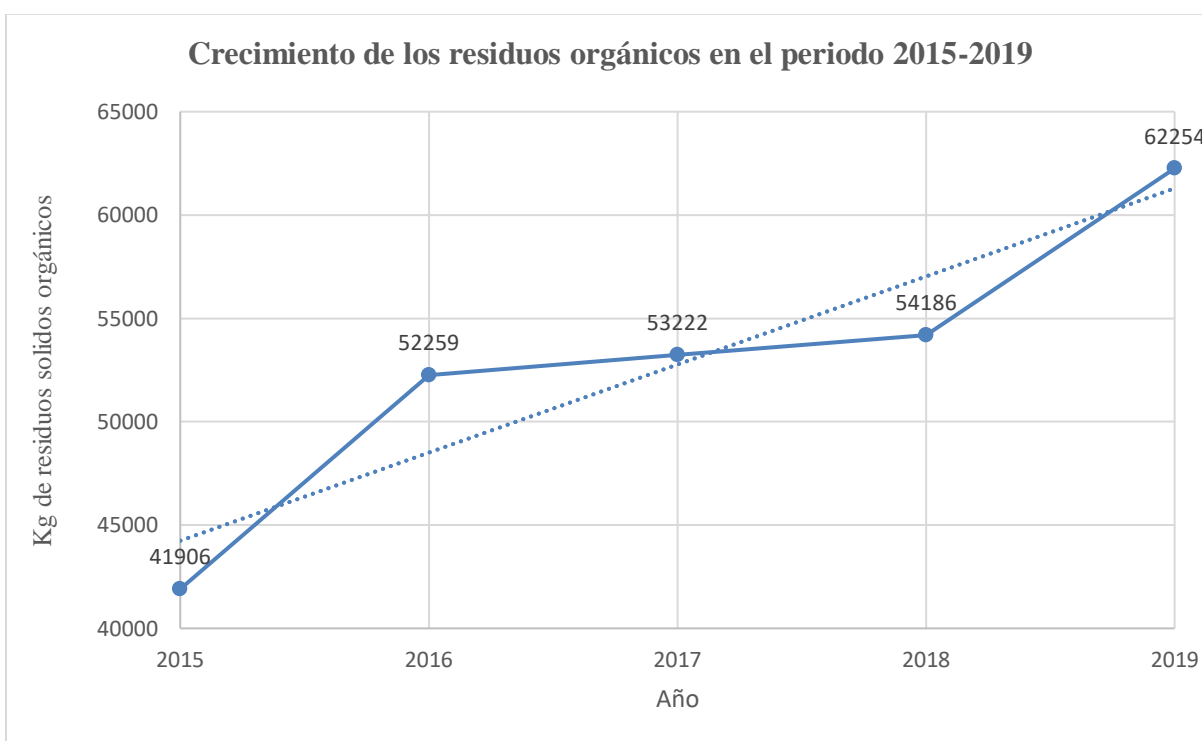


Fig. 2 Cantidad total de residuos sólidos generados en la universidad Javeriana Cali durante el periodo 2015-2019 modificado de: [4].

Con relación a la gráfica y de manera general es visible que, durante el transcurso de los años, en promedio existe un aumento de residuos sólidos orgánicos en la universidad, esto se explica en parte, por la existencia de restaurantes que llevan operando desde mucho antes del 2015 y actualmente han abierto una segunda sede, aumentando su capacidad para operar y, por ende, la capacidad para generar mayores cantidades de residuos. Un claro ejemplo, se ve reflejado durante el periodo 2016-2019 donde se evidencia un aumento del 19,13% de los residuos.

Durante el periodo 2016 y 2019 existe un crecimiento de la generación de residuos sólidos en la universidad, la cual pareciese comportarse de manera exponencial, es por esta razón que se ha decidido hacer una estimación de los residuos sólidos generados en un futuro. Para este pronóstico se utilizó la ecuación 1.

$$C_t = C_0 * e^{\lambda t} \quad (1)$$



Donde C_t es la cantidad en kg de residuos sólidos en el tiempo t , C_0 es la cantidad de residuos generados en el tiempo $t=0=2016$ y λ es la tasa de producción de residuos.

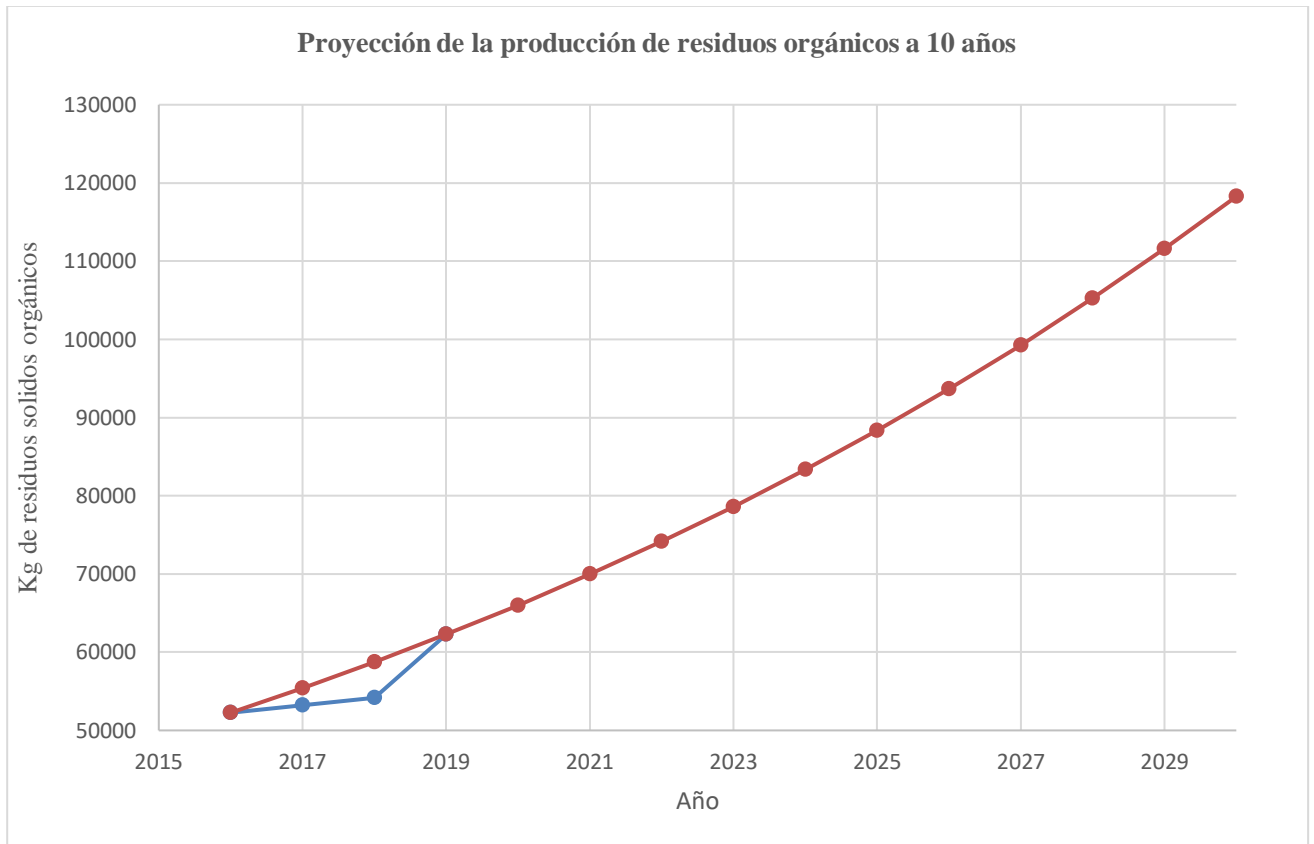


Fig. 3. Proyección para la generación de residuos orgánicos del 2019 en adelante modificado de: [4]

Este proyecto representa una oportunidad interesante al tener a disposición materia prima de manera inmediata y con una tendencia creciente en el tiempo en el campus universitario, pues solo entre el año 2018-2019, la universidad aprovechó el 6,5% de los residuos orgánicos utilizándolos en compostaje y el 93,5% de los residuos orgánicos fueron dispuestos a las empresas municipales. Es por esta razón que el proyecto toma importancia, puesto que busca mitigar un problema crítico ambiental mediante la reducción de los residuos orgánicos que son desviados a rellenos sanitarios, reduciendo así, el pasivo ambiental de la universidad y proveer un beneficio a través del aprovechamiento de sus residuos. La sobreproducción de residuos orgánicos es un problema que no da espera evidenciado por el colapso de los rellenos sanitarios autorizados para la ciudad de Cali, lo cual agrava los problemas sanitarios y sociales de la región.

El proyecto desarrollado busca favorecer a la institución y al colectivo social, mediante el aprovechamiento y reducción de la generación de residuos sólidos orgánicos, utilizándolos como materia prima de otro proceso que genere valor. A largo plazo, esto puede representar beneficios energéticos como la producción de energía, económicos mediante la reducción de los costos de disposición final, sociales generando nuevos empleos y ambientales reduciendo el pasivo ambiental de la institución.



B. Grupos de interés

Luego de analizar el contexto y establecer la oportunidad, es necesario definir quiénes son los actores o grupos de interés que influyen en el desarrollo del proyecto. La tabla I, muestra la descripción de estos grupos de interés junto con una ponderación cualitativa concedida por el análisis del equipo.

TABLA I

CLASIFICACIÓN DE LOS GRUPOS DE INTERÉS Y CLASIFICACIÓN DE PODER E INTERÉS

PARTES INTERESADAS	DESCRIPCIÓN	EFEECTO (Proyecto al grupo de interés)	PODER (Escala cualitativa) (Ponderación)	INTERÉS (Escala cualitativa) (Ponderación)
Oficina de planta física de la Pontificia Universidad Javeriana Cali	Es la oficina encargada de llevar a cabo el registro de la cantidad de residuos sólidos generados por la universidad, así como la gestión de un proceso de disposición final para estos residuos.	Brindar algún beneficio por medio del aprovechamiento de los residuos orgánicos generados dentro de la universidad.	<u>Alto (8)</u> Ya que son los encargados de proporcionar información directa de los residuos, costos y procesos de disposición final.	<u>Alto (8)</u> Son aquellos que brindan especificaciones, deseos y requerimientos principales para el proyecto.
Unidad central de almacenamiento de residuos (UCA) Universidad Javeriana Cali	Ahí se realizan los procesos de clasificación y almacenamiento temporal de los residuos reciclables, inorgánicos, ordinarios y peligrosos que se generan en el campus.	Incentivar el trabajo con los residuos sólidos orgánicos para generar un beneficio a corto y largo plazo, ya que solo trabajan con la parte inorgánica (reciclaje).	<u>Bajo (4)</u> Solo almacenan los residuos y los clasifican, es su operación y están limitados a decisiones directivas.	<u>Alto (7)</u> Puede haber un cambio significativo en las tareas al aprovecharse otros tipos de residuos generados.
Restaurantes de la Universidad Javeriana Cali	Son aquellos que durante y después de la producción de sus productos generan residuos sólidos orgánicos e inorgánicos que pueden ser potencialmente aprovechables.	Reconocimiento y trabajo con los residuos sólidos orgánicos para algún beneficio energético, económico o ambiental.	<u>Bajo (3)</u> Actúan como el proceso que genera los residuos sólidos dentro de la universidad.	<u>Alto (7)</u> Al ser los que generan los residuos, seguramente están esperando un beneficio económico.
Miembros del equipo de proyecto	El equipo es el principal encargado del desarrollo del proyecto por los lineamientos requeridos por las partes interesadas anteriores.	Oportunidad de aplicar todos los conocimientos aprendidos durante los procesos de formación, en el desarrollo de un proyecto a escala real.	<u>Alto (7)</u> Encargados de tomar decisiones claves sobre el desarrollo y rumbo del proyecto	<u>Alto (10)</u> Principales interesados en el futuro cercano y lejano del proyecto.



Alcaldía de Cali (PGIRS, DAGMA)	Mediante el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos expresan los lineamientos a seguir respecto a temas de manejo de residuos en el municipio.	Implementar un nuevo proyecto con los lineamientos base del PGIRS fomentando los beneficios ambientales.	<u>Alto (7)</u> Dentro de su plan de gestión tienen normativas que pueden restringir el proyecto directamente.	<u>Bajo (3)</u> La gran cantidad de responsabilidades no les permite ser cercanos y directamente implicados en el proyecto
Comunidad agrícola	Aquella comunidad que trabaja con zonas agrícolas en las cuales la utilización de residuos sólidos es una opción de sostenimiento.	Brindar beneficios por medio de la biomasa residual en la universidad que puedan utilizar dentro de su trabajo.	<u>Bajo (2)</u> No tienen poder decisión dentro de la universidad Javeriana Cali	<u>Bajo (3)</u> A priori pueden necesitar una solución rápida y a corto plazo

Identificados los grupos de interés o *stakeholders*, se clasifican con el fin de priorizar las relaciones con cada uno de estos actores, para afianzar los lineamientos a seguir dentro del proyecto y analizar el posible impacto positivo o negativo de este sobre las partes interesadas (ver Fig.4).

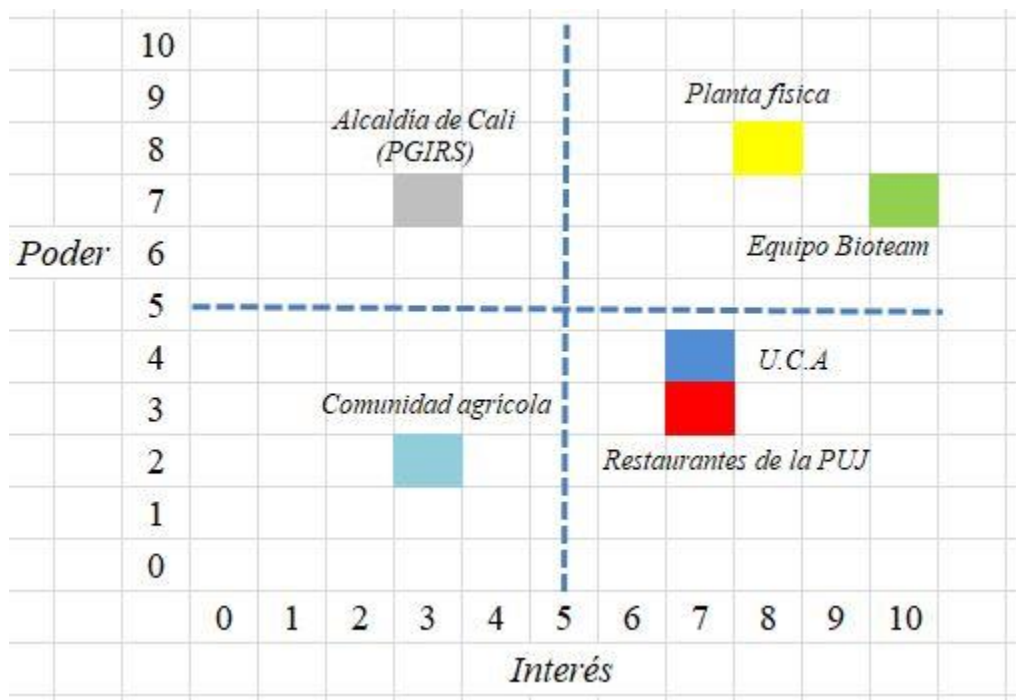


Fig. 4 Matriz Poder vs Interés

Como lo indica la metodología del poder vs interés, las relaciones que se van a entablar son: una estrategia de esfuerzo mínimo para la comunidad agrícola, donde se tendrá vigilado que no varíe ni el poder ni el interés para ellos, ya que se necesita



tenerlos como referencia únicamente. Una estrategia de mantener informados para los restaurantes y el UCA, puesto que son actores que no necesariamente deben tenerse en cuenta a la hora de tomar decisiones sobre el rumbo del proyecto; sin embargo, se deben mantener informados para mantener una buena relación. Una estrategia de mantener satisfechos para el PGIRS de la alcaldía de Cali, esta estrategia busca que la parte interesada mantenga ese interés y el plan de gestión se tenga como guía. Por último, para la planta física y el equipo de trabajo, se manejará una estrategia de actores claves, donde la relación será de trabajo mutuo, de constantes reportes y de suma importancia.

C. Requerimientos

TABLA II

REQUERIMIENTOS DE LAS PARTES INTERESADAS

REQUERIMIENTOS				
Grupos de interés	VOC	Restricciones del proyecto	Especificaciones	Normas y estándares
Oficina de planta física Universidad Javeriana Cali	<ul style="list-style-type: none">Reducir la cantidad de los residuos orgánicos dirigidos a rellenos sanitarios.Reducir los costos asociados a rellenos sanitarios.Reutilizar o aprovechar los residuos sólidos entregados a disposición final.	<ul style="list-style-type: none">Los costos de disposición final que maneja la planta física con respecto al manejo y disposición final de los residuos no pueden ser mayores a 26 mil pesos por metro cúbico según el historial y factoras de empresas como PromoambientalSegún la norma R 601 del 2006 solo se puede aprovechar una cantidad proporcional al 85% de residuos dirigidos a rellenos sanitarios	Reutilizar por lo menos el 5% de los residuos entregados a disposición final.	Licencias ambientales El artículo 9 numeral 10 (Manual de Compostaje Normatividad Colombiana)
Restaurantes	Proponer un proceso en el cual se genere una buena gestión con respecto al 55% de los residuos generados de los restaurantes.	La cantidad total generada de residuos sólidos no puede exceder los 150 kg /restaurante, dado por la norma RICA 2640	Reutilizar los residuos por medio de un proceso que genere una utilidad en la universidad.	R.601 de 2006 Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial



UCA	<p>. Aumentar el espacio utilizado para almacenar residuos en descomposición.</p> <p>.Reducir el riesgo de contaminación a causa de las altas temperaturas en los cuartos de almacenamiento de residuos.</p>	<p>-La UCA tiene una capacidad máxima de almacenamiento de 56 metros cúbicos.</p> <p>-En la UCA no se cuenta con dispositivos o procesos de control de temperaturas como aires acondicionados o cuartos fríos.</p> <p>-Las temperaturas en el almacenamiento de residuos orgánicos no pueden exceder los 34 grados centígrados según el artículo 9 numeral 10 del manual de gestión ambiental</p>	<p>Reducir un 3% la ocupación del área de almacenamiento en las instalaciones del UCA.</p>	N/A
Equipo del proyecto	<p>. Tener la capacidad de obtener información a cualquier hora del día en la generación de residuos por restaurante</p> <p>. Disponer de cualquier información o base de datos requeridos para el proyecto.</p>	<p>. La jornada laboral de los restaurantes es de lunes a viernes de 8 de la mañana hasta 8 o 9 de la noche.</p> <p>. Planta física tiene jornada laboral administrativa es decir de 8 a 5 de la tarde.</p> <p>. Las personas encargadas de la oficina de planta física, en ocasiones no se encuentra disponible ya que tiene jornadas laborales por fuera de la universidad.</p> <p>. Pandemia por el COVID-19</p>	<p>. Obtener una calificación final en el proyecto entre 4,0 y 4,8.</p> <p>. Implementar una solución que ayude a mejorar el proceso de control y manejo de residuos.</p>	N/A
Alcaldía de Cali	<p>. Es deber del usuario almacenar y presentar los residuos sólidos de manera separada, que permita la recolección selectiva de residuos aprovechables.</p>	<p>. En la cultura universitaria los estudiantes y personal operativo y administrativo de la universidad no tienen claridad sobre los métodos de clasificación y separación correcta que dicta las políticas de gestión ambiental.</p>	<p>Almacenar y presentar los residuos sólidos para su recolección en las condiciones y horarios establecidos por la persona prestadora del servicio y de conformidad con lo definido en el presente documento.</p>	Norma Técnica Colombiana NTC 5167
Industria agrícola	<p>. Utilización de los residuos producidos en estas industrias.</p>	<p>. No es permitido la comercialización y venta de residuos orgánicos con el sector ganadero.</p>	<p>“Crear un proceso alternativo que aproveche los residuos generados en el sector ganadero”.</p>	RICA 2640 de 2007 instituto de colombiano agropecuario



III.MEDIR

A. Plan de recolección de datos

Durante los meses de marzo, abril y mayo del 2020 la universidad y el mundo entero se encuentran en cuarentena debido a la situación padecida por el COVID-19, por ende, el equipo vio la necesidad de recurrir a métodos científicos para la determinación de los datos de esta etapa. A continuación, se explica detalladamente las variables definidas en el plan de recolección. (ver anexo 2)

✓ Cantidad de residuos orgánicos no aprovechados (RONA)

Esta variable va en función de uno de los requisitos de los interesados, más específicamente la planta física de la universidad, la cual tiene como requerimiento la reducción de los residuos orgánicos que son destinados a rellenos sanitarios. Esta variable es importante, ya que permite conocer la situación actual de la generación de residuos orgánicos por parte de la universidad.

Respecto a la toma de datos, actualmente se ha procedido a realizar un pronóstico para el año 2020 de esta variable, con base a históricos de mes a mes por el método de Holt-Winter, este método funciona especialmente para datos que presentan una estacionalidad.

✓ Costos de disposición final (CDF)

Los costos de disposición final son una variable importante, pues la universidad incurre en costos mensuales por la disposición final de ciertas cantidades volumétricas de residuos sólidos, como se mencionó anteriormente, en promedio el 64 % de los residuos sólidos son orgánicos.

Por otra parte, esta variable permite conocer al equipo el comportamiento de los costos de disposición final año tras año en los que incurre la universidad. No obstante, cabe resaltar que actualmente los datos de los costos de disposición final están siendo obtenidos con base al pronóstico realizado para la anterior variable; aplicando el mismo método mencionado previamente se procede a obtener información de los costos.

✓ Cantidad de residuos sólidos orgánicos aprovechados en el proceso de compostaje (ROAC)

Esta variable permite al equipo monitorear el aprovechamiento promedio del 6,5% de los residuos orgánicos que se generan dentro de la Universidad Javeriana Cali. Como modelo actual, el único aprovechamiento que se le brinda a los residuos orgánicos generados es pasarlos por un proceso para ser compostado.

Por lo tanto, termina siendo necesario trabajar con datos históricos proporcionados por la planta física de la universidad, en los que datan la variable desde inicios del año 2018 a inicios del 2020, donde por mes se tomaron entre 1 y 4 datos en Kg de residuos sólidos orgánicos que iban a proceso de compostaje. Adicionalmente se realizó un pronóstico por medio del método de Holt-Winter para determinar mes a mes, desde febrero del 2020, el total de Kg de residuos orgánicos aprovechados en compostaje.

✓ Condiciones de temperatura de la UCA (TUCA)

Esta variable responde al VOC (*voice of customer*) de la UCA, en la que se expresa disminuir el riesgo de contaminación por altas temperaturas, dentro del cuarto donde se almacenan los residuos orgánicos antes de ser transportados al proceso de disposición final.

Por otra parte, esta variable es de tipo continuo y el método por el cual se obtuvieron los datos, fue por medio de antecedentes del tiempo (clima) en la ciudad de Santiago de Cali en los inicios del presente año 2020; esto con el ánimo de analizar cómo se comporta la temperatura promedio semanal dentro del cuarto donde se almacenan los residuos orgánicos en la UCA; y determinar así cualquier recomendación en cuestión a la contaminación presente en estas tareas, debido al grado de descomposición de la materia orgánica y las posibles altas temperaturas que influyen en ello por el tradicional clima de la ciudad.

- ✓ Grado de satisfacción con los procesos de disposición final de los residuos sólidos orgánicos. (GSDFRO)

Esta variable ayudará a medir el grado actual y futuro de la satisfacción que tienen los *stakeholders*, partes interesadas, y de la comunidad Javeriana Cali con respecto a los procesos de gestión y control de los residuos sólidos que la universidad implementa en su ambiente organizacional.

Para la medición de esta variable, se decidió aprovechar la herramienta tele comunicacional conocida como formularios Google. Esta herramienta permite generar encuestas gratuitas que pueden ser enviadas por medio de enlaces, mensajes o correos electrónicos a cualquier persona. El equipo del proyecto ha decidido generar una encuesta que será la entrada de información con base a la escala Likert y que, por medio de las herramientas de comunicación virtual, se enviaría las encuestas a la máxima comunidad posible. Todo esto con el fin de medir el grado de satisfacción de la comunidad javeriana y de las partes interesadas con respecto al sistema de gestión de residuos sólidos que son enviados a disposición final.

TABLA III

INDICADORES DE DESEMPEÑO A MEDIR

Variable	Objetivo	Descripción	Indicador
RONA	Permite conocer la situación actual de la generación de residuos orgánicos por parte de la universidad.	Pronóstico mes a mes por el método de Holt-Winter	% de reducción de residuos orgánicos (%RRO) $\%RRO = \left(\frac{Kg \text{ Finales}}{Kg \text{ iniciales}} - 1 \right) * 100$ (1)
CDF	Permite conocer al equipo el comportamiento de los costos de disposición final anuales.	Resulta de trabajar los datos de la anterior variable en base a un factor de conversión y las tarifas de Promoambiental	% de reducción de costos (%RRC) $\%RRC = \left(\frac{Costo \text{ Final}}{Costo \text{ inicial}} - 1 \right) * 100$ (3)



ROAC	Permite al equipo monitorear el aprovechamiento promedio de los residuos orgánicos en la Universidad Javeriana Cali en la actualidad y en un futuro.	Pronóstico mes a mes por el método de Holt-Winter	% de aprovechamiento de residuos orgánicos mes-mes (%ARO) $\%ARO = \left(\frac{\text{Total kg a compostar}}{\text{Total kg residuos orgánicos}} \right) * 100 \quad (4)$
TUCA	Permite al equipo monitorear el riesgo de contaminación por descomposición gracias a las altas temperaturas	Históricos del tiempo(clima) promedio en la ciudad de Cali	% reducción semanal promedio de temperatura del cuarto de almacenamiento de la UCA (%RTUCA) $\%RTUCA = \left(\frac{T \text{ media max semanal final}}{T \text{ media max semanal inicial}} - 1 \right) \quad (5)$
GSDFRO	Esta variable ayudará a medir el grado de la satisfacción actual y futuro que tienen los stakeholders, con respecto a los procesos de gestión de los residuos orgánicos de la universidad.	Encuesta elaborada en base a la escala de Likert	% de satisfacción actual y futura de los interesados y comunidad Javeriana (%SAF) $\%SAF = \sum_1^4 \frac{\text{respuestas en contra}}{\text{Total de respuestas} * 4} \quad (6)$

B. Exploración del mercado

Adicionalmente a la identificación de algunos *stakeholders*, se procedió a establecer algunos usuarios potenciales del proceso propuesto entre los cuales se encuentran: Universidad, criadores y agricultores, algunos hogares, condominios, zonas no interconectadas y empresas dedicadas a la generación de energía. No obstante, cabe resaltar que la identificación de estos usuarios potenciales se hizo con base en los beneficios que estos usuarios pueden obtener de la implementación del proceso.

Actualmente la Universidad Javeriana Cali cuenta con un modelo de procesos institucional, dentro del cual identificamos que nuestro proyecto está ubicado en los ciclos de apoyo como lo es la gestión de recursos físicos y ambientales. A continuación, en la Fig. 5 se presenta el modelo de procesos de la universidad.

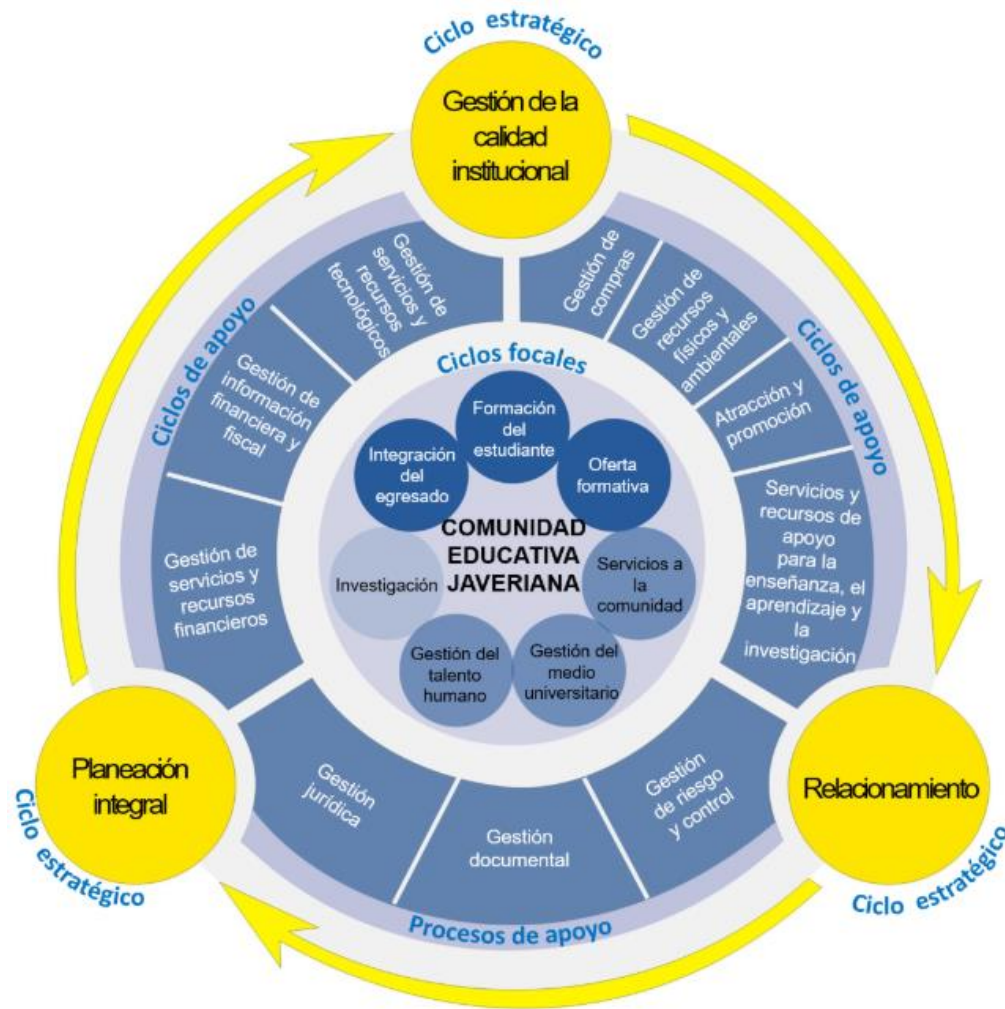


Fig. 5 modelo de procesos de la Pontificia Universidad Javeriana Cali [5]

Consecuentemente, dentro de ese ciclo el proyecto va más enfocado hacia el proceso de la disposición final de recursos físicos y ambientales. Posteriormente, en la Fig. 6 se muestra el subproceso donde se ubica el proyecto.



Fig. 6. Ciclo de apoyo para la gestión de recursos físicos y ambientales [5]




El proceso actual de disposición final de residuos orgánicos se encuentra dentro del subproceso de disposición final de recursos físicos y ambientales. En este proceso se identificaron posibles cuellos de botella, puntos críticos y oportunidades de mejora, los cuales están enfocados en dos procesos el primero la clasificación y separación de los residuos orgánicos e inorgánicos y segundo el almacenamiento de residuos orgánicos en la UCA. El primer proceso es un cuello de botella y a la vez una oportunidad de mejora pues debido a la mala clasificación de los residuos existen esperas que pueden afectar el proceso. Adicionalmente, el almacenamiento es un cuello de botella y un punto crítico pues se puede ver afectado por esperas asociadas a los lapsos de tiempo en que la empresa encargada de la disposición final recoge los residuos, los residuos se pueden descomponer y representar riesgos para la salud de los operarios, es por eso por lo que este proceso también puede ser visto como una oportunidad de mejora que tenga como objetivo reducir los riesgos desencadenados por el almacenamiento de residuos orgánicos. Seguidamente, mediante la Fig. 7 se presenta el proceso de disposición final de residuos orgánicos con su respectivo análisis.



Disposición final de residuos orgánicos

1. Recolección de residuos sólidos en los diferentes concesionarios de la universidad
2. Clasificación y separación de residuos orgánicos e inorgánicos
3. ¿Existen residuos orgánicos aprovechables?
4. Almacenar residuos orgánicos no aprovechables en las góndolas de la UCA
5. Separar y clasificar los residuos orgánicos para compostaje
6. Compostar
7. Disponer residuos orgánicos no aprovechables a empresas municipales

Convenciones

-  Cuello de botella
-  Puntos de mejora
-  Puntos críticos

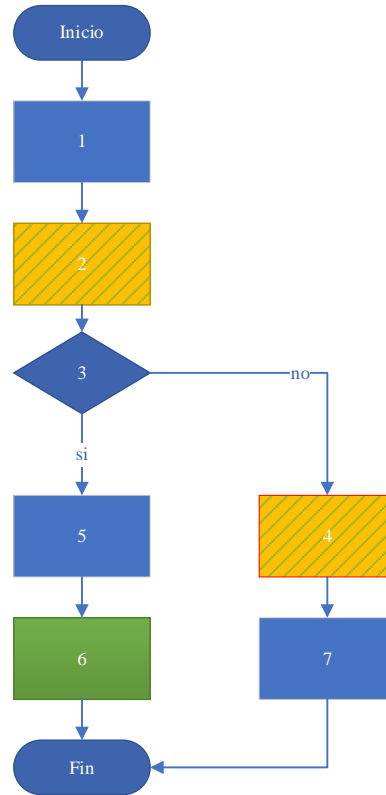


Fig. 7. Diagrama de flujo para el proceso de disposición final de residuos orgánicos en la PUJ Cali

Por otra parte, es importante mostrar la situación actual del proceso de disposición final de residuos orgánicos. Enseguida, se exponen los resultados obtenidos para cada variable.

✓ RONA

Basados en datos históricos se realizaron dos tipos de pronósticos (Ft) por el método de Holt-Winter esto debido al comportamiento estacional que presenta la serie. El comportamiento estacional se debe a los ciclos académicos de la universidad, normalmente los meses de julio y diciembre la generación de residuos es menor. Por consiguiente, con la ayuda del aplicativo Minitab, el primer Ft es con base en el método multiplicativo y el segundo hace referencia al método aditivo, ambos métodos fueron realizados con iguales parámetros α (nivel), γ (tendencia) y δ (estacional); todos con el valor predeterminado del aplicativo de 0,2. Consecuentemente, se obtuvieron pronósticos desde el mes 48, que hace referencia a enero del 2019. Posteriormente, se proceden a calcular los errores y se obtiene que el método aditivo proporciona un error menor en las tres medidas de exactitud; como lo son la desviación absoluta media (DAM), el error cuadrático medio (ECM) y el error porcentual absoluto medio (EPAM). A continuación, en la Fig. 8 se muestran los pronósticos obtenidos para el año 2020, meses (61-72).

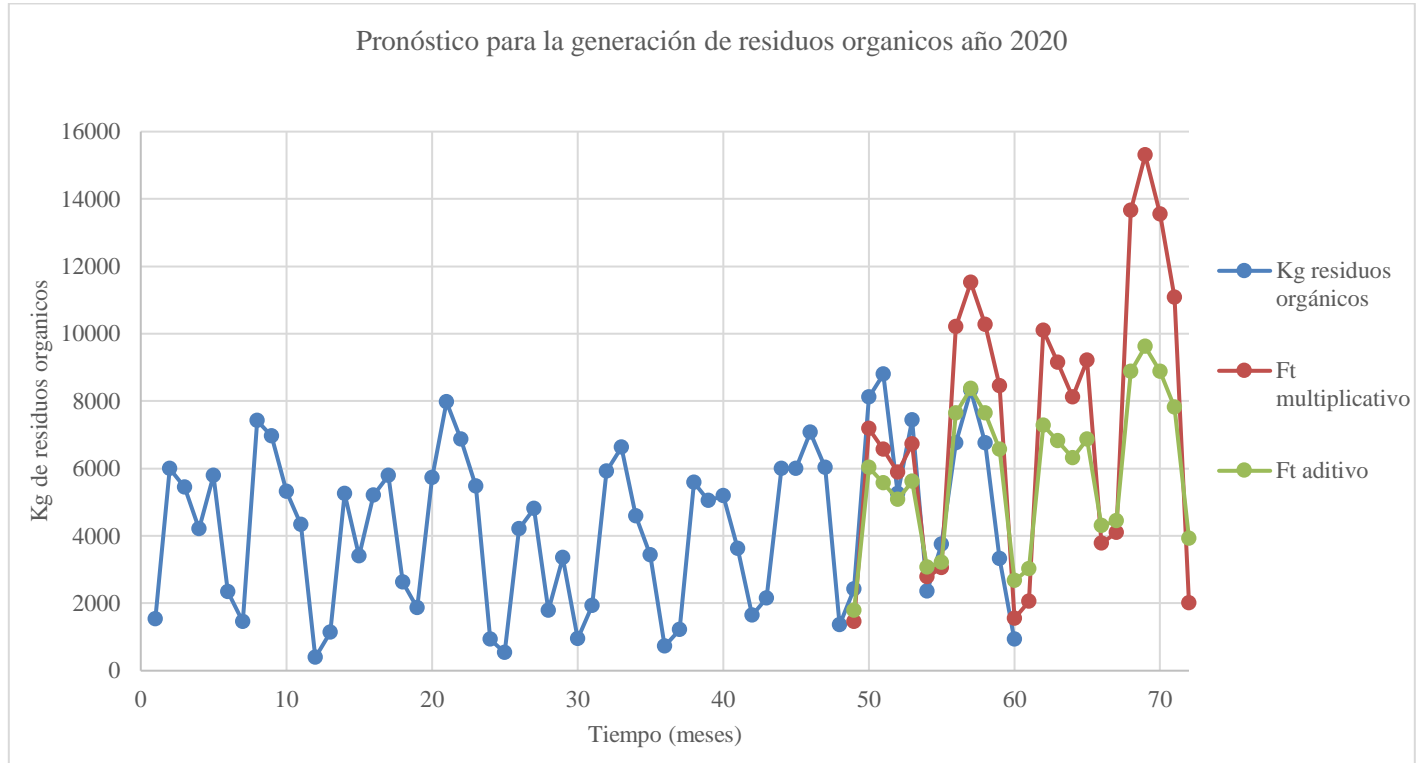


Fig. 8. Pronóstico para la generación de residuos orgánicos 2020 en la PUJ Cali modificado de: [4]

Finalmente se puede ver un aumento de la generación de RONA. Por ende, se observa claramente que se presenta una oportunidad de mejora respecto a esta variable y con base a uno de los requerimientos de los interesados, pues idealmente se quiere reducir la cantidad y por consiguiente el incremento anual de RONA.

✓ CDF

Los datos obtenidos para los costos de disposición final provienen de los datos históricos y el pronóstico realizado para la anterior variable. Para obtener los costos, en un principio se procedió a calcular un factor de conversión promedio en datos basados en literatura, que permitiera convertir los Kg de residuos orgánicos a unidades volumétricas, esto con el fin de poder calcular los costos mensuales pues la empresa Promoambiental presenta tarifas de $\$/m^3$ de residuos.

Por otra parte, cabe destacar que Promoambiental modifica sus tarifas mes a mes y con el paso de los años han tenido que reestructurar sus tarifas de acuerdo con unas clasificaciones, las cuales se hacen por pequeños y grandes generadores. La universidad principalmente es clasificada en grandes generadores pues en promedio produce anualmente de 1 a 6 m^3 de basura orgánica.

Consecuentemente se toma la tarifa que se utilizó para enero del 2015 y la tarifa actual de abril del 2020, se calcula la tasa de interés mensual, la cual dio como resultado 0,645%. Posteriormente se procede a calcular la tarifa mensual estimada con la ecuación 7.

$$VF = VA * (1 + i_{periodico})^n \quad (7)$$



Donde VF es el valor futuro, VA el valor actual, i periodo es un interés periódico y n el número de periodos.

Finalmente, del producto de la tarifa estimada mensual y los volúmenes se obtienen los costos mensuales, los cuales son resumidos en una temporalidad anual como se puede observar a continuación en la Fig. 9.

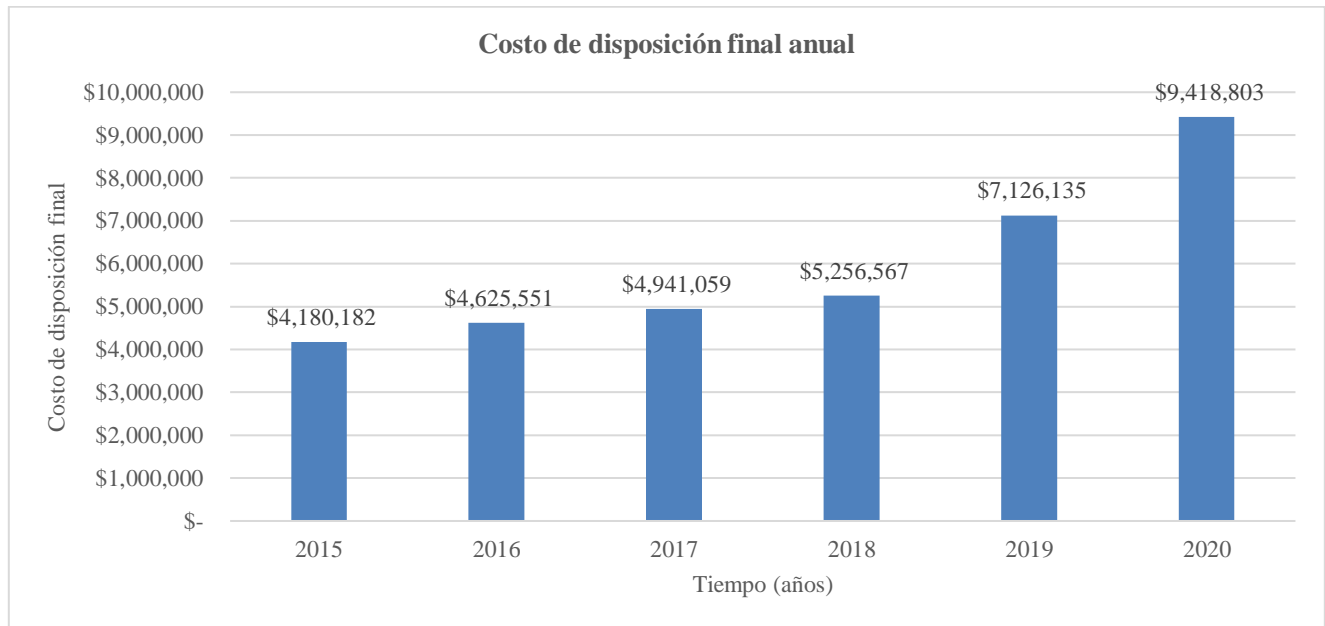


Fig. 9. CDF anual modificado de: [4]

Se evidencia que los costos de disposición final aumentan año tras año. En consecuencia, podemos identificar oportunidad de mejora ya que se pueden llegar a reducir los costos de disposición final si se disminuye la cantidad de residuos orgánicos destinados a un vertedero.

✓ ROAC

Para trabajar esta variable el equipo se valió de los datos históricos que la planta física de la universidad tenía desde octubre de 2018 a febrero de 2020. Se realizó un pronóstico por medio de la herramienta Minitab con el método de Holt-Winter, donde se procedió de la misma manera que en la variable 1. Como se muestra en la Fig. 10, se obtuvieron pronósticos desde el mes 18, que corresponde al mes de marzo del año 2020 hasta el mes 27, que corresponde a diciembre del mismo año. Esto con el fin de analizar el comportamiento de la cantidad en Kg de residuos orgánicos que se estarían aprovechando en promedio para lo que resta del presente año.



Fig. 10 Pronóstico para los ROAC modificado de: [4]

En la gráfica se puede observar que existen varios picos para los tramos entre los meses 12-14 y 24-26, que corresponden a los meses de septiembre a noviembre de los años 2019 y 2020 respectivamente. Las variaciones en la gráfica se pueden estar asociadas a varios factores, entre ellos el ciclo académico de la universidad, la forma en que se realiza el compostaje en el campus, el comportamiento del consumidor entre otros. Esto nos dice que para los últimos meses de los años evaluados es donde más se produce compostaje; sin embargo, el pronóstico muestra una estacionalidad similar y una tendencia decreciente, lo que significa que a medida que transcurre el tiempo, menos residuos están yendo a proceso de compostaje, esto debido a la deficiente gestión que realiza la universidad en la aplicación de esta técnica. Además, con el constante crecimiento de la generación de residuos orgánicos dentro de la universidad, se puede ver la oportunidad en un mejor aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos y una disminución ideal de la generación de estos.

✓ TUCA

Para analizar la temperatura de la UCA, el equipo consultó la temperatura media semanal de la ciudad de Cali, así como sus temperaturas máximas y mínimas para el año 2020. Esto para determinar el comportamiento que presenta la temperatura del cuarto de almacenamiento de los residuos orgánicos, en el cual se realizan este tipo de tareas en el horario de 8 a 4pm, donde la temperatura puede generar más fácilmente un proceso de descomposición microbiana de los residuos orgánicos. Las bacterias y otros organismos de descomposición degradan la materia orgánica más rápido a temperaturas de 30 a 35 °C [6]. Por tanto, se resumieron en la Fig. 11, los resultados comparativos de la consulta.

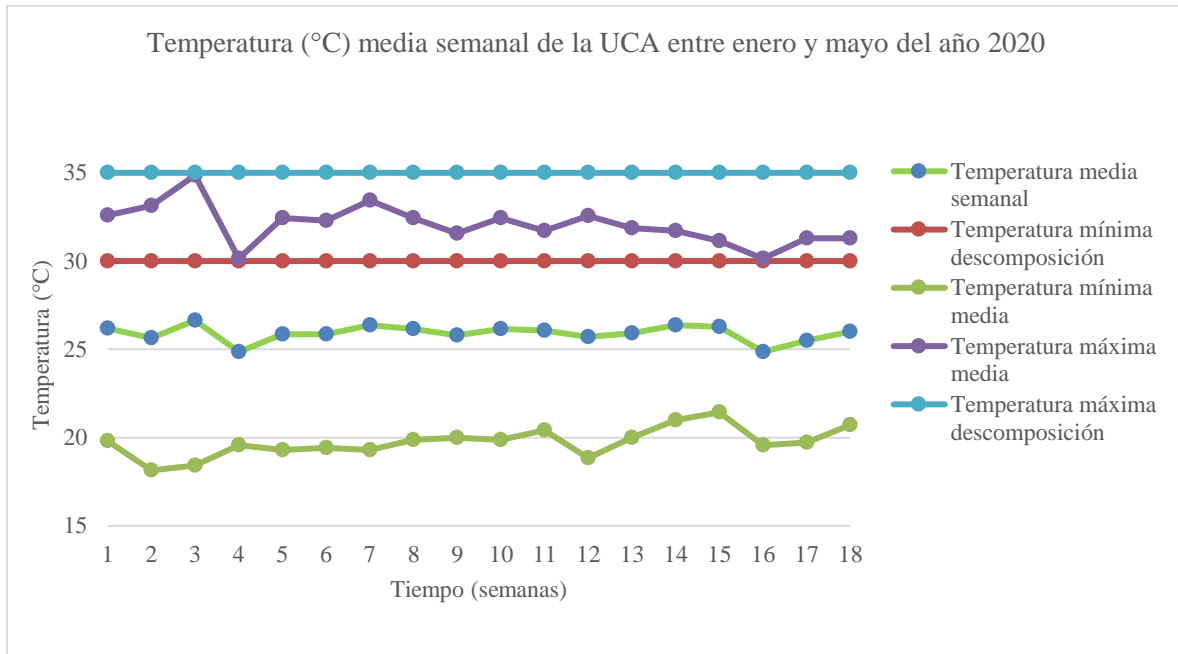


Fig. 11 Temperatura comparativa de la UCA entre enero y mayo del año 2020 modificado de: [7]

Se puede observar que la temperatura media semanal para la ciudad de Cali varía entre 24 y 27 °C; sin embargo, por el tradicional clima de la ciudad, en varias horas del día y de la semana, se evidencian temperaturas que pueden alcanzar hasta los 35°, lo que supone que en los momentos en los que la temperatura es muy alta dado el horario del día, el cuarto de almacenamiento presenta una aceleración del proceso de descomposición de la materia orgánica de los residuos que allí se tienen. Por ello, en algunos lapsos de tiempo los trabajadores están expuestos a contaminación por descomposición. Es por esto por lo que se evidencia una oportunidad de mejora en cuanto a la disminución gradual de la temperatura que presenta la UCA mediante sistemas de ventilación, en general, para garantizar la salud, bienestar y productividad de los operarios.

✓ GSDFRO

El método empleado para la recolección de los datos necesarios para la medición y manejo de la variable fue por medio de la metodología conocida como escala de Likert, esta herramienta conceptual ayuda a establecer una investigación de campo en la cual, se establecen categorías jerárquicas que buscan medir los niveles de aceptación o rechazo en cada pregunta realizada. Por otra parte, la estrategia implementada para la medición de dicha variable fue, el crear una encuesta conformada por 4 preguntas de selección múltiple y una abierta.

Al inicio de la encuesta se presenta una situación actual que está experimentando la universidad con respecto a su sistema de gestión de residuos, con el fin de que los encuestados puedan reflexionar y opinar sobre el proceso de residuos en la universidad. Luego, se procede a realizar las 5 preguntas, las cuales 4 de ellas tendrán como opción de respuesta una escala lineal de 1 a 5, 1 para las personas que consideran que la situación es de muy bajo nivel de aceptación, y 5 para un alto nivel de aceptación con respecto a la pregunta realizada. En consecuencia, se presenta el contexto general de la situación actual propuesta para los encuestados.

“En la Pontificia Universidad Javeriana Cali, se ha registrado durante los periodos 2015- 2019, una producción promedio de 49,72 toneladas de basura orgánica al año, de los cuales tan solo 3,25 toneladas de residuos orgánicos serian aprovechados



para la producción de compostaje, y 46,47 toneladas restantes son destinadas a los basureros de la ciudad Santiago de Cali. Con respecto a esta información por favor contestar a las siguientes preguntas”.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos en la encuesta que busca medir la percepción de la comunidad sobre el sistema actual

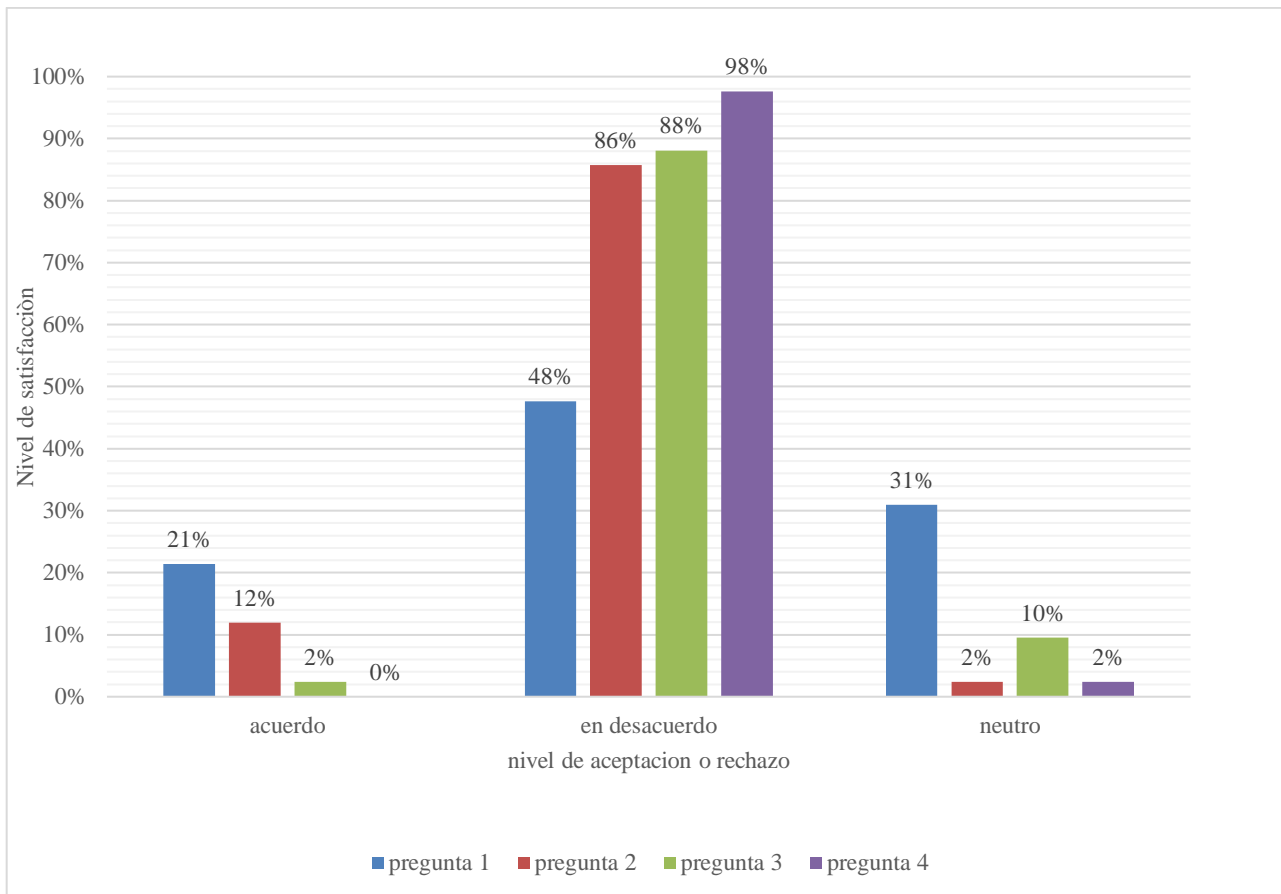


Fig. 12. Resultados de las encuestas sobre el GSDFRO

Adicionalmente, es necesario aclarar que la estructura de la pregunta puede causar un cambio en la percepción de su respuesta; Por ende, es requerido aclarar cuál fue la estrategia de medición que se utilizó para medir el grado de satisfacción de los encuestados. Posteriormente, se procedió a establecer categorías que contienen los niveles de percepción de la escala de Likert, los niveles 1 y 2 fueron contenidos en la categoría de desacuerdo, 3 en la categoría neutro y 4 y 5 en la categoría de acuerdo. Finalmente, se puede observar una gran concentración de personas que están en desacuerdo con el sistema actual; por consiguiente, una vez más validamos que existe una oportunidad de mejora del sistema actual. Para más información sobre la encuesta como preguntas y respuestas (ver anexo 1)

✓ Análisis del entorno

Es importante identificar los factores tanto externos como internos que afectan al sistema actual identificado, en este apartado se realizaron ambos análisis haciendo uso de las herramientas PESTEL para el entorno externo y el DOFA (ver anexo 3).

Finalmente, para la situación actual se ha extraído información determinante para cada variable. Además, se han establecido metas con base en los requerimientos de los interesados. Seguidamente, en la tabla IV se muestran los resultados.

TABLA IV
RESULTADOS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO

Variable	Actualidad	Meta
RONA	Para el 2020 se estima una generación de 78172,2 kg de residuos orgánicos que serán destinados a relleno sanitario.	Reducir en un 5% la cantidad de residuos orgánicos que serán enviados a relleno sanitario.
CDF	Para el 2020 se estima un costo total de \$9.418.802,55 Para la disposición final de residuos orgánicos.	Reducir en un 5% el costo de disposición final de residuos orgánicos.
ROAC	Para el 2020 se estima un porcentaje de aprovechamiento de residuos orgánicos de 6,10% mensual promedio.	Aumentar el porcentaje de aprovechamiento por encima del 6,53%
TUCA	Aproximadamente entre las 11:00 y las 15:00 en la ciudad de Cali se presentan temperaturas máximas promedio de 32,036°C hasta mayo del 2020	Reducir en el horario crítico la temperatura máxima media de la UCA por debajo de 30°C
GSDFRO	En promedio el 80% de las respuestas están en contra o en desacuerdo con el sistema actual.	Reducir el % de respuestas negativas a menos del 40%

IV. ANALIZAR

A. Análisis de Oportunidad

Debido a la exploración de mercado realizada anteriormente, se pudo identificar otros interesados adicionales a la universidad, los cuales establecen algunos requerimientos adicionales. Los usuarios potenciales están dentro de un ciclo cerrado; es decir, que son generadores de residuos que por medio de un proceso (oportunidad) pueden aprovechar estos y generar un valor agregado para ellos mismos. Consecutivamente, en la tabla V se han listado clientes potenciales con sus respectivos requerimientos.



TABLA V

IDENTIFICACIÓN DE LOS CTQS RESPECTO A LOS REQUERIMIENTOS DE LOS INTERESADOS

Usuario potencial	Requerimiento	CTS (seguridad)	CTQ (calidad)	CTC (costo)
PUJ Cali	<ul style="list-style-type: none"> -Aprovechar un % de los RONA -Reducir la temperatura de la UCA -Reducir los costos de disposición final -Aumentar satisfacción de la comunidad javeriana -Disminuir la utilización del almacenamiento de la UCA 	<ul style="list-style-type: none"> -Elementos de protección personal (EPP) para todos los operarios de la UCA -Mantener una temperatura máxima media controlada, para disminuir el riesgo de contaminación por descomposición 	<ul style="list-style-type: none"> -Utilizar menos capacidad en la UCA para almacenar RONA -Una solución sostenible, circular y amigable con el medio ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> -Disminuir el costo de disposición final de los RONA -Una solución que esté dentro del presupuesto de la universidad
Criadores y agricultores	<ul style="list-style-type: none"> -Aprovechamiento de los desechos producidos por los animales -Fertilizante natural y libre de químicos 	<ul style="list-style-type: none"> -Un proceso del cual se tenga control, que sea sencillo de manipular y que sea seguro. -EPP 	<ul style="list-style-type: none"> -Una disposición final adecuada de los residuos de los animales -Un fertilizante que ayude a los cultivos de tal manera que los productos sean de buena calidad y que sea de fácil obtención 	<ul style="list-style-type: none"> -Una disposición final menos costosa -Un fertilizante económico
Algunos hogares, condominios y zonas no interconectadas	<ul style="list-style-type: none"> -Fuente energía confiable y más limpia -Aprovechar los RONA y los desechos de mascotas 	<ul style="list-style-type: none"> -Reducir los olores por descomposición de alimentos - Un proceso del cual se tenga control, que sea sencillo de manipular y que sea seguro -EPP 	<ul style="list-style-type: none"> -Una fuente de energía continua y confiable -Una mejor disposición final de los desechos de las mascotas y los RONA 	<ul style="list-style-type: none"> -Fuente de energía más económica -Disposición final más económica



Luego de identificar los otros interesados por medio de experiencias propias y revisiones de literatura se procede a realizar un análisis de los CTQ's, es necesario realizar un diagrama de Ishikawa, en el cual se analizan las posibles causas que contribuyen al desempeño de la oportunidad identificada, la cual satisface los requerimientos de los interesados.

Por otro lado, el requisito más general y necesario para gran parte de los interesados, es la reducción y/o aprovechamiento de los residuos orgánicos no aprovechados. Por ejemplo, la universidad ya cuenta con procesos como el compostaje para utilizar cierto porcentaje de residuos orgánicos, pero, es necesario abarcar un porcentaje mayor para cumplir con el requisito de la disminución de RONA, y evitar que más residuos orgánicos se vayan directo a rellenos sanitarios como proceso de disposición final, reduciendo el pasivo ambiental de la universidad. A continuación, en la Fig. 13 se presenta el diagrama causa-efecto.

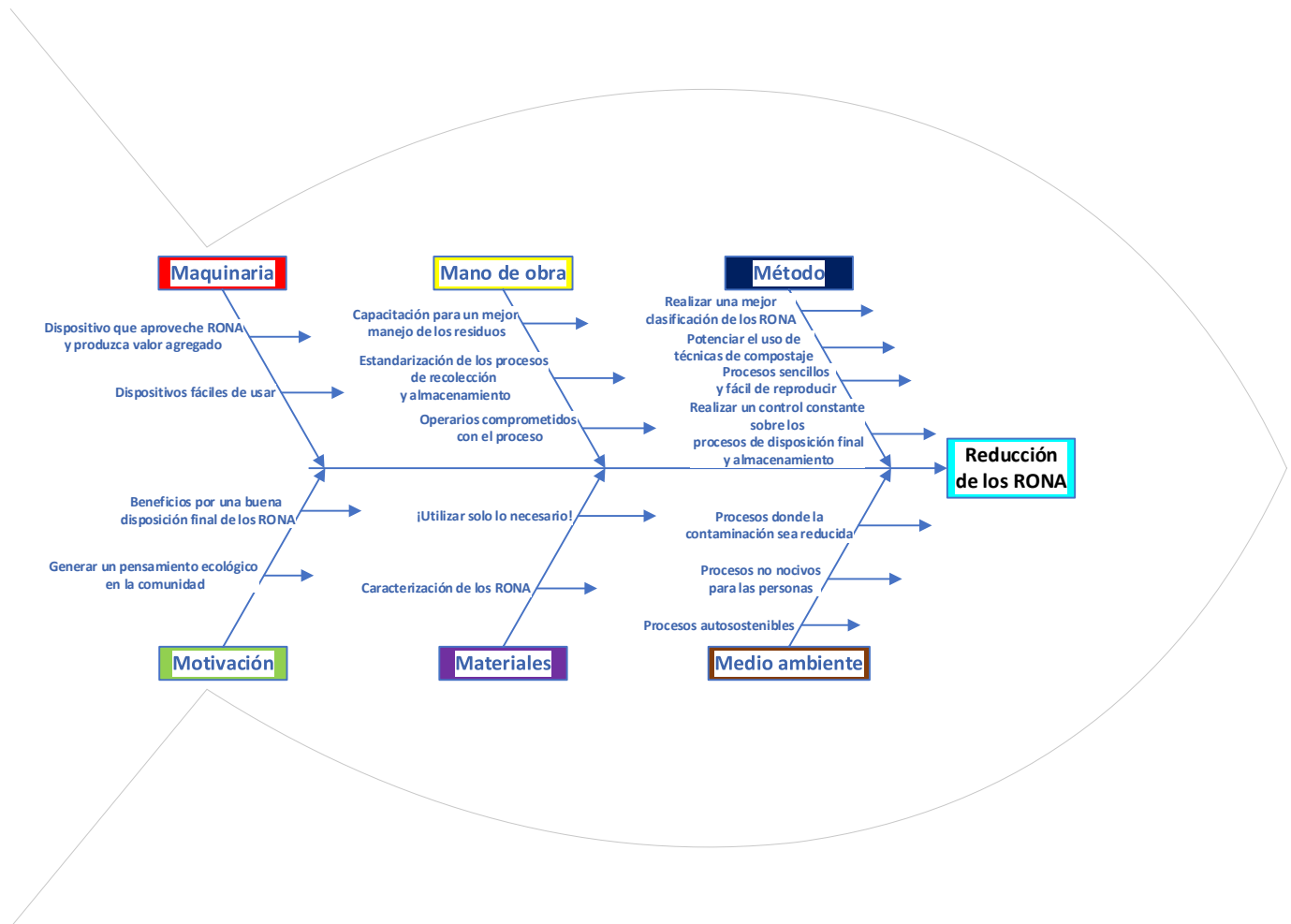


Fig. 13 Diagrama Ishikawa para el análisis de la oportunidad

En este análisis se escogió uno de los requerimientos más generales entre todos los interesados identificados anteriormente, el cual hace referencia a reducción de los RONA, y a su vez puede convertirse en una oportunidad para el usuario. El análisis se

hizo con base a las 5Ms tradicionales (maquinaria, mano de obra, método, medio ambiente, materiales) y una M adicional (motivación), que se escogió debido a la experiencia del equipo en cuanto a lo que es el trabajo con residuos.

Cada una de estas categorías, trae consigo unas causas las cuales responden al ¿cómo lograr que el sistema actual pueda reducir la variabilidad y alcance los resultados esperados por el cliente?, teniendo en cuenta los CTQ's identificados previamente. A continuación, se explicará más detalladamente cada una de las categorías y causas.

✓ Maquinaria

Para la categoría de maquinaria, se establece como causa, un dispositivo que permita al usuario utilizar los residuos orgánicos y generar un valor agregado que beneficie este. Esta propuesta debe tener como condicionante que el dispositivo debe ser de fácil uso, manejable y una herramienta sostenible si se tiene en cuenta el funcionamiento y el propósito de esta.

✓ Mano de obra

Una de las categorías es la mano de obra, que se refiere a los operarios o usuarios que realizan trabajo dentro del proceso de recolección y almacenamiento de los RONA. Dentro de las espinas del diagrama, para esta categoría se propone lo siguiente: Primero; una capacitación frecuente sobre manejo, recolección y clasificación de residuos para los operarios que realizan las tareas relacionadas con residuos en el campus, puesto que, con la tendencia hacia un mundo más sostenible, existen varias formas de trabajo que pueden ser más eficaces y eficientes a la hora de recolectar y almacenar residuos. Segundo, la estandarización de los procesos, que va de la mano con la anterior propuesta, donde se garantiza un proceso eficaz y eficiente, con todos los elementos de protección personal (EPP), condiciones ambientales apropiadas, cuidadosa recolección y almacenamiento de los residuos. Por último, la tercera, es generar compromiso en los operarios, que sean conscientes del trabajo que realizan, a sabiendas de que obtendrán un beneficio por realizar las tareas de forma adecuada.

✓ Método

Para la categoría del método, se plantea una mejor clasificación de los residuos orgánicos, puesto que algunas ocasiones los usuarios y las personas del común no realizan una clasificación adecuada de los mismos. Esto genera que no se separe correctamente los restos que pueden ser útiles en procesos de compostaje, para la generación de abono para cultivos, generación de energía, entre otros usos, así como también retrasos en el proceso de disposición final. Además, otra causa que puede ayudar a cumplir el requerimiento puede ser potenciar el uso de compostaje, ya que esta es una técnica que ayuda a reducir los RONA, por ejemplo, dentro del campus de la universidad ya se realiza, pero bajo ningún control y poco eficiente. Cabe destacar que es importante realizar un control y seguimiento al proceso actual de recolección, almacenamiento y disposición final, para observar su comportamiento en el tiempo, verificar si hay nuevas causas naturales o asignables del proceso, e introducir la oportunidad en un sistema continuo de mejora. Además, el proceso que ayude a aprovechar los RONA debe ser sencillo de manejar para cualquier usuario.

✓ Motivación

La motivación siempre es importante dentro de un proceso que tenga que ver con situaciones de residuos. A menudo las personas no realizan una correcta clasificación a la hora de desechar sus residuos, esto debido en gran parte a la indiferencia que tienen con el tema. Por lo tanto, se proponen dos maneras de mitigar este comportamiento; la primera consiste en que el proceso pueda generar beneficios para el usuario por un buen manejo de los residuos orgánicos, ya sean económicos, personales e interpersonales. La segunda, inyectar un pensamiento ecológico en los usuarios del producto. Estas propuestas van de la mano en el sentido de que se puede concientizar a las personas con publicidad de golpe, que es uno de los métodos actuales que ha venido funcionando a nivel internacional, y a la vez, incentivar los procesos de recolección, clasificación, almacenamiento y disposición final. Estas causas pueden apoyarse

en estrategias como publicitar imágenes o videos del impacto negativo que ha generado el mal manejo de los residuos y la poca conciencia ambiental.

✓ Materiales

Respecto a la categoría de materiales, se han definido dos causas posibles, las cuales pueden ayudar a cumplir el requisito general a cabalidad. Una de ellas es la caracterización de los RONA, esto con el fin de obtener información respecto a la calidad de los RONA, que hacen referencia a la materia prima de un proceso, y así poder optimizar el producto del proceso con el fin de obtener una mejor calidad. Otra posible causa que aporta positivamente al cumplimiento de la oportunidad es utilizar, ¡solo lo necesario!, es decir, que en los procesos productivos que generan desperdicios como residuos orgánicos, solo se utilice lo necesario para la ejecución del proceso, un claro ejemplo es promover una ideología, donde se quiere que las personas en el momento de alimentarse solo pidan en los restaurantes lo que en realidad van a consumir.

✓ Medio ambiente

Al ser un proceso productivo, se es consciente de que causará alguna contaminación, que puede llegar a ser perjudicial para el usuario. Por lo tanto, una de las causas más importantes para cumplir el requisito general, es que el proceso genere la menor contaminación posible, que no sea nocivo para el usuario y que sea autosostenible, es decir que el usuario pueda hacer uso de este proceso utilizando los recursos necesarios sin afectar a las generaciones futuras.

Finalmente, con la identificación de algunas causas que pueden contribuir significativamente al diseño del proceso, se hará la búsqueda de alternativas utilizadas por otros autores que permitan al equipo una amplia visión para el nuevo diseño que aproveche la oportunidad presentada.

B. Revisión de literatura

Después de realizar un análisis de la oportunidad dada por una exploración del mercado, es necesario indagar fuentes de información relevantes de la literatura para realizar un estado del arte, con el cual se pueda identificar y aplicar si es posible, las propuestas indicadas para aprovechar la oportunidad identificada por el equipo en el ámbito ingenieril.

La generación de residuos de cualquier índole es la principal consecuencia del impacto ambiental directo, causando problemas no solo ambientales, sino también sociales y económicos. Existen métodos y formas de aprovechar los distintos residuos sólidos orgánicos, para consolidar procesos que puedan ser totalmente circulares, amigables con el medio ambiente y que dejen algún valor agregado a los usuarios potenciales. En la siguiente tabla se exponen algunas referencias de investigaciones que tratan oportunidades similares:

TABLA VI
REVISIÓN DE LITERATURA

Fuente	Autor	Título	Año	Objetivo	Aporte	Resultados
Artículo (Universidad y Salud)	Solanyi Castañeda y Juan Pablo Rodríguez	Modelo de aprovechamiento de sustentable de residuos sólidos orgánicos Cundinamarca, Colombia	2016	Realizar una aproximación de un modelo de optimización conceptual, técnico y matemático para el apoyo en la toma de decisiones con el fin de	Tratamiento biológico de compostaje aeróbico y lombricultivos	Reducción del costo de disposición final de residuos sólidos orgánicos en relleno sanitario, ahorro de emisiones de gases de



				minimizar impactos ambientales.		efecto invernadero y abonos orgánicos
Libro	Álvaro Marcelo Canales, Xavier Elías, Maribel Herrero	Aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales	2009	Exponer diferentes alternativas de aprovechamiento de los residuos orgánicos generados de aspecto agrícola y forestales	Tratamiento de los residuos para producir biogás, combustibles líquidos. Aprovechamiento a través de combustión o incineración	Generación de productos de impacto ambiental y económico como compostaje, generadores de energías limpias y aprovechamiento de fuentes de combustión
Monografía	Gladys Jaramillo Henao y Liliana María Zapata Márquez	Aprovechamiento de los residuos orgánicos en Colombia	2008	Construir un estado del arte sobre el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia en los últimos 10 años, realizando un análisis crítico y reflexivo de la información documental recopilada	Teorización. Propuestas como: Alimentación animal, compostaje, lombricultivos, biocombustibles, biofertilizantes y biofermentos	Teoría clara para la generación de productos de impacto ambiental y económico con el aprovechamiento de los residuos orgánicos
Investigación	Carlos Alberto Severiche Sierra, Rosa Leonor Acevedo Barrios	Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustibles de segunda generación	2013	Analizar de manera detallada la conveniencia de la producción de biocombustibles de segunda generación a partir residuos sólidos orgánicos	Generación de biogás como alternativa a combustibles de segunda generación	Una primera etapa de recolección de datos que sirve al diseño de una estrategia integral de aprovechamiento y tratamiento de residuos orgánicos de origen vegetal por medios biotecnológicos y, por tanto, ecológicamente limpios.
Artículo científico	Alejandro W. Padilla Sevillano, José F. Rivero Méndez	Producción de Biogás y compost a partir de Residuos Orgánicos recolectados del Complejo Arqueológico Huaca de la Luna	2016	Implementar un sistema para la producción de biogás y compost a partir de las aguas residuales de proyectos arqueológicos, debido a que no cuentan con servicios de alcantarillado	Producción de biogás y compostado a partir de los residuos sólidos orgánicos de alcantarillado con 2 biodigestores (vidrio y polietileno)	Se propuso el diseño de un biodigestor de polietileno de una capacidad de 20 m ³ para el tratamiento de residuos generados en un tiempo de 3 años de acumulación. Con esta instalación se minimizaría el presupuesto anual de la limpieza de pozos sépticos.

En la revisión de literatura se encontró distintas estrategias para aprovechar la oportunidad presentada. A continuación, se explican el funcionamiento y beneficios de implementarlas.

- *Compostaje*

Es una técnica para aprovechar residuos sólidos orgánicos, que consiste en un proceso natural y oxidativo, en el que actúan microorganismos aerobios que procesan por medio de una etapa termófila, la cual entrega una degradación de dióxido de carbono, agua, minerales y una materia orgánica estable, libre de patógenos. Esta materia orgánica es posible usarla dentro de procesos de agricultura como fertilizante de cultivos sin efectos secundarios sobre la tierra. Modificado de [8]

- *Lombricultivos*

Es una biotécnica de compostaje que utiliza un anélido, el cual es la lombriz de tierra californiana como agente que se alimenta de materia orgánica y a la vez produce humus, carne y harina de lombriz. Esta actividad permite mejorar la calidad del suelo para cultivo en los sistemas agrícolas. Además, es una excelente oportunidad de negocio debido a que no sólo se aprovechan los residuos orgánicos generados de un proceso, sino que se puede comercializar los anélidos y subproductos como los fertilizantes producidos por estos organismos. Modificado de [8]

- *Biocombustibles:*

“Biocombustible es cualquier tipo de combustible líquido, sólido o gaseoso, proveniente de la biomasa (materia orgánica de origen animal o vegetal)” [8]. Dentro de los biocombustibles se encuentran los siguientes:

1. Bioetanol

El bioetanol es un tipo de biocombustible que se obtiene a partir de la fermentación de algunos residuos orgánicos en específico. En la industria la obtención del alcohol se hace a partir de tres sustratos diferentes, la primera es la biomasa azucarada, la cual hace referencia a biomasa que contenga azúcares como la glucosa, sacarosa, entre otros. Algunos ejemplos de biomasa azucarada son: cultivos de caña de azúcar o sorgo. La segunda es la biomasa almidonada, la cual contiene polisacáridos de tipo almidón proveniente de cereales y tubérculos. Por último, se encuentra la biomasa celulosa, la cual hace referencia a la madera, el papel, cortezas entre otros. Los tres tipos de biomasa siguen un proceso similar; en un principio deben ser fermentados, y de este proceso resulta un alcohol de baja concentración, luego se hace un destilado para aumentar la concentración. Modificado de [9]

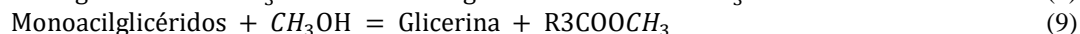
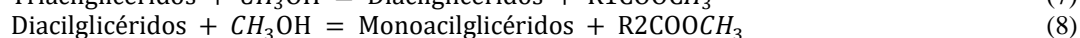
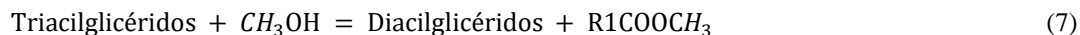
En Colombia, más específicamente en la región geográfica del Valle del Cauca los ingenios azucareros utilizan estos procesos con la caña de azúcar para la producción de bioetanol, gracias a la facilidad de obtención de la caña de azúcar y, además, por ser el proceso más sencillo de reproducir.

2. Biodiesel

Es otro tipo de biocombustible obtenido de lípidos animales o vegetales, aceites y residuos de fritura. Para la producción de biodiesel existen varios procedimientos y procesos que ayudan a la creación de combustible, uno de ellos es el método conocido como Transesterificación del AZM, este método es utilizado para crear biodiesel a base de aceite de almendras de la fruta zapote. Sin embargo, para la realización de este método, es necesario realizar unos procesos antes de implementar el método, estos procesos son los siguientes: Obtención y acondicionamiento de las “almendras” de zapote mamey, Análisis del contenido de aceite de las “almendras”, Extracción de aceite de “almendras” de zapote mamey (AZM), Eliminación de humedad y obtención del aceite extraído, Determinación de propiedades físicas y químicas del aceite, Transesterificación del AZM, Condiciones de reacción, Procedimiento para la realización de las reacciones, seguimiento del progreso de la reacción mediante cromatografía en capa fina (CCF), caracterización físico-química de biodiesel del aceite de la semilla de mamey y por último el Perfil cromatográfico del biodiesel.



Por otra parte, el proceso que ayuda a transformar las propiedades del aceite de la almendra a un combustible es el proceso conocido como Transesterificación del AZM. Este proceso consiste en una secuencia consecutiva de las siguientes reacciones reversibles. A continuación, en las ecuaciones 7, 8 y 9 se presentan las reacciones reversibles. Modificado de [10]



3. Biogás

Esta se da por medio de un reactor, comúnmente llamado biodigestor. Este biodigestor es un sistema cerrado y hermético, que por medio de la fermentación anaerobia produce gas metano y fertilizantes orgánicos abundantes en nitrógeno, fósforo y potasio. Además, se disminuye el potencial contaminante de algunos residuos orgánicos. Entre las ventajas de implementar un biodigestor para los usuarios potenciales, se encuentra el permitir una disposición correcta de los residuos orgánicos; reutilizándolos y reduciendo el impacto ambiental.

Por otro lado, el uso de un biodigestor representa una fuente de energía eficiente y económica, principalmente en zonas no interconectadas, donde la disponibilidad de otras fuentes de energía no es accesible. Además, del proceso de la biodigestión se obtienen fertilizantes orgánicos sólidos (biosol) y líquidos (biol) que ayudan a disminuir el impacto ambiental y son más económicos para la producción de la zona agrícola.

Cabe mencionar que una de las ventajas de los biocombustibles es que son biodegradables, el 85% se degrada en aproximadamente 28 días.

- Biofermentos

Como todos los biocombustibles, es un resultado de la fermentación de residuos orgánicos a través de un proceso microbiológico que los transforma en minerales, vitaminas, aminoácidos y ácidos orgánicos que servirán para el cultivo de plantas y la calidad del suelo donde se cultivan. Además, los Biofermentos disminuyen la incidencia de plagas y enfermedades en los cultivos agrícolas, lo que representa un valor agregado de los procesos de aprovechamiento de los residuos orgánicos que los mismos procesos agrícolas generan.

- Combustión e incineración

Básicamente, este proceso consiste en quemar los RONA. Adicionalmente, se han identificado algunas ventajas y desventajas de este proceso [9]. A continuación, en la tabla VII se observan las ventajas y desventajas del proceso.

TABLA VII

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO INCINERACION Y/O COMBUSTION DE RONA

Ventajas de la incineración de residuos	Desventajas de la incineración de residuos
Disminuye la cantidad de residuos	Altos costos
Producción de calor y electricidad	Altos niveles de contaminación del aire
Reducción de la contaminación de suelos y plagas	Los residuos de ceniza en el aire pueden dañar a la comunidad aledaña
Ahorro en el transporte de residuos	
Control de malos olores	
Previene la producción de gas metano	

Se puede observar que algunas de las causas identificadas anteriormente, poseen alguna relación con las soluciones o métodos propuestos por otros autores. Por ejemplo, en el diagrama causa-efecto, más específicamente en la rama de maquinaria, se busca un dispositivo que sea fácil de usar y que ayude a disminuir al usuario los RONA. Esto va estrechamente relacionado con alternativas que hagan utilización de reactores tipo Biodigestor, que permiten el aprovechamiento de los RONA.

Adicionalmente, en la rama de método se sugiere una buena clasificación de los RONA, procesos sencillos como potenciar el uso de compostaje y realizar un correcto monitoreo de este. Algunos autores sugieren que el compostaje y sus diversas técnicas son procesos eficientes y rentables que ayudan a disminuir los RONA.

Por otra parte, está la rama medio ambiental, la cual presenta causas que buscan generar una adecuada disposición final de los RONA, esto por medio de un proceso más limpio con el fin de reducir al mínimo la contaminación y el peligro para el usuario. En general, la mayoría de los autores proponen soluciones que contienen procesos naturales, de los cuales todos reducen los RONA y algunos producen una contaminación mínima, que también es tratada por alguna técnica en específico. Finalmente, se procederá a la exploración de ideas, en donde se seleccionará una buena alternativa que pueda ayudar a aprovechar de una mejor manera la oportunidad presentada.

C. Exploración de ideas y selección de alternativa

Para la exploración de ideas, se escogió uno de los métodos creativos llamado Walt-Disney. Este método consta de 3 pasos sencillos por los cuales se generan y se filtran las ideas que realmente entran a jugar en la selección de las alternativas, los pasos para realizar este método son:

1. Soñador

En este paso se busca realizar en equipo una tormenta de ideas, la cual no tiene límites, es decir cualquier idea es buena y puede ser tenida en cuenta.

2. Realista

Aquí se busca aterrizar un poco las ideas y mirar el ¿Cómo se van a realizar?, este paso ya garantiza que las ideas sean viables y puedan desarrollarse.

3. Critico

Finalmente, se examinan las ideas que han llegado hasta este paso, con el fin de identificar ¿qué falla? o los posibles riesgos que esa idea pueda tener.

Después de realizar estos 3 pasos se obtendrá una lista de ideas las cuales pueden ser seleccionadas como alternativa a ejecutar para el aprovechamiento de la oportunidad presentada. A continuación, en la Fig. 14 se observa el proceso realizado con base a la metodología Disney.

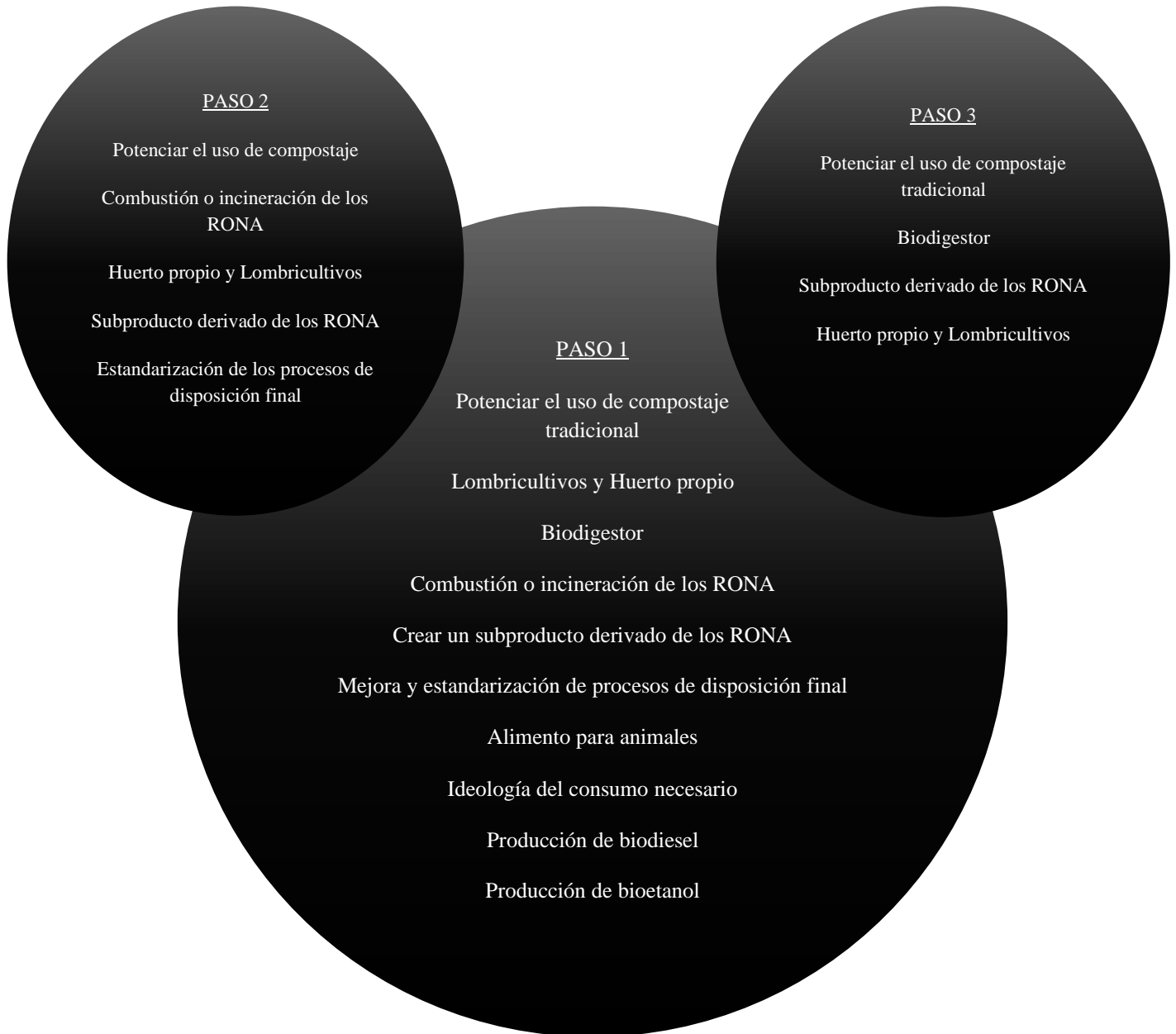


Fig. 14. Método Disney para la generación de ideas

Por consiguiente, en el paso 3 se obtuvieron 5 alternativas que el equipo considera que son viables, teniendo en cuenta los riesgos que estas puedan presentar. Seguidamente, se explica de manera detallada el análisis que se hizo para cada una de las alternativas obtenidas en el paso 3 respecto a la metodología Disney. Cabe destacar, que las alternativas o propuestas para el aprovechamiento de la oportunidad que resultaron el paso 3 son procesos para implementar. Por ende, en la mezcla de mercado solo se tiene en cuenta 2P, las cuales hacen referencia al producto como proceso y al precio.

Potenciar el uso del compostaje tradicional.

Se observó que esta alternativa resulta atractiva y viable para el aprovechamiento de la oportunidad. Con base a las 2P de la mezcla de mercado, el proceso como producto respecto a otros procesos resulta ser sencillo, circular y fácil de implementar. Además, el precio de implementación es relativamente bajo.

La Universidad Javeriana Cali, la cual es generadora y a la vez puede aprovechar sus propios residuos, ya cuenta con un proceso de compostado tradicional; pero en la observación realizada de este, se pudo identificar que el proceso está estandarizado. Sin embargo, el control que se realiza es bastante pobre debido a la aparición de plagas como roedores, lo cual ocasiona que el proceso no sea eficaz ni eficiente a la hora de reproducirse.

Biodigestión de los RONA

Esta alternativa, es uno de los procesos más eficientes para abordar la oportunidad, esto debido a que como producto su implementación es sencilla, consiste en un proceso circular y genera un valor agregado para cualquier usuario como el biogás, el biosol y biol (biofertilizante). Su precio de implementación es bajo y depende del tamaño y los materiales con los que será construido.

Esta propuesta resulta ser de suma importancia, ya que no sólo representa una oportunidad para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, sino que también genera subproductos que pueden ser utilizados por el usuario para su propio bien o para ser comercializado. Además, es una propuesta que se puede aprovechar en zonas rurales no interconectadas que no tienen acceso a gas natural o de otro tipo.

Subproducto derivado de los RONA.

Esta propuesta implica caracterizar los residuos orgánicos generados por alguno de los usuarios en específico, con el fin de determinar el residuo orgánico que más se produce y a partir de ese desecho realizar un producto biodegradable y de uso doméstico, un claro ejemplo puede ser utensilios hechos a base de residuos de café, lo cual es una idea de negocio que ya se encuentra en el mercado [11]. Cabe destacar que este proceso puede llegar a tener costos altos dependiendo del procedimiento.

Lombricultivos y huerto propio.

Esta alternativa resulta bastante atractiva, puesto que permite aprovechar los residuos orgánicos de una manera eficaz y eficiente, por medio de la utilización de una especie de lombriz, la cual es un producto que brinda beneficios como el humus, carne y harina de lombriz, que pueden ser utilizados en un huerto, cultivo o jardín.

Adicionalmente, el proceso de cultivar lombrices es sencillo, económico y amigable con el medio ambiente. Sin embargo, al tratarse de una biotecnología, se debe tener un control constante del mismo, ya que las lombrices corren riesgo a la deshidratación por exposición a luz solar o incluso la falta de humedad en la tierra, además algunos otros parásitos que se puedan alimentar de los residuos orgánicos que las lombrices requieren para vivir.

Consecutivamente, por medio de la metodología AHP [12] se procede a hacer la selección de una de las alternativas resultantes del proceso creativo Walt-Disney.

Para llevar a cabo la evaluación de las alternativas, el equipo definió 4 criterios que influyen en la selección de la alternativa como: beneficio, costo, seguridad y facilidad. Para el criterio de beneficio se tiene en cuenta la cantidad y la calidad de los beneficios que aporta la propuesta. Luego, con el criterio de costo se busca que la implementación, operación y mantenimiento de la alternativa tenga un bajo costo asociado estimado. Después, para la facilidad se busca que el sistema sea fácil de manipular y finalmente para la seguridad, se busca que la propuesta a implementar tenga un bajo riesgo de fracaso, que sea segura para el usuario y que finalmente satisfaga gran parte de los requisitos.



Después del análisis realizado para los criterios, se obtiene una ponderación que hace referencia a la importancia que tiene el criterio; así como también un vector consistencia que nos revela si el análisis realizado para los criterios fue correcto. Por consiguiente, se hizo el análisis para cada una de las alternativas y se seleccionaron dos alternativas posibles (ver anexo 4), las cuales están asociadas a los mayores porcentajes obtenidos del análisis. Seguidamente en la Fig. 15 se observa un resumen de la evaluación final de las alternativas.

Evaluación final														
Alternativas	Costo			Facilidad			Seguridad			Beneficios			Gran total	Mejores alternativas
	Valor criterio	Valor alternativa	Total	Valor criterio	Valor alternativa	Total	Valor criterio	Valor alternativa	Total	Valor criterio	Valor alternativa	Total		
Compostaje	29%	42%	0,12	14%	23%	0,03	29%	26%	0,07	29%	7%	0,02	25%	Biodigestor y lombricultivo
Biodigestor	29%	18%	0,05	14%	48%	0,07	29%	15%	0,04	29%	48%	0,14	30%	
Estandarización	29%	4%	0,01	14%	5%	0,01	29%	9%	0,03	29%	12%	0,03	8%	
Lombricultivo	29%	27%	0,08	14%	15%	0,02	29%	41%	0,12	29%	21%	0,06	28%	
Subproducto	29%	8%	0,02	14%	9%	0,01	29%	9%	0,03	29%	12%	0,03	10%	

Fig. 15. Evaluación final de las alternativas por medio de la metodología AHP

Finalmente, las soluciones de biodigestor y lombricultivos son las alternativas para tener en cuenta en el desarrollo del diseño de un sistema para el aprovechamiento de residuos orgánicos, predominando la alternativa de diseñar y crear un prototipo de biodigestor, sobre el diseño y creación del lombricompostador.

D. Objetivos

Objetivo general

Diseñar una propuesta para el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en la Universidad Javeriana Cali a partir de la biodigestión, buscando reducir el impacto ambiental.

Objetivos específicos

1. Identificar los puntos de control de la alternativa seleccionada mediante análisis de riesgo.
2. Determinar dimensiones, materiales y capacidad para realizar el diseño de un prototipo a escala de la alternativa seleccionada.
3. Caracterizar el proceso productivo y obtener especificaciones elaborando un prototipo a escala de la alternativa seleccionada.
4. Validar el efecto de la alternativa diseñada por medio de herramientas ingenieriles.



E. Plan de trabajo (PDT)

TABLA VIII

PDT

Objetivo	Actividad	Área IISE	Herramientas de Ingeniería Industrial	Entregable (alcance)	Fecha entrega
Identificar los puntos de control de la alternativa seleccionada mediante un análisis de riesgo	Identificar los principales riesgos	6. <i>Ergonomics & Human Factors.</i>	Teoría sobre ergonomía y métodos	Matriz análisis de riesgos	30/08/2020
	Elaborar plan de contingencia	6. <i>Ergonomics & Human Factors.</i>	Teoría sobre ergonomía y métodos	Plan de contingencia	5/09/2020
Determinar dimensiones, materiales y capacidad para realizar el diseño de un prototipo a escala del biodigestor	Investigar diseños del prototipo de otros autores	11. Information Engineering	Base de datos E-books Artículos científicos Revistas Videos	Matriz de posibles diseños	10/09/2020
	Definir materiales, capacidad y especificaciones, requeridas para el diseño escogido	4. Facilities Engineering & Energy Management	Teoría sobre la resistencia de materiales.	Ficha técnica de los materiales, capacidad y especificación del prototipo	20/09/2020
	Investigar herramientas de diseño Industrial	11. Information Engineering	Base de datos E-books Artículos científicos Revistas Videos	Listado de software de diseño industrial	24/09/2020
	Escoger herramientas de diseño industrial	9. Engineering Management	AUTOCAD TinkerCAD FreeCAD	Informe sobre la herramienta seleccionada	30/09/2020
	Realizar un presupuesto del diseño y fabricación del prototipo	3. Engineering Economic Analysis	Excel Teoría de ingeniería económica	Presupuesto	5/10/2020
	Realizar el diseño del prototipo potencial	13.1. Product Design & Development 12. Design and Manufacturing Engineering 1. Work Design & Measurement	Software de diseño industrial seleccionado.	Diseño del prototipo	10/10/2020



Caracterizar el proceso productivo y obtener especificaciones elaborando un prototipo a escala del biodigestor	Comprar materiales y herramientas establecidas en el diseño	7. Operations Engineering & Management	N/A	N/A	20/10/2020
	Realizar procesos de transformación de los materiales para la fabricación	13.1. Product Design & Development 12. Design and Manufacturing Engineering	N/A	N/A	25/10/2020
	Ensamblar materiales procesados y transformados	12. Design and Manufacturing Engineering	N/A	Prototipo	28/10/2020
Validar el efecto del biodigestor por medio de herramientas ingenieriles.	Recolectar datos experimentales	11. Information Engineering 1. Work Design & Measurement	Técnicas de Muestreo	Hoja de cálculo con datos experimentales	10/11/2020
	Realizar análisis estadístico descriptivo e inferencial	11. Information Engineering	Estadística descriptiva e inferencial	Informe resumen sobre el análisis	15/11/2020
	Crear y ejecutar el modelo de simulación del prototipo a gran escala	2. Operations Research & Analysis 5. Quality & Reliability Engineering	Software Simio y ProModel	Modelo de simulación	20/11/2020
	Realizar encuestas de la satisfacción de los clientes potenciales	11. Information Engineering 5. Quality & Reliability Engineering	Escala Likert	Resultado de las encuestas	22/11/2020
	Realizar el análisis de los indicadores KPI	5. Quality & Reliability Engineering	Estadística	Dashboard	28/11/2020

Finalmente se realizó un cronograma en MS Project. (ver anexo 5).



V. DISEÑAR

A. Desarrollo del diseño de la solución

Luego de que el equipo optara por realizar el prototipo de un biodigestor, el cual se encargará de aprovechar los residuos sólidos orgánicos que se generen dentro de una actividad, es necesario aclarar que existen varios diseños potenciales de este artefacto, puesto que depende del fin, de los costos, cantidad de energía necesaria, zona específica, uso, entre otros factores. A continuación, se definen los diseños más relevantes actualmente:

- Biodigestores tubulares

Este tipo de biodigestores son de fácil instalación y movilidad, puesto que están contruidos normalmente de policloruro de vinilo (PVC), etileno propileno dieno tipo M (EPDM) y/o polietileno de alta densidad (PDA), Estos tienen la forma de tubos largos, lo cual facilita que, cuando se carga, toda la masa de líquido dentro del biodigestor se mueva hacia la salida, lo que provoca que la misma carga se agite. Se debe tener en cuenta que la membrana que recubre el biodigestor debe ser inferior a 0,8 mm y que los materiales que se usen para su fabricación sean resistentes a reacciones químicas y a los rayos ultravioleta (UV).



Fig. 16 Biodigestor tubular con membrana de PVC [13]

- Biodigestor tipo chino o rígido

Este tipo de biodigestores están contruidos por materiales rígidos como plástico, acero inoxidable, hormigón entre otros, lo que lo convierte en una gran desventaja en cuanto a transporte. Sin embargo, son más resistentes que los tubulares o flexibles, ya que al ser rígidos resisten condiciones más exigentes en cuanto a presión, temperaturas y corrosión, así como también daños por perforaciones.

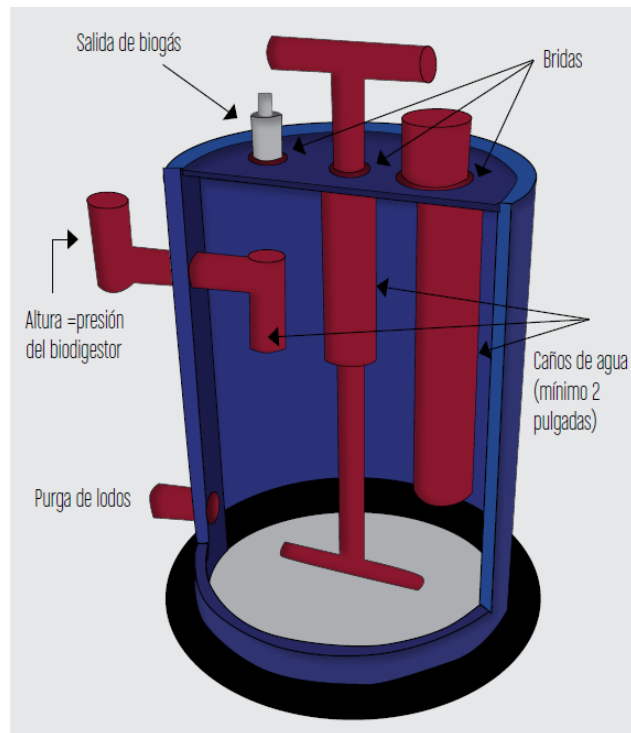


Fig. 17 Digestor tipo chino o rígido. [13]

Este tipo de biodigestores son de bajo costo dependiendo del material que se use y se caracterizan por su facilidad de construcción. Por ello, se ha escogido este tipo de diseño para la elaboración del prototipo a escala. A continuación, en la Fig. 18 se muestra el diseño propuesto para el prototipo. (Ver anexo 6 diseño con medidas)

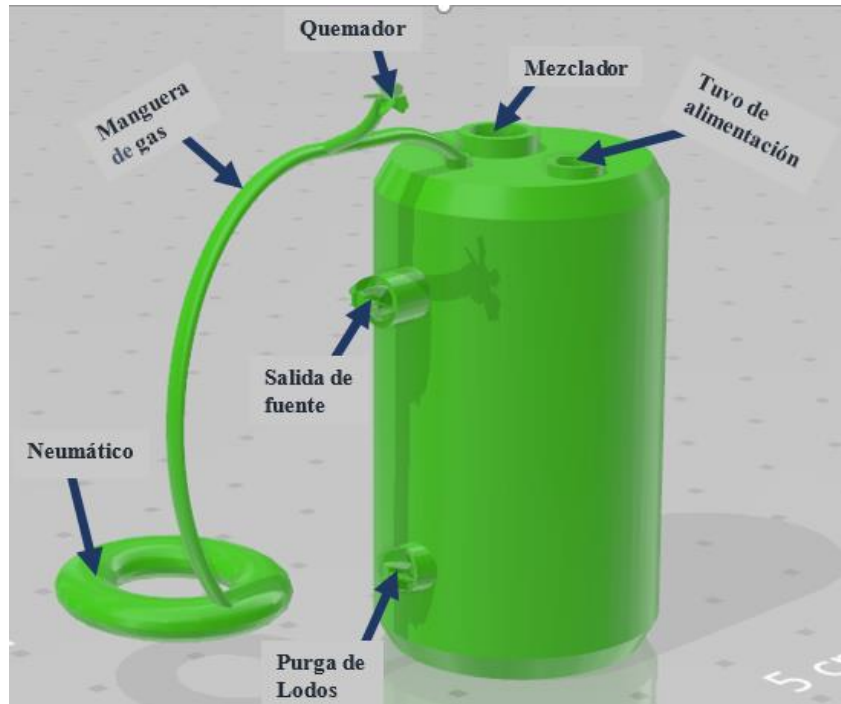


Fig. 18 Diseño del biodigestor a escala por medio de software de diseño industrial.

Construcción del prototipo

El objetivo de la construcción del prototipo es totalmente experimental, lo que quiere decir que a partir de este se obtendrán datos del proceso productivo como la producción de gas y biofertilizantes. El proceso de construcción del digestor básicamente consiste en la adaptación de las salidas de los efluentes (lodos y fertilizante), la salida del biogás y demás accesorios que son necesarios para el almacenamiento y tratamiento de este.

Es importante resaltar que la hermeticidad y el selle del recipiente plástico es de vital importancia para que el proceso de biodigestión y obtención de biogás sea efectivo, de lo contrario las bacterias no harán un proceso anaerobio eficiente y habrá fugas de biogás; por ende, el almacenamiento no será exitoso. Una vez realizado el diseño se procede a hacer la lista de materiales necesarios para la construcción de este. (Ver anexo 7 listado materiales)

El biodigestor

El proceso de construcción comienza con las 3 adaptaciones de la tapa del digestor las cuales son el caño de entrada o alimentación, la salida del biogás, y el caño donde se introduce el mezclador. Para el caño de alimentación se utilizó tubería de PVC de 3" y una tapa rosca de 3" que se adaptó al tubo. Adicionalmente se adapta un tubo de PVC de 1" en la tapa del digestor para la introducción del mezclador.

Es importante que ambos tubos adaptados tengan una longitud adecuada, de tal manera que queden a 5 cm del fondo del digestor, esto con el fin de que se minimice la cantidad de biogás que se escapa y la cantidad de oxígeno que entra al sistema durante la alimentación. Lo anterior, es posible porque el efluente del digestor funciona como un sello hidráulico por lo que el gas siempre tratara de estar separado de este y en la parte superior del digestor.

Por otra parte, se adapta la salida del biogás en la tapa el cual es un adaptador de rosca macho a rosca macho de 1/2" de PVC o galvanizado y se adiciona al adaptador un empaque de caucho y una rosca para el ajuste del este en la tapa.

Después de ensamblar los tres componentes en la tapa se adiciona masilla epóxica con el fin de sellar y moldear la superficie interna de la tapa, una vez seca la masilla se recubre con silicona para evitar el escape del biogás, ya que la presión ejercida en el digestor y la temperatura ambiente a veces puede generar que la tapa se dilate hacia afuera, por lo que es necesario un sellante flexible como la silicona líquida.

Luego, en el costado del digestor se adaptan las salidas del fertilizante y de lodos. Para la salida de lodos se adapta otra tapa rosca de 3" en el fondo del digestor y se adiciona masilla y silicona. Por otra parte, la adecuación de la salida del fertilizante se tiene que hacer al 75% de la altura total del digestor, esto con el fin de que sirva como un límite hidráulico para que el digestor no trabaje a más de esa capacidad.

La adaptación de la salida del fertilizante debe ser en forma de s de tal manera que al interior del digestor tenga una profundidad adecuada para extraer efluente menos liviano que se encuentra en la parte superior del recipiente, Por otra parte, en la parte exterior del digestor la altura máxima de la salida del fertilizante debe ser inferior a la tapa de este, esto para evitar pérdidas de líquido por la tapa debido al rebose. No obstante, cabe resaltar que la altura exterior de la salida del efluente va en función de la presión de trabajo del digestor, que esta a su vez dependerá de la temperatura ambiente y del volumen del gas que haya en el interior del reactor, para el caso del prototipo el volumen de gas interno en el digestor ese de 15 litros que equivale al 25% del volumen total del digestor.

Salud, seguridad y medio ambiente.

Filtros y trampas de agua

La construcción de los filtros y las trampas de agua son necesarias para reducir la contaminación generada por el digestor y la purificación del gas, pues una principal característica del biogás sin filtrar es el contenido de vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂) y ácido sulfhídrico (H₂S) el cual es tóxico para el ser humano y reduce la vida útil de los quemadores de las estufas, esto porque el ácido sulfhídrico es altamente corrosivo.

Manómetros y válvulas de alivio

En este tipo de digestor chino, no es necesario utilizar manómetros ni válvulas de alivio, pues las presiones de trabajo de este tipo de digestor rara vez superan los 10 mbar [13], se puede considerar la instalación de un manómetro, pero esto incrementaría los costos del digestor, pues los manómetros que miden este rango de presiones son manómetros de membrana y tienen un costo elevado.

Trampa de agua o burbujeador

La trampa de agua normalmente se debe hacer en un material que resista reacciones químicas exotérmicas, es decir que generen calor, pues dentro de la trampa de agua se debe poner una mezcla de agua y soda caustica. Por ende, el material elegido para su construcción es el vidrio y debe ser un recipiente preferiblemente con tapa de rosca para evitar las fugas de gas. En la tapa de este recipiente debe adaptarse dos conexiones una de entrada y otra para la salida del gas, en la conexión de entrada debe instalarse una manguera que se sumerja dentro de la mezcla a una profundidad adecuada, pero que no supere la presión de trabajo del digestor para que el gas sea purificado de vapor de agua y dióxido de carbono evitando futuras obstrucciones de las mangueras de gas por la condensación del vapor de agua y reduciendo la emisión de dióxido de carbono hacia la atmosfera. A continuación, en la Fig. 19 se muestra como debe ser elaborada la trampa de agua

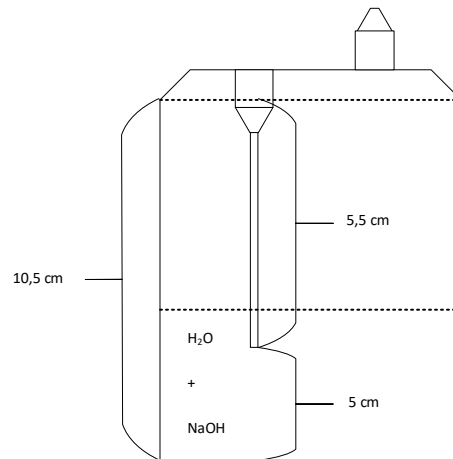


Fig. 19. Trampa de agua o burbujeador

Filtro de Ácido sulfhídrico

Este filtro es indispensable para el biodigestor, pues es el encargado de atrapar el ácido sulfhídrico evitando que el gas tenga un olor desagradable y este escape a la atmósfera, oxide los quemadores de las estufas o sea inhalado por el usuario provocándole problemas de salud. La construcción del filtro debe ser lo suficientemente grande para que pueda limpiar la mayor cantidad de biogás generada por el digestor.

El filtro de ácido sulfhídrico consiste en un tubo de PVC con dos tapas y adaptaciones para la salida del biogás, donde se introducen esponjas de lana de acero y debe sellarse completamente para evitar fugas como se muestra en la Fig. 20. El filtro debe ser dimensionado según la cantidad del biogás que el digestor pueda producir a partir de las cantidades de carga diaria de los diferentes tipos de residuos orgánicos.

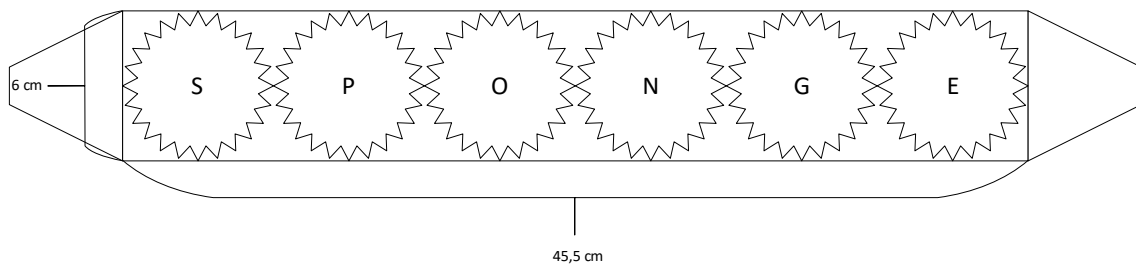


Fig. 20 Filtro de ácido sulfhídrico con esponjas de lana de acero.

Finalmente, en las Fig. 21 se evidencia el diseño terminado del prototipo a escala del biodigestor y actualmente en funcionamiento.



Fig. 21 Prototipo a escala terminado y en funcionamiento.

B. Validación del diseño propuesto

Prototipo a escala (Piloto)

La ejecución de la prueba piloto consiste en la puesta en marcha del biodigestor y las cargas de unas cantidades específicas de residuos orgánicos, esto con el fin de caracterizar la eficiencia del proceso en cuanto a la producción de biogás y fertilizantes. La puesta en marcha del digestor se hizo introduciendo un inóculo el cual contiene estiércol vacuno y agua en proporciones de 1:2 en kg respectivamente. El inóculo se deja en el digestor durante un tiempo de 30 días con el propósito de que la colonia bacteriana que realiza el proceso de descomposición aumente.

Después de los 30 días, se introdujo gradualmente unas cantidades de residuos orgánicos y agua medidas en kg; a medida que el depósito de gas se dilataba se calculaba el volumen de este y se procedía a quemar toda la cantidad existente de biogás y así sucesivamente durante 8 veces. Cabe resaltar que el almacenamiento del gas se divide en 2, una parte se hace dentro del mismo digestor(15L) y la otra en un neumático de 13 pulgadas que se puede comparar con un toroide donde su fórmula de volumen se muestra en la ecuación 10

$$V_{toro} = 2 * \pi^2 * R * r^2 \quad (10)$$

Siendo R el radio del círculo mayor y r el radio del círculo menor

Consecuentemente, el volumen de biogás total se estima de acuerdo con la ecuación 11

$$15L + V_{toro} \quad (11)$$

Finalmente se obtiene que la producción de biogás con un error del 24,71% es de 75,29 L/Kg de residuos orgánicos. cabe resaltar que el porcentaje de error se calculó con base a una eficiencia teórica de 100 L/kg [14]. Respecto al fertilizante, este se puede estimar según la ecuación 12, en donde el fertilizante es el agregado de residuos orgánicos más la adición de agua correspondiente que para el ensayo es en una proporción de 1:2.

$$Fertilizante = 3VRO = CD \quad (12)$$



Simulación

Mediante herramientas ingenieriles como la simulación, fue posible establecer el tamaño adecuado de un biodigestor rígido para la universidad.

Posteriormente, con la ayuda de los datos otorgados por planta física, se realizó una prueba de bondad de ajuste para encontrar a que distribución se ajustaban los datos y de esta manera poder generar nuevas variables aleatorias que tuviesen el mismo comportamiento que la generación real de residuos. En la Fig. 22, se observa a que distribución se ajustan la generación de Residuos orgánicos en la universidad,

distribution	rank	acceptance
Power Function(389, 8.83e+003, 0.967)	100	do not reject
Uniform(389, 8.8e+003)	42.9	do not reject
Beta(389, 8.8e+003, 0.995, 0.95)	13.6	do not reject
Weibull(389, 1.68, 4.41e+003)	11.7	do not reject
Loglogistic(389, 2.1, 3.43e+003)	6.44	reject
Rayleigh(389, 3.23e+003)	5.55	do not reject
Johnson SB(389, 8.43e+003, 0.000951, 0.457)	2.29	reject
Lognormal(389, 8.01, 0.891)	1.03	reject
Triangular(388, 1.03e+004, 388)	0.3	reject
Pearson 5(389, 1.05, 1.82e+003)	0.00703	reject

Fig. 22 Pruebas de bondad de ajuste y rangos según la extensión Statfit de ProModel

Aunque el software de Stat-fit arroja que los datos se ajustan a una distribución *Power function*, se opta por utilizar la distribución uniforme, debido a que los métodos tradicionales como la transformada inversa resultan bastantes difíciles para su resolución. Sin embargo, se procede a realizar pruebas de hipótesis que corroboren la similitud de los datos generados por una distribución uniforme con los datos reales generados por la universidad.

Primero se hizo un resumen estadístico de cada muestra de datos, el cual por medio de la prueba Anderson-Darling se define si se ajustan a una distribución normal. (Ver anexo 9).

En segundo lugar, se hace una prueba de homogeneidad de varianzas para determinar si las varianzas de ambas muestras son iguales. (ver anexo 9).

En tercer lugar, se realiza una prueba de comparación de medias con la t-student para verificar que hay similitud en las medias de los datos generados y los reales. (ver anexo 9).

Por otra parte, antes de entrar en detalle sobre el modelo simulado, En la tabla IX se resaltan algunas variables importantes que fueron de utilidad para realizar dicho modelo.



TABLA IX
CONVENCIONES

Convenciones	
TR	Tiempo retención hidráulica
VDT	Volumen digestor total
RO	Carga diaria Residuos orgánicos (kg/mes)
ρ	Densidad promedio de los residuos RO

Revisando las fuentes literarias, se encontró que el volumen de un digestor está en función del volumen de trabajo, el volumen del inóculo y el volumen de biogás. Al mismo tiempo el volumen de trabajo de un digestor dependerá de la carga diaria y el tiempo de retención [15], donde la carga diaria hace referencia a la cantidad de residuos orgánicos que produce un usuario y la cantidad de agua agregada. Por otra parte, el tiempo de retención se calcula con base a un estándar de temperatura (ver anexo 8).

Desarrollando la expresión sobre el volumen de un digestor (ver anexo 8), se obtiene que el tamaño de un biodigestor se calcula con base a la ecuación 13.

$$VDT = \frac{\left(3 \frac{RO \cdot 1000}{\rho \cdot 30}\right) \cdot TR}{0,5} \quad (13)$$

Luego, se generan los datos y se procede al cálculo del tamaño del biodigestor de acuerdo con la cantidad promedio de kg/mes de residuos orgánicos generados en la universidad. Posteriormente, se contabilizan las pérdidas una vez instalado el digestor y se realizan 100 réplicas sobre el % de aprovechamiento. Finalmente, se obtiene que con un digestor de 21.954 litros se puede aprovechar en promedio un 75% de los residuos orgánicos.

Adicionalmente, con la función buscar objetivo de Excel se establece como objetivo que el digestor pueda aprovechar poco más del 10% de los residuos orgánicos que hace referencia a uno de los KPI's establecidos. Por consiguiente, se obtuvo que con un biodigestor de 4803 litros aproximadamente se puede aprovechar un 20% de los residuos orgánicos después del tiempo de estabilización del dispositivo.

Además, por medio de pruebas de hipótesis (ver anexo 9) se procede a corroborar estadísticamente si el desperdicio de residuos orgánicos se disminuye con la instalación de un biodigestor que pueda aprovechar el 20% de los residuos orgánicos. A continuación, en la Fig.23 se muestra la prueba de hipótesis que confirma que estadísticamente existe una reducción en los residuos orgánicos que van al vertedero en la Universidad.

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 > 0$

Valor T GL Valor p

2,02 118 0,023

Fig. 23 Prueba de hipótesis reducción RONA



Donde μ_1 corresponde a la generación aleatoria de residuos orgánicos y μ_2 corresponde a los RONA después de instalar un digestor que pueda aprovechar el 20% de los residuos. Finalmente, se concluye que instalando el digestor se ha reducido la cantidad de residuos orgánicos.

Ahora bien, se realiza una prueba de hipótesis (ver anexo 9) para validar que la reducción de residuos orgánicos es de un 20%, a continuación, en la Fig. 24 se muestra la respectiva prueba de hipótesis.

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 0,2$

Hipótesis alterna $H_1: \mu > 0,2$

Valor T Valor p

3,46 0,000

Fig. 24 Prueba de hipótesis % aprovechamiento

μ hace referencia al % de aprovechamiento y como $P\text{-valor} < 0.05$ entonces se rechaza H_0 . Por ende, se concluye que el % de aprovechamiento en promedio es mayor al 20%.

KPI's

TABLA X

COMPARACIÓN KPI's

KPI's	Meta inicial	Con biodigestor	Observación
RONA	Reducir en un 5% la cantidad de residuos orgánicos que serán enviados a relleno sanitario.	Se puede llegar a reducir un 20% de los residuos enviados a relleno sanitario.	Con la construcción de un biodigestor de aproximadamente 4800 litros.
CDF	Reducir en un 5% el costo de disposición final de residuos orgánicos.	Es posible reducir un 20% de los costos asociados a disposición final de los residuos orgánicos	N/A
ROAC	Aumentar el porcentaje de aprovechamiento del compostaje por encima del 6.53%	Es posible potenciar el compostaje entre 60-61%	Como toda la salida de efluente del biodigestor corresponde a biofertilizante. Cabe recordar, que la producción de biofertilizante es de 1:3, es decir por cada kg de orgánico se producen 3 kg de biol líquido.
TUCA	Reducir en el horario crítico la temperatura máxima media de la UCA por debajo de 30°C	N/A	Por la situación actual no se pudo acceder a la unidad central de almacenamiento de la unidad física. Por tanto, no fue posible realizar la



			medición de la temperatura de la UCA.
GSDFRO	Reducir el % de respuestas negativas a menos del 40%	N/A	Del mismo modo a causa de la pandemia, la realización de encuestas físicas o en web no fueron posibles de realizar, esto debido a que gran parte de la población que se encarga del manejo y control de residuos, están aislados y resguardados en sus casas por políticas de cuidado en la salud.

VI. VERIFICAR

A. *Medición de los impactos*

Impacto financiero

Para el análisis del impacto financiero se tuvo en cuenta la generación de biogás a partir del biodigestor que posiblemente se puede implementar dentro de la Universidad, esto con el ánimo de saber qué cantidad de biogás se puede aprovechar en una posible venta o comercialización, puesto que puede ser fuente de entradas para el proyecto. Se utilizó una equivalencia dada por la literatura, donde 2000 litros de biogás equivalen a una pipa de 1 kg de gas envasado.

Luego, el equipo consiguió precios asociados con empresas de gas en la ciudad de Cali y así se determinaron los flujos de dinero que se pueden conseguir, a priori, anualmente con el desarrollo de la alternativa. En la siguiente tabla se muestran los costos asociados a la inversión inicial para el proyecto junto con los flujos anuales y el cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

TABLA XI

FLUJO DE CAJA Y TIR DEL PROYECTO

Inversión inicial	-\$ 3.950.000
Año 1	\$ 3.164.768
Año 2	\$ 2.636.567
Año 3	\$ 2.584.972
Año 4	\$ 2.969.606
Año 5	\$ 2.995.232
TIR	68%

Por tanto, la TIR del 68% nos dice que la implementación del proyecto es rentable para llevarlo a cabo dentro de la Universidad. Para más información sobre el impacto financiero ver anexo 10. Si bien el impacto financiero no es uno de los puntos importantes del proyecto, es necesario tenerlo en cuenta para evaluarlo junto al impacto ambiental y social.

Impacto social del proyecto.

Algunos impactos importantes en el aspecto social son:

- Generación de nuevos conocimientos en el cuerpo operativo a partir de las capacitaciones implementadas en la universidad javeriana Cali, con el fin de proveer el debido manejo y control de los residuos para el biodigestor.
- El biodigestor permitirá la aplicación de conocimientos teóricos los cuales, a través de la práctica, incentiven el uso de materiales biodegradable como insumos para la generación de nuevas energías renovables.
- Concientizar a la población universitaria acerca de la importancia de la adecuada separación de materiales orgánicos renovables para el uso de energías sustentables.
- Demostrar el impacto que genera el adecuado manejo de residuos orgánicos en una organización.
- El uso de materiales biodegradables como insumos para la generación de nuevas alternativas en el sector agrícola, que fomenten sistemas autosustentables que suplan las necesidades energéticas y generación de fertilizantes naturales.
- La energía del biodigestor podría ser utilizada en electrodomésticos, los cuales serían alimentados a partir de un sistema de gas renovable en vez de los combustibles fósiles comúnmente utilizados.
- Estos beneficios representan ahorros para los productores en fertilizantes y en energía, pero a su vez también aumenta la productividad de sus cultivos, lo que mejora de forma directa la alimentación de las familias sin dañar el suelo

Ambiental

En la parte ambiental el diseño y construcción del biodigestor como propuesta de aprovechamiento de los RONA, se pueden clasificar los impactos tanto en directos o indirectos. Para efectos del proyecto se tendrán en cuenta los impactos directos, que son los resultantes de la operación del digestor.

Sin embargo, para un análisis más profundo, se deberían incluir en el análisis los impactos indirectos que están asociados a la fabricación del digestor, este análisis se puede hacer por medio del análisis de ciclo de vida (ACV) el cual es una metodología para cuantificar el uso de recursos durante la producción de los componentes del digestor. Cabe destacar que el ACV se basa en las normas internacionales ISO 14040 (principios y marco de referencia para el ACV) e ISO14044 (requisitos y directrices para el ACV), adoptadas en español por AENOR como une-en ISO 14040 y une-en ISO14044.

A continuación, en la Fig. 25 se muestran algunos datos que valoran los impactos de la propuesta estudiada.



Fig. 25. Indicadores del impacto ambiental de la implementación de un biodigestor en la Universidad modificado de [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22] [23]

B. Estandarización de la solución – POE'S (plan de control)

Proceso de operación del biodigestor:

El primer paso es alimentar el biodigestor por la boca de carga (1) que se conecta con la cámara de digestión (2), cámara donde se produce la biodigestión, luego debe diariamente mezclar con el mezclador (3) la cámara de digestión y finalmente utilizar el tubo de descarga (4) por donde se filtrará el biofertilizante (5) y aprovechar el gas generado por medio de la toma de gas o encendedor (6).

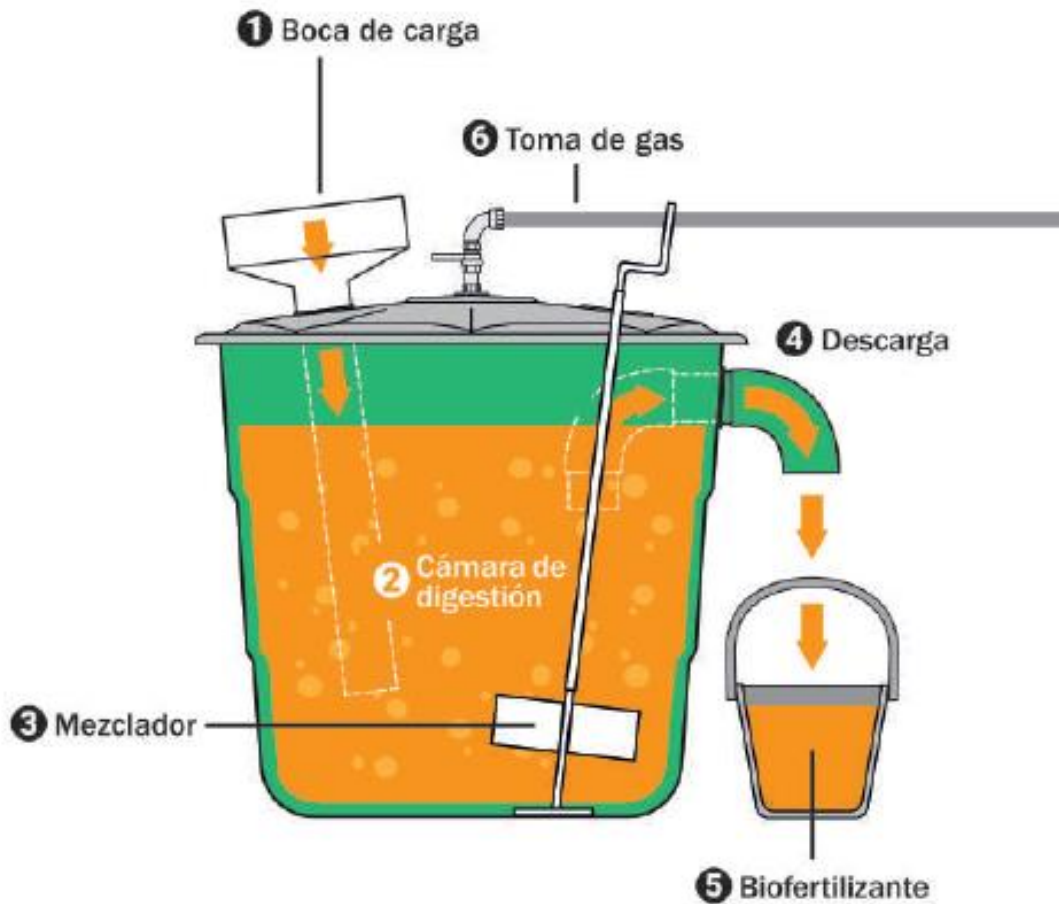


Fig. 26. Componentes del Biodigestor rígido tomado de [14]

Alimentación del biodigestor

El biodigestor debe ser alimentado de manera diaria, sin embargo, tomaremos del texto fuente una guía que indique las equivalencias de FORSU y agua necesaria para producir una cantidad de gas envasado.

TABLA XII

CANTIDADES DE OPERACIÓN DE UN BIODIGESTOR

Alimentación: Según lo indicado anteriormente se alimentará el biodigestor por medio de la boca de carga con las cantidades correspondientes expuestas anteriormente.

Mezclado: Aunque este proceso no se explicó de manera detallada, no quiere decir que sea importante por esta razón se recomienda que el mezclar se haga con un ritmo lento, esta actividad debe hacerse por lo menos 2 a 5 veces en el día durante al menos 2 o 3 minutos, es importante mezclar antes y después de alimentar.

Descarga y disposición del biofertilizante: El rebalse o descarga de fertilizante se dará por cada alimentación y se efectuará por medio de la boca de descarga, este fertilizante deberá ser recolectado en un recipiente para luego ser usado como abono, aunque es necesario dejarlo al aire al menos medio día con el fin de que se oxigene.

Revisión del volumen del depósito y control de la presión: esta es una actividad muy importante que consiste en medir el volumen de gas acumulado por medio del volumen del depósito, esto ayudara a identificar que el proceso de biodigestión si se está realizando y que por ende se está produciendo Biogás, en caso de haber exceso de gas, se recomienda abrir la llave del fertilizante y quemar el exceso.

Recomendaciones sobre el digestor

- Controlar la posición de las válvulas de la conducción del gas
- Controlar que las bocas de cargas y descargas no se encuentren obstruidas
- Evitar apoyar elementos pesados sobre el equipo que puedan dañar la funcionalidad de este
- Para la elaboración de un Biodigestor se recomienda utilizar materiales como el acero inoxidable el cual ayudara a que el reactor aumente su vida útil. Adicionalmente, la instalación debe ser hecha por personas expertas pues cualquier error en las adaptaciones del recipiente puede hacer que haya fugas y por ende el digestor no funcione.
- Para el almacenamiento de gas es importante tener en cuenta la presión de trabajo del digestor, normalmente esta es muy baja para el digestor tipo rígido por lo que requiere almacenamientos con presiones menores para que el gas pueda fluir del digestor al depósito de almacenamiento. Algunos materiales recomendados son el gasómetro, neumáticos de gran capacidad o geomembranas.

Al inicio del año lectivo se recomienda realizar proceso de control y mantenimiento de las instalaciones por ejemplo limpieza de bicas, verificación de válvulas, conexiones, búsqueda de posibles filtraciones de gas, se recomienda utilizar agua y detergente

Detección de causas del mal funcionamiento y posibles soluciones

TABLA XIII

POSIBLES PROBLEMAS EN LA OPERACIÓN DE UN DIGESTOR Y SUS RESPECTIVAS SOLUCIONES

Indicios	Problema	Soluciones
Disminución en la producción del gas (volumen del depósito)	Sobrealimentación	Suspender la alimentación por una semana controlando la producción del gas por medio de la altura gasométrica o disminuir la alimentación a la mitad del valor del diseño
Dificultad al mover el mezclador	Obstrucción en la cámara de gas, solidificación	En caso de observar demasiado materia espesa agregar agua y mezclar.
El quemador no enciende o se apaga fácilmente.	Disminución en el CH ₄	Vaciar el Biodigestor e iniciar de nueva la puesta en marcha
Disminución en la producción del gas (volumen del depósito)	Biogás ocluido en el seno del liquido	Mezclar el contenido accionar el mezclador por más tiempo.

Finalmente, para un mejor detalle de la operación del digestor se recomienda ver la fuente [14], la cual es un manual de usuario para digestores.

C. Conclusiones

- Por medio de métodos ingenieriles como prueba piloto, simulación y herramientas estadísticas, se verificó que al implementar un digestor de 4803 L se puede aprovechar el 20% de los residuos orgánicos generados y potenciar el compostaje en 3 veces la cantidad de residuos utilizados en el biodigestor en la Pontificia Universidad Javeriana Cali; cumpliendo así con los requerimientos de planta física y la UCA, los cuales tenían como objetivo aprovechar como mínimo un 5% de los residuos orgánicos y reducir la utilización de la UCA en un 3 % respectivamente.
- De acuerdo con el análisis experimental realizado con el prototipo del digestor se pudo detallar que la eficiencia teórica tiene un alto porcentaje de error debido a varios factores, entre ellos el método de medición de biogás, la construcción del prototipo y la operación del digestor.
- Al implementar el proceso de biodigestión, se concientiza a la población sobre la economía circular, pues a partir de los desechos orgánicos se puede producir energía limpia que puede ser útil de acuerdo con los usos que se establezcan, así como también fertilizantes que ayudan a que los cultivos lleguen a ser orgánicos, evitando utilizar químicos que son dañinos para el medio ambiente como el glifosato, entre otros.
- Con la implementación de la propuesta se pueden reducir los costos de disposición final de residuos en un 20%, que, si bien no son significativos dado el presupuesto anual de la Universidad, comprenden un ahorro que se puede aplicar a tecnologías verdes que potencian la economía circular.
- Los productos generados por el biodigestor como el gas metano pueden ser utilizados en el campus para la generación de energía eléctrica o en los procesos de cocina que realizan los diferentes restaurantes del campus. Por otra parte, el biofertilizante puede ser utilizado para abonar el compost realizado en la universidad y de esta manera potenciarlo o bien directamente en los jardines como abono.

D. Recomendaciones

- Para un mejor funcionamiento del digester se recomienda hacer un estudio más detallado sobre los componentes químicos de los residuos orgánicos y la eficiencia que se puede obtener de estos residuos, con el fin de optimizar la producción de biogás en cuanto a cantidad y calidad.
- Es importante medir los impactos ambientales de un proceso. Por ello, se sugiere realizar un análisis del ciclo de vida (ACV) del digester con el fin de determinar de manera transversal todos los impactos ambientales asociados a este proceso.
- Para controlar y reducir la contaminación ambiental generada por el digester, se proponen realizar investigaciones y evaluar la factibilidad de implementar métodos más tecnológicos para la filtración de los gases de efecto invernadero (GEI) obtenidos del proceso de la biodigestión.
- Es importante determinar si al implementar el biodigester la temperatura de la UCA disminuye pues pueden existir diferentes correlaciones entre la cantidad de materia orgánica almacenada, la rotación de esta, la ventilación del lugar de almacenamiento entre otros. Esto con el fin de desacelerar la descomposición de los residuos orgánicos almacenados, evitando la contaminación y mejorando las condiciones de trabajo de los empleados; lo cual a su vez aumentará la satisfacción de los operarios y la comunidad Javeriana en cuanto a la disposición final de estos residuos orgánicos.

VII.GLOSARIO

Sobrepoblación: exceso de individuos de una especie o de un conjunto de especies en un espacio determinado.

Dióxido de carbono: gas formado por la combinación de un átomo de carbono y dos de oxígeno que se produce en las combustiones y que es uno de los principales causantes del efecto invernadero

Lixiviar: proceso en el cual se trata una sustancia compleja, como un mineral, con un disolvente adecuado para separar sus partes solubles de las insolubles

PGIRS: plan de gestión integral de residuos sólidos

Vertederos: conducto por el que se arrojan a un depósito situado a nivel inferior basuras, desechos, ropa sucia

Descomposición: putrefacción de una sustancia animal o vegetal muerta.

Orgánico: dicho de una sustancia: que tiene como componente el carbono y que forma parte de los seres vivos.

Inorgánicos: dicho de una sustancia: que no tiene como componente el carbono.

Alimentos hipocalóricos: los alimentos hipocalóricos son aquellos que tienen un nivel muy bajo de calorías.

Agrícola: generalmente se refiere a todo lo que tiene que ver con la agricultura. en particular, puede hacer referencia a: la biodiversidad agrícola

stakeholders: partes interesadas

Ica: instituto colombiano agropecuario

RONA: cantidad de residuos orgánicos no aprovechados

Método holt-winter: método de pronóstico de triple exponente suavizante

CDF: costos de disposición final

ROCA: cantidad de residuos sólidos orgánicos aprovechados en el proceso de compostaje

TUCA: condiciones de temperatura de la UCA

UCA: unidad central de almacenamiento de la Pontificia Universidad Javeriana Cali.

GSDFR0: grado de satisfacción con los procesos de disposición final de los residuos sólidos orgánicos

Escala Likert: escala de medición utilizada principalmente en la investigación de mercados para la comprensión de las opiniones y actitudes de un consumidor

RONA: residuos orgánicos no aprovechados

RRO: reducción de residuos orgánicos

DAM: desviación absoluta media

ECM: el error cuadrático medio

EPAM: error porcentual absoluto medio

EPP: elementos de protección personal

Compostaje: proceso biológico aeróbico, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia rápidamente biodegradable para producir abono

Lombricultivos: técnica que consiste en la crianza y manejo de lombrices en condiciones de cautividad, con la finalidad de obtener productos como el humus para fertilizante de uso agrícola

Biogás: gas obtenido por la degradación anaeróbica de residuos orgánicos mediante bacterias, que se pueden utilizar como combustible

Polietileno: polímero preparado a partir de etileno, que se emplea en la fabricación de envases, tuberías y recubrimientos de cables

Biodigestor: contenedor hermético dentro del cual se deposita materia orgánica de diversos tipos con el fin de producir biogás

Prototipo: ejemplar original o primer molde en que se fabrica una figura u otra cosa

GEI: gases de efecto invernadero

Conceptos extraídos de RAE

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. P. Rincon, «Basuro de Navarro, Cali, Colombia,» Environmental Justice Atlas, 8 Abril 2014. [En línea]. Available: <https://www.ejatlas.org/conflict/basuro-de-navarro-cali-colombia>. [Último acceso: 21 Febrero 2020].
- [2] J. V. Muñoz, «El pais.com.co,» 18 Septiembre 2011. [En línea]. Available: <https://www.elpais.com.co/valle/que-esta-pasando-en-el-relleno-sanitario-de-yotoco.html>. [Último acceso: 21 Febrero 2020].
- [3] Alcaldía de Santiago de Cali, «Manual para la implementación del sistema de gestión integral de residuos sólidos orgánicos para grandes generadores,» 2019. [En línea]. Available: https://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/32970/plan_de_gestin_integral_de_residuos_slidos_pgirs/. [Último acceso: 21 Febrero 2020].
- [4] Universidad Javeriana Cali, *Registro generación de residuos*, Cali, 2020.
- [5] Pontificia universidad Javeriana Cali, «PORTAL DE PROCESOS - PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI,» Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://javerianacaliedu.sharepoint.com/sites/Sgc/SitePages/Inicio.aspx>. [Último acceso: 2020 mayo 2].
- [6] P. Claude E. Boyd, «Global Aquaculture Alliance,» 28 Marzo 2016. [En línea]. Available: <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/descomposicion-y-acumulacion-de-materia-organica-en-estanques/>. [Último acceso: 1 Mayo 2020].
- [7] AccuWeather, «El tiempo en Colombia- Cali valle del Cauca,» AccuWeather, 2020. [En línea]. Available: <https://www.accuweather.com/es/co/cali/111732/may-weather/111732>. [Último acceso: 30 04 2020].

- [8] L. M. Gladys Jaramillo, «Aprovechamiento de los residuos orgánicos en Colombia,» 2008. [En línea]. Available: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>. [Último acceso: 16 2020].
- [9] X. E. C. (. Cols), Aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales: Reciclaje de residuos industriales, Madrid: Díaz de Santos, 2012.
- [10] L.-S. R. T.-M. M. C.-d.-B. J. A. S.-F. J. C., «Aprovechamiento de residuos agroindustriales: Producción de biodiesel por transesterificación alcalina de aceite crudo de “almendras” de zapote mamey (*Pouteria sapota*),» *Tecnología, Ciencia, Educación*, vol. 24, n° 1, pp. 50-51, 2009.
- [11] KAFFEE FORM, «Coffee cups made from coffee grounds,» KAFFEE FORM, 2020. [En línea].
- [12] Á. F. Cabrera, *Metodología AHP y matriz de preferencias*, Cali, 2020.
- [13] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, *GUÍA TEÓRICO-PRÁCTICA SOBRE EL BIOGÁS Y LOS BIODIGESTORES*, Buenos Aires, Argentina.: Colección Documentos Técnicos N° 12. Buenos Aires. 104 pp., 2019.
- [14] V. Geese, V. Marchisio y R. Bisso, «Manual de uso del biodigestor,» Bioenergías Santa Fe, Santa Fe, 2019.
- [15] J. M. Herrero, *Biodigestores familiares guía de diseño y manual de instalación*, Cochabamba: Cooperación Bolivia Alemania, 2008.
- [16] Flaticon, «gota de agua,» [En línea]. Available: <https://www.flaticon.es/svg/static/icons/svg/1867/1867431.svg>.
- [17] freepik, «Tierra fértil,» 2018. [En línea]. Available: https://image.freepik.com/foto-gratis/tierra-fertil_38663-288.jpg.
- [18] I. Malovic, «Ilustración de dibujos animados de basura,» [En línea]. Available: <https://previews.123rf.com/images/igormalovic/igormalovic1604/igormalovic160400520/55349586-ilustraci%C3%B3n-de-dibujos-animados-de-basura.jpg>.
- [19] freepik, «freepik,» 2017. [En línea]. Available: https://www.freepik.es/vector-premium/fertilizante-organico-conceptual_2298775.htm.
- [20] pngtree, «pngtree,» [En línea]. Available: https://png.pngtree.com/png-clipart/20200224/original/pngtree-pest-control-service-vector-sanitation-cleaner-washing-pest-removal-exterminator-of-png-image_5204227.jpg.

- [21] Canstockphoto, «Methane Molecular Structure,» 8 9 2017. [En línea]. Available: <https://www.canstockphoto.com/methane-molecular-structure-50447699.html>.
- [22] Iconos, ilustraciones, fotos, música y herramientas de diseño, «Icono de CO2 estilo iOS,» [En línea]. Available: <https://iconos8.es/icon/rbeD1p7PbOib/co2>.
- [23] Ácido sulfhídrico, «Ácido sulfhídrico,» [En línea]. Available: <https://www.acidosulfurico.org/acido-sulfhidrico/>.
- [24] Isixsigma.com, «DMAIC Project Examples,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.isixsigma.com/tag/dmaic-project-examples/>. [Último acceso: 16 Agosto 2017].
- [25] International Six Sigma Institute, «Six Sigma DMAIC Process - Define Phase - Six Sigma Project Charter,» 2017. [En línea]. Available: http://www.sixsigma-institute.org/Six_Sigma_DMAIC_Process_Define_Phase_Six_Sigma_Project_Charter.php. [Último acceso: 15 Agosto 2017].
- [26] J. Evans, W. Lindsay, F. Sánchez Fragoso y G. Haaz Díaz, Administración y control de la calidad, México, DF.: CENGAGE learning, 2008.
- [27] F. García Córdoba, La tesis y el trabajo de tesis, México, DF.: Limusa, 2008.
- [28] IISE - Institute of Industrial and Systems Engineers, «Industrial Engineers Body of Knowledge,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.iise.org/details.aspx?id=43631>. [Último acceso: 15 Julio 2018].
- [29] T. Pyzdek y P. Keller, The Six sigma Handbook, United State of America: McGraw-Hill, 2010.
- [30] P. Grech, Introducción a la Ingeniería, un enfoque a través del diseño, Colombia: Pearson, 2013.
- [31] REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, «Diccionario,» REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/>. [Último acceso: 6 Junio 2020].

IX.ANEXOS

A continuación, se muestra la tabla de anexos correspondientes al desarrollo del proyecto.

TABLA XIV

ANEXOS

No. Anexo	Nombre	Desarrollo (propio o terceros)	Tipo de Archivo (PDF, HTLM, Excel, Word...)
1	2020108 - Anexo 1 PD1 Registro generación de residuos y encuesta.	Propio	Documento de Excel
2	2020108 - Anexo 2 PD1 Plan de Recolección de Datos actual	Propio	Documento de Excel
3	2020108 – Anexo 3 PD1 Análisis del entorno	Propio	Documento de Word
4	2020108 – Anexo 4 PD1 Matriz de decisión multicriterio AHP	Propio y Terceros	Documento de Excel
5	2020108 – Anexo 5 PD1 Cronograma para el PDT	Propio	Documento de Microsoft Project
6	2020108 – Anexo 6 PD2 Diseño con medidas de la alternativa	Propio	Documento de Word
7	2020108 – Anexo 7 PD2 Lista de materiales	Propio	Documento de Word
8	2020108 – Anexo 8 PD2 Cálculo para el tamaño del biodigestor	Propio	Documento de Word
9	2020108 – Anexo 9 PD2 Pruebas de hipótesis	Propio	Documento de Word
10	2020108 – Anexo 10 PD2 Análisis del impacto financiero	Propio	Documento de Excel
11	2020108 – Anexo 11 PD2 Dibujos de filtros y empaques	Propio	Documento de Word
12	2020108 – Anexo 12 PD2 Simulación del biodigestor	Propio	Documento de Excel