

OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO DURANTE DEL PROCESO DE
OBTENCIÓN DE ABONO ORGÁNICO PARA SUELOS A PARTIR DE RESIDUOS
DE MANGO APLICANDO LA HERRAMIENTA DE CALIDAD CAUSA Y EFECTO

CRISTINA CLAUDIA ISSA LANZA

MICROBIÓLOGA INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
BARRANQUILLA, COLOMBIA

2020

OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO DURANTE DEL PROCESO DE
OBTENCIÓN DE ABONO ORGÁNICO PARA SUELOS A PARTIR DE RESIDUOS
DE MANGO APLICANDO LA HERRAMIENTA DE CALIDAD CAUSA Y EFECTO

CRISTINA CLAUDIA ISSA LANZA

Microbióloga Industrial

Proyecto final del seminario especializado presentado(o) como requisito parcial
para optar al título de: Especialista en proceso de alimentos y biomateriales

Director (a):

Magister y Doctora Andrea Vásquez García

Ingeniera Agroindustrial

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Barranquilla, Colombia

2020

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Barranquilla, Octubre de 2020.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por ser siempre mi guía

A mi familia por todo su apoyo incondicional

A mis padres por demostrarme siempre que cuento con ellos.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS: Por siempre guiar mis pasos y ser mi protector.

MI ESPOSO: Por estar siempre a mi lado y brindarme todo su apoyo, comprensión, todo su amor y estar a mi lado en todo momento, por acompañarme en cada paso que doy y tener siempre una palabra de aliento para continuar

MIS HIJOS: Porque son mi mundo real, mi mayor motivación.

MIS PADRES: Por demostrarme siempre su amor a través de todo su apoyo. Por siempre aconsejarme e inculcarme siempre a ver todo con optimismo.

EMPRESA: Por el tiempo y apoyo para llevar a cabo este proyecto de grado.

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE GRAFICAS	10
GLOSARIO	11
RESUMEN	14
1. INTRODUCCION	18
ANTECEDENTES PRODUCCION MUNDIAL Y NACIONAL DE MANGO	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
JUSTIFICACION	26
2. OBJETIVOS	27
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	27
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	27
3. MARCO REFERENCIAL	28
3.1. MARCO TEORICO.....	28
3.1.1. Generalidades	28
3.1.1.1 Importancia del compostaje	30
3.1.1.2. Ventajas y desventajas del compostaje	31
3.1.2. Proceso de elaboración del abono orgánico	32
3.1.2.1. Recibo de materias primas	32
3.1.2.2. Almacenamiento de materias primas.....	33
3.1.2.3. Molienda	33
3.1.2.4. Mezcla y conformación	34
3.1.2.5. Humectación	34
3.1.2.6. Inoculación.....	34
3.1.2.7. Aireación	35
3.1.2.7.1. Control de procesos.....	35
3.1.2.8. Empaque y almacenamiento	35
3.1.3. Uso del programa COCO para la simulación del proceso de compostaje..	37
3.1.4. Herramientas estadísticas para la mejora de la calidad	37
3.1.4.1. Diagrama de flujo	37
3.1.4.2. Diagrama de causa y efecto	39
3.1.4.3. Check list o lista de verificación	40

3.1.4.4.	Histogramas.....	41
3.1.4.5.	Diagrama de Pareto.....	41
3.1.4.6.	Diagrama de dispersión.....	42
3.1.4.7.	Gráficos de control.....	42
4.	DISEÑO METOLÓGICO	44
4.1.	METODOS Y MATERIALES	44
4.1.1.	Aplicación de software COCO simulador en el diagrama de flujo para obtener datos del proceso	44
4.1.2.	Variables más influyentes en el proceso de elaboración del abono orgánico de suelos.....	45
4.1.3.	Aplicación de la herramienta de calidad: causa y efecto	47
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	51
5.1.	SIMULACION DEL PROCESO DE FERMENTACION POR ACCION DE MICROORGANISMOS APLICANDO EL SOFTWARE COCO	51
5.2.	OPTIMIZACION DEL PROCESO BIOTECNOLOGICO PARA LA ELABORACION DE ABONO ORGANICO DE SUELOS A PARTIR DEL RESIDUO DE MANGO REDUCIENDO EL TIEMPO DE SECADO	51
6.	CONCLUSIONES	56
	LISTA DE ANEXOS	58
	BIBLIOGRAFIA	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo para elaboración de abono orgánico o compostaje para suelos.

Figura 2. Representación de un diagrama de flujo básico.

Figura 3. Representación de un diagrama de causa-efecto.

Figura 4. Flujograma de proceso elaborado con el programa COCO simulator.

Figura 5. Modelos de palas removedores del compostaje etapa de aireación.

Figura 6. Espina de pescado aplicando la herramienta causa y efecto para la optimización.

Figura 7. Modelo ilustrativo de volteo automático de túnel.

Figura 8. Volteador de túnel mediante palas.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Producción mundial del mango de 2007 a 2017.

Tabla 2. Materias primas para elaboración del abono orgánico de suelo.

Tabla 3. Frecuencia de aireación durante el proceso.

Tabla 4. Representación de un check list o lista de chequeo.

Tabla 5. Comportamiento ideal de la temperatura y la humedad a diferentes tiempos de aireación.

Tabla 6. Diseño experimental en bloques completos aleatorizados.

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Representación de un histograma.

Grafica 2. Representación de un diagrama de Pareto.

Grafica 3. Representación de un diagrama de dispersión.

Grafica 4. Representación de un gráfico de control.

Grafica 5. Gráfica del diseño experimental en bloques completos aleatorios.

Grafica 6. Gráfica del diseño experimental en bloques completos aleatorios.

GLOSARIO

BIOPROCESO: Metodología específica que usa células vivas u otros componentes de las mismas como enzimas, organelas, entre otras para lograr la obtención de algún producto deseado para la industria o para beneficio del ser humano (GELAMBI, 2019).

BIOTECNOLOGÍA: conjunto de técnicas o procesos que utilizan organismos vivos para la transformación de los productos aportando beneficios (BIOTECNOLOGÍA, 2003).

BIOTECNOLOGIA ALIMENTARIA: Conjunto de técnicas o procesos que con el uso de organismos vivos o sustancias que provengan de ellos permiten producir o modificar un alimento, o desarrollar microorganismos que intervengan en procesos de elaboración de los mismos (BIOTECNOLOGÍA, 2003).

COMPOSTAJE: Proceso biológico aeróbico que por acción de los microorganismos degradan rápidamente la materia orgánica biodegradable (residuos de cosecha, excrementos de animales y residuos urbanos) del cual se obtiene un compost apto para su uso como abono en la agricultura (INFOAGRO, 2020)

DESPERDICIO: El desperdicio hace referencia a la pérdida que se presenta en la masa del alimento destinado al consumo humano que se presenta durante todas las fases de la cadena alimentaria desde la cosecha hasta el consumo final. Las

partes no comestibles que se eliminan en la cadena alimentaria no son consideradas desperdicio (FAO, 2014).

HERRAMIENTAS DE CALIDAD: conjunto de métodos utilizados para la organización y síntesis de información de datos, que facilitan la toma de decisiones y mejora la realización de las actividades con una utilidad notable (GARCIA & BARRASA, 2012).

HUMEDAD: cantidad de agua, vapor de agua u otro líquido presente en una superficie o interior de un cuerpo o en el aire.

MANGO: Es una fruta jugosa y fibrosa, posee un hueso interior. Su tamaño varía entre 5-20 cm de longitud, con un peso de 300-400 g, llegando algunas piezas a alcanzar más de un kilo. El sabor de la fruta madura es dulce y ácido cuando está verde. Es una de las frutas que a nivel comercial tiene un papel importante, debido a que por sus características sensoriales permite la elaboración de diversos productos, siendo la pulpa la parte más representativa de la fruta la más utilizada (MEDIA, 2019).

OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS: Disciplina para ajustar un proceso con el fin de mejorar un conjunto específico de parámetros sin violar restricciones, minimizando costos y maximizando la eficiencia.

POTENCIAL DE HIDROGENO: condición que indica el grado de acidez o basicidad de un alimento. Se mide en una escala de 0 a 14, donde 7 es un valor neutro.

RESIDUO AGROALIMENTARIO: Residuos son generados durante cada fase del procesamiento del alimento y de suministro así como también durante el consumo. A estos residuos se les puede dar uso para la elaboración de otros productos con uso en el campo agrícola (ZUDAIRE, 2009).

SUBPRODUCTO ALIMENTARIO: Sustancia resultante de un proceso alimentario que su fin no es la producción principal de este objeto. El subproducto es generado incidentalmente del proceso y tienen un valor comercial muy pequeño (EEA, 2020).

TEMPERATURA: magnitud referida a la noción de calor medible por un termómetro.

RESUMEN

Mangifera indica (mango) es uno de los frutos tropicales más finos. Es una de las frutas más importante desde el punto de vista comercial, gracias a que por sus excelentes características sensoriales se pueden obtener una serie de productos derivados, entre esos la pulpa y además aprovechar sus residuos durante el procesamiento. Es una fruta que se obtiene del árbol del mismo nombre. Tiene forma ovalada, con la piel no comestible y color variable de amarillo pálido a rojo intenso. La pulpa es pegajosa y su coloración también varía, desde amarillo a anaranjado. El sabor del mango maduro es dulce, y bastante ácido cuando aún está verde. Es una fruta jugosa y fibrosa, y poseen un hueso interior. Su tamaño varía entre 5-20 cm de longitud, con un peso de 300-400 g, llegando algunas piezas a alcanzar más de un kilo. La elaboración de subproductos o residuos agroindustrial se ha vuelto una problemática mundial, debido a que estos no tienen una disposición final adecuada, lo que contribuye al proceso de contaminación ambiental. Estos residuos agroindustriales tienen un alto potencial para ser utilizados en la elaboración de nuevos productos, aportar valor agregado a los productos y recuperar las condiciones ambientales alteradas. Estos productos son utilizados para la elaboración de compost, obtención de bioenergéticos, elaboración de productos para animales, entre otros usos. El uso de programas de simulación facilita los procesos al momento del desarrollo proceso en la industria.

Las herramientas de calidad usadas en la optimización de procesos son muy útiles y prácticas, ya que con estas podemos evaluar defectos y darle solución. Para el caso de la herramienta causa-efecto permite ver varios puntos como son la maquinaria, mano de obra, materia prima, medio ambiente y métodos de trabajo. Revisando las causas se puede lograr concluir cual es el efecto que se están teniendo sobre los procesos. Para la elaboración de compostaje los parámetros que se deben controlar son temperatura, humedad y tiempo de secado; para este último se evaluó la maquinaria y el método de elaboración por lo que se sugiere cambiar el volteo que actualmente se usa en el proceso por uno de volteo automático de túnel, el cual a diferencia del usado actualmente realiza una mezcla más homogénea de la materia prima permitiendo que el aire llegue a todas las áreas del residuo, además realiza una humectación con lixiviados de forma automática para mantener la humedad dentro de parámetros. El tiempo de secado de la materia prima antes de ser triturada pasa de 200 días a tan solo 40 días, logrando optimizar en más de un 100% el proceso, en cuanto a los parámetros se mantiene la humedad menor de 10%, temperaturas inferiores a los 50°C.

PALABRAS CLAVES: RESIDUOS AGROALIMENTARIOS, ACONDICIONADOR ORGÁNICO, DESPERDICIO, BIOPROCESO, OPTIMIZACIÓN, HERRAMIENTAS DE CALIDAD, TRANSFORMACIÓN.

ABSTRACT

Mangifera indica (mango) is one of the finest tropical fruits. It is one of the most important fruits from the commercial point of view, thanks to the fact that due to its excellent sensory characteristics, a series of derived products can be obtained, including the pulp and also take advantage of its residues during processing. It is a fruit that is obtained from the tree of the same name. It is oval in shape, with inedible skin and variable color from pale yellow to deep red. The pulp is sticky and its color also varies, from yellow to orange. The taste of ripe mango is sweet, and quite acidic when it is still green. It is a juicy and fibrous fruit, and they have an inner stone. Its size varies between 5-20 cm in length, with a weight of 300-400 g, some pieces reaching more than one kilo. The production of by-products or agro-industrial waste has become a global problem, because these do not have an adequate final disposal, which contributes to the process of environmental pollution. These agro-industrial residues have a high potential to be used in the elaboration of new products, add value to the products and recover the altered environmental conditions. These products are used to make compost, obtain bioenergetics, produce products for animals, among other uses. The use of simulation programs facilitates the processes at the time of process development in the industry.

The quality tools used in the optimization of processes are very useful and practical, since with them we can evaluate defects and give a solution. In the case of the cause-effect tool, it allows to see several points such as machinery, labor,

raw materials, environment and work methods. By reviewing the causes, it is possible to conclude what is the effect that is being had on the processes. For composting, the parameters to be controlled are temperature, humidity and drying time; For the latter, the machinery and the production method were evaluated, so it is suggested to change the turning currently used in the process for one of automatic tunnel turning, which, unlike the one currently used, makes a more homogeneous mixture of the material Premium allowing the air to reach all areas of the waste, it also performs a humidification with leachate automatically to keep the humidity within parameters. The drying time of the raw material before being crushed goes from 200 days to only 40 days, managing to optimize the process by more than 100%, in terms of parameters, humidity is kept below 10%, temperatures below 50 ° C.

KEYWORDS: AGRI-FOOD RESIDUES, ORGANIC CONDITIONER, WASTE, BIOPROCESS, OPTIMIZATION, QUALITY TOOLS, TRANSFORMATION.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

PRODUCCIÓN MUNDIAL Y NACIONAL DE MANGO (*Mangifera indica* L.)

De la fruta *Mangifera indica* L. (mango), se pueden obtener diferentes productos durante su proceso en industrias de alimentos, tales como: pulpa o jugo de mango, néctar de mango, salsas de frutas y cocteles con mango como ingrediente, mango deshidratado, vino de mango, entre otros productos (MURILLO, 2014). Siendo la pulpa de mango el producto básico obtenido de las frutas, que se pueden almacenar en frío durante períodos largos de tiempo, sin afectar sus propiedades organolépticas y sus datos nutricionales (FARIAS & ABUD, 2017).

En el 2017 la producción mundial de mango alcanzó 47,1 millones de toneladas con un aumento del 2% referente al año 2016. El mango representa el 75% del volumen de la producción total entre las frutas tropicales más comerciales. En términos generales el 74% de la producción mundial de mango proviene de Asia, el 15% de África y el 11% de América latina y el Caribe. La India para el 2017 alcanzó una producción de 18,5 millones de toneladas representando el 40% de la producción mundial, esta producción generalmente es destinada para consumo interno gracias a la gran demanda nacional y a los precios remunerativos de los productores. Estados Unidos tiene una participación del 31% de las importaciones mundiales, teniendo la Unión Europea una participación del 17%. En América latina México es el mayor exportador de mango hacia los Estados Unidos con un

23% de la producción, seguido de Brasil con 13%, Tailandia con 12% y Perú con 12%. En la tabla No 1 se observan los datos de la producción mundial de mango en 10 años, la cual ha tenido un incremento promedio del 3.48% total; siendo Asia el continente con el mayor promedio de crecimiento en producción del 4.68%, seguido por África con el 3.40% y en tercer lugar América latina y el caribe con el 2.41% (ver tabla No 1) (ALTENDORF, 2017).

PRODUCCIÓN DE MANGO												
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2007-2016 tasa de crecimiento
(miles de toneladas)												
Total mundial	35503	36397	35595	38067	40067	41707	43877	45210	45888	46141	47133	3.48
Asia	26313	27197	36278	28221	29669	31602	33364	34535	34269	34385	34897	3.68
África	4408	4612	4857	4966	5137	4952	4964	5370	6214	6128	7212	3.40
América latina y el Caribe	4716	4533	4414	4830	5219	5103	5503	5258	5361	5581	4977	2.41
India	13734	13997	12750	15027	15188	16196	18002	18431	18527	18779	18458	4.48
China	3715	3977	4140	4254	4430	4506	4645	4675	7945	4783	4870	4.97
Tailandia	2303	2374	2470	2551	2794	3296	3421	3598	3331	3701	3839	5.97
Indonesia	1819	2105	2243	1287	2131	2376	2193	2431	2179	1815	2239	1.42
México	1911	1717	1509	1633	1827	1761	1902	1755	2070	2197	1582	2.29
Pakistán	1719	1754	1728	1846	1888	1700	1659	1717	1636	1574	1525	-1.05
Egipto	532	466	534	506	598	787	713	927	1214	1260	1397	11.87
Bangladesh	767	803	828	1048	889	945	957	992	1018	1162	1156	3.76
Kenya	384	449	529	554	453	520	581	757	830	925	1025	9.05
Brasil	1272	1155	1198	1190	1249	1176	1163	1132	977	963	904	-2.45

Tabla 1. Producción mundial del mango de 2007 a 2017 (ALTENDORF, 2017)

La producción de mango en Colombia a partir del 2009 reportan 30 departamentos con 21.469 hectáreas de fruta sembradas al año, con un área cosechada de 18.118 hectáreas al año (ROJAS & BURBANO, 2011). Para el 2018 en Colombia

se incrementaron las áreas sembradas y exportación de mango, alcanzando las 262,000 toneladas de fruta cosechada (RURAL, 2018). Según el DANE para el 2019 la producción total en el país alcanzó las 281.980 toneladas, siendo Tolima el departamento mayor productor con el 28.95% en relación al total producido, seguido por el departamento de Cundinamarca con el 26.94%, en Atlántico se reportó con el 9.94%, Magdalena con el 7.83%, Córdoba con el 7.77% y Bolívar con el 6.76%. Los departamentos con menor producción fueron Antioquia, César, Huila, Cauca, Sucre, Valle del Cauca, La Guajira, Nariño, Santander, Norte de Santander, Boyacá, Caldas, Casanare y San Andrés y Providencia reuniendo entre estos 15 se da el 5.20% de la producción total (DANE, BOLETÍN MENSUAL Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA, 2019). El mango es una fruta rica en componentes bioactivos con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, como carotenoides, vitamina C y compuestos fenólicos (JAHIDUL ISLAM, 2019).

La generación de residuos en Colombia ha sido alta en los últimos años de los cuales el mayor porcentaje lo representa la industria de frutas y verduras, seguida por la industria procesadora de raíces y tubérculos, un tercer lugar lo ocupan los cereales, luego los cárnicos, granos, pescados y por último los productos lácteos. La mayoría de los residuos se generan durante la etapa productiva con una representación del 40,5% y es por la empresa agropecuaria, el 19,8% se pierde en poscosecha y almacenamiento y el 3,5% en el procesamiento industrial. La ciudad

con la mayor generación de residuos en Colombia es Bogotá representando con 7500 toneladas diarias por día, de lo cual solo se recicla el 14-15% (DNP, 2016).

La biotecnología ofrece una alternativa para el aprovechamiento de los residuos generados en las diferentes industrias de alimentos y así de esta manera reducir al máximo la cantidad de residuos generados y desperdiciados desde la cosecha hasta y durante el procesamiento de los productos (DOMINGUEZ, 2017).

La agricultura orgánica se ha practicado desde nuestros ancestros y en la actualidad mantenida por los productores a pequeña escala, ha surgido la necesidad disminuir el uso de productos por su incidencia en el medio ambiente y la sociedad, buscando alternativas confiables y sostenibles, es por ello que se crea la importancia del uso de un abono orgánico como opción sustentable, beneficiosa y económicamente amigable con el ambiente y la salud del ser humano (VITRIAGO & SÁNCHEZ, 2016). El mango es una fruta de un elevado poder nutricional debido a su alto contenido de fibra, vitaminas, antioxidantes, entre otros ingredientes. La parte más utilizada para consumo humano es la pulpa la cual es extraída bajo una serie de etapas, dependiendo de la variedad de mango, la cáscara puede constituir 15 a 18% del peso total del fruto y el hueso 13 a 29%, por lo que junto con la pulpa que queda adherida a estos, un importante volumen de desechos se generan en las plantas procesadoras (deshidratadoras y despulpadoras) de mango. Estas actividades industriales generan grandes cantidades de residuos orgánicos que se transforman en contaminantes del ambiente provocando daños al ecosistema. A pesar de estos efectos negativos, se

puede dar un uso positivo aprovechando estos subproductos en la elaboración de compostaje, siendo reutilizados como fuente de nutrientes para las plantas en la agricultura, si se les da un tratamiento adecuado (RUBIANO, CIRO, & ARISTIZABAL, 2019).

Los residuos de los procesos agroindustriales pueden ser aprovechados en la elaboración de abono orgánico o bien llamado compostaje que puede ser comercializado como fuente de materia orgánica para suelo siendo una alternativa económica y viable para su reutilización. En la política de gestión de residuos sólidos en Colombia se establece que aprovechar estos materiales se convierte en un componente importante en el marco del desarrollo ambiental del país. La fermentación del compost se debe iniciar al menor tiempo posible; sin embargo se ha logrado evidenciar que el compostaje elaborado por estos residuos presenta deficiencias de funcionamiento, ya que los procesos son poco adecuados y los productos obtenidos no cumplen en su mayoría con el criterio de calidad para su aplicación en el suelo presentando un riesgo para la productividad y la salud pública (GARCIA, DAZA, & MARMOLEJO, 2016).

El compostaje es un proceso microbiológico donde se produce la degradación de la materia orgánica de los residuos tratados por los microorganismos propios presentes en los residuos. La actividad de estos microorganismos depende de parámetros como temperatura, oxigenación o la humedad de las pilas, este último factor es clave para modular la actividad de los microorganismos ya que con poca humedad se ralentiza el metabolismo y con mucha se aumenta; también se ve

afectada la oxigenación de las pilas y en exceso se provoca la anaerobiosis siendo esta no deseada por tratarse de un proceso aeróbico. Se pueden manejar varias formas para mejorar o reducir la humedad en una pila de compost como lo son el volteo periódico o la adición de un estructurante que logre absorber el exceso de agua como lo es el serrín de madera. También existen otras formas de medir la humedad de una pila como lo son la prueba del puño, el método de secado a 100°C o la instalación de sensores remotos. Con la temperatura se conoce que hay actividad microbiana por lo que normalmente es un parámetro de control en la elaboración de compostaje, de igual manera está el controlar la humedad (TORROSA, 2018).

El uso de herramientas estadísticas de la calidad permite obtener una solución a los problemas de humedad de la materia prima, ya que con la aplicación de esta se puede evaluar la causa y el efecto sobre el problema, con el fin de reducir el tiempo de secado inicial del residuo de mango. En las pilas no se maneja una humedad homogénea en toda la materia prima por lo que se hace necesario la implementación de un método para lograr reducir ese tiempo y la materia prima se puede procesar con mayor frecuencia (ISSA, 2020).

El objetivo de este proyecto es reducir el tiempo de secado del residuo de mango a 40 días en las pilas con el fin de optimizar el proceso de elaboración del abono orgánico para suelos a partir del residuo de mango, reduciendo la humedad a un 10% aplicando la herramienta de calidad causa y efecto.

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

El mango es el fruto tropical con mayor producción e importación a nivel mundial. En el año 2017 los países con mayor producción y exportación de mango fueron India, China y Tailandia, ocupando México el 4º lugar. En la última década, el mercado ha crecido un 5% anual. En el año 2016, se comercializaron aproximadamente 1,8 millones de toneladas de mangos en todo el mundo. Sin embargo, menos del 4% de la producción mundial se vende en el mercado fresco internacional (ALTENDORF, 2017).

El mango se produce en 13 departamentos de Colombia. Los principales departamentos que producen mango son Cundinamarca, Tolima y Magdalena representan el 68% del total de área sembrada del país. Es importante recalcar que este sector, genera alrededor de 11.701 empleos directos. El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural prevé un aumento en la producción, áreas sembradas y exportaciones de mango en 2018, teniendo en cuenta la tendencia de crecimiento que viene presentando el sector en los últimos cuatro años. Por lo que se espera que, al terminar el año 2018, la cosecha esté rondando las 262 mil toneladas (RURAL, 2018).

En la industria de alimentos se generan 9.76 millones de toneladas de desperdicio agroalimentario al año, donde el sector de frutas y verduras corresponde al 48% de esta cantidad, siendo Bogotá la ciudad con la producción mayor de desechos en el país (DNP, 2016). Los residuos son aprovechados en la industria para la elaboración de subproductos de uso agrícola, los desperdicios ocasionan mermas

en la producción de un producto (ZUDAIRE, 2009). La cantidad de residuos generados en Colombia según el último estudio realizado por el DNP en 2016 se encuentran graficados en el punto No 2 (DNP, 2016). Se pierden 6 millones de toneladas de desperdicio al año en el sector agrícola, la mayor pérdida se presenta en los primeros eslabones de la cadena lo que indica que 3,95 millones de toneladas son descartadas en la producción agrícola y 3,5 en el almacenamiento y postcosecha. Para el 2030 el gobierno nacional de Colombia tiene proyectado reducir el desperdicio per cápita a 16.2 kg, para la directora de Abaco en el año 2018 la doctora Ana Catalina Suárez los problemas están relacionados directamente con la tecnificación del campo y fallas en el almacenamiento (BELEÑO, 2018). Una metodología de aprovechamiento de estos desperdicios es la elaboración de compostaje a partir de los residuos generados durante la elaboración de productos alimenticios, en este caso se aprovecha el residuo de proceso de mango para elaboración de abono orgánico de suelos optimizando su proceso para mejorar el tiempo de fabricación del compostaje. Durante el proceso de elaboración de abono orgánico ¿cuál es la variable a optimizar durante el secado de la materia prima para reducir la humedad en el proceso de elaboración de compostaje?

JUSTIFICACION

Los residuos de los procesos agroindustriales pueden ser aprovechados en la elaboración de abono orgánico o bien llamado compostaje que puede ser comercializado como fuente de materia orgánica para suelo siendo una alternativa económica y viable para su reutilización. La elaboración de abono orgánico a partir de residuos agroalimentarios contribuyen a la reducción de los residuos generados durante el procesamiento de los productos, con el uso del residuo de mango se reduce el desperdicio de este y se genera un subproducto que es aprovechado en la agricultura para futuras siembras de los productos. Para la elaboración del abono se llevan a cabo una serie de etapas en las cuales se controlan las variables de temperatura en rango de 50-70°C, humedad <60% y tiempo de secado de 200 días máximo. Con la aplicación de herramientas de la calidad se busca optimizar el tiempo el proceso de elaboración de abono orgánico, reduciendo la etapa de secado de la materia prima a tan solo 40 días con una humedad menor del 10% con el uso de la maquinaria adecuada para que el volteo de la pila sea homogéneo.

1. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Reducir el tiempo de secado de la materia prima durante del proceso de obtención de abono orgánico para suelos a partir de residuos de mango aplicando la herramienta de calidad de causa y efecto.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Aplicar herramientas de calidad para evaluar las variables que afectan el secado del producto.
- Plantear si es necesario el cambio de la maquinaria usada en la etapa de secado.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1. MARCO TEORICO

3.1.1. Generalidades

Mangifera indica L. (mango) es una fruta que se obtiene del árbol del mismo nombre, tiene forma ovalada, con la piel no comestible y color variable de amarillo pálido a rojo intenso. Es el cultivo frutal más importante en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. La pulpa es pegajosa y su coloración también varía, desde amarillo a anaranjado. El sabor del mango maduro es dulce y bastante ácido cuando aún está verde; es una fruta jugosa y fibrosa, posee un hueso interior y su tamaño varía entre 5-20 cm de longitud, con un peso de 300-400 g., llegando algunas piezas a alcanzar más de un kilogramo (Interempresas Media, 2018). Es una de las frutas que a nivel comercial tiene un papel importante, debido a que por sus características sensoriales permite la elaboración de diversos productos, siendo la pulpa la parte más representativa de la fruta más utilizada. Las características más importantes de la fruta son organolépticas, las físico químicas y las microbiológicas, siendo las organolépticas las que se refieren a las propiedades detectables por los órganos de los sentidos (FALQUEZ & UBILLA, 2010).

En Colombia en el año 2012 se produjeron 311.920 toneladas de mango, equivalentes al 0,6% de la producción mundial de ese año (UNAL., 2013) Para el año 2013 la producción de mango fue 261.794 toneladas de fruta

siendo Magdalena y Tolima los departamentos con mayor producción, seguidos por Cundinamarca, Antioquia y Atlántico (DANE, Boletín mensual insumos y factores asociados a la producción agropecuaria, DANE, 2015). Según el Plan Frutícola Nacional en el año 2019 la producción total de mango fue de 158000 toneladas y se espera que para el 2025 se cultiven 27500 hectáreas más de la fruta teniendo la mayor participación en 2 regiones principales del país con un 60% en el centro del país y el 40% en la región caribe (GÓMEZ & GUZMÁN, 2019).

Con los residuos agroindustriales se generan impactos positivos y negativos en el ambiente conllevando a la contaminación del medio y a las alteraciones adversas que afectan negativamente el desarrollo del ser humano. En los procesos productivos en la agroindustria se generan residuos durante las diferentes etapas del proceso productivo, los cuales muchas veces no tienen una disposición final adecuada logrando una problemática a nivel mundial y en cada región del país (VARGAS & PEREZ, 2018).

En la Costa Atlántica Colombiana la producción anual de mango alcanza las 180 mil toneladas de las cuales aproximadamente alrededor de 60-70 mil toneladas son para la producción de la pulpa empacada durante la temporada de abril a julio. El desperdicio que se genera de esta producción equivale al 35% del total de la producción de la pulpa de mango, los residuos generados actualmente son destinados a los sectores porcicultores y ganaderos por lo que se crea la necesidad de aprovechamiento de este

residuo elaborando un subproducto de este proceso para la elaboración de abono orgánico o compostaje para uso en los cultivos agrícolas (C. ISSA, 2020)

Los residuos sólidos compuestos por cáscara de mango, piedras, tallos, recortes y materiales fibrosos constituyen alrededor del 40-50% del total de residuos de frutas, de los cuales 12-15 por ciento son cáscara, 5-10 por ciento son residuos de pulpa y 15-20 por ciento son granos. La cáscara y la semilla de mango se denominan generalmente como desperdicio total y debido al proceso de transformación que se lleva a cabo por descomposición biológica de la materia orgánica se produce el compostaje o abono orgánico, se debe tener control sobre la humedad y la temperatura entre 50-70°C, lo que conlleva a eliminar elementos patógenos, siendo este un producto de gran uso como mejorador de suelo en la agricultura (YEPES, MONTOYA, & SÁNCHEZ, 2006).

3.1.1.1. Importancia del compostaje

El compostaje en los últimos tiempos se ha convertido en un producto muy demandado por su alta demanda de sustratos y variados, por la necesidad de proteger el medio, por problemas de importación de materiales, por la elevada producción de productos y derivados, por altos costos de vertederos y sistemas de tratamientos (GUTIERREZ, 2019).

3.1.1.2. Ventajas y desventajas del compostaje

Tal vez la principal ventaja del compostaje es que permite eliminar y reciclar de forma segura residuos orgánicos biodegradables para el uso como insumos en la producción agrícola y ayuda a evitar problemas de contaminación ambiental. Nos permite además recuperar y reciclar la materia orgánica para darle un segundo uso; reduce en gran cantidad los residuos sólidos que son depositados en vertederos y plantas de tratamientos; favorece la productividad de la tierra sin aplicación de productos químicos causando efecto de repercusión agro-biológica favorable a la tierra; mejora la estructura del suelo por ser un fertilizante 100% natural mejorando la erosión y aporta macronutrientes al suelo (GUTIERREZ, 2019).

Entre las desventajas que encontramos con el compostaje es la inversión en equipos e instalaciones adecuadas para su obtención. Se debe disponer de un terreno amplio de suelo para su elaboración; el clima también se vuelve un factor en contra ya que, si es temporada de lluvia o clima muy frío el proceso de acción microbiana se detiene (GUTIERREZ, 2019).

3.1.2. Proceso de elaboración del abono orgánico de suelo o compostaje

El proceso de compostaje se lleva a cabo por la descomposición biológica aeróbica, estabilización de sustratos orgánicos en condiciones que permitan el desarrollo de temperaturas termófilas entre 50 y 70°C, logrando la producción de calor por proceso biológico obteniendo al final un producto estable, libre de patógenos y semillas, con aplicaciones en el suelo como abono orgánico. Por acción de los microorganismos se consume el oxígeno produciendo dióxido de carbono, agua y calor (CAMPOS, ILLA, MAGRI, PALATSY, & SOLE, 2004). consta de las siguientes etapas:

3.1.2.1. Recibo de materias primas

Para la elaboración de este compostaje se pueden usar las siguientes materias primas:

MATERIAS PRIMAS	TRATAMIENTO
Pepa y Cascara de mango	Requiere Molienda
Cáscaras y residuos de plátano	
Lodos papeleros	No requiere Molienda
Cáscaras de maracuyá	
Semillas de guayaba	
Residuos de proceso de yuca	

Tabla 2. Materias primas para elaboración del abono orgánico de suelo (C. ISSA, 2020)

Las materias primas llegan a la planta de compostaje en vehículos transportadores dirigidos hasta las piscinas de almacenamiento, cuando se

usa lodo papelerero este no se almacena en las piscinas.

3.1.2.2. Almacenamiento de materias primas

La materia prima es depositada en las piscinas, las cuales están cubiertas y protegidas por geomembranas de PVC. La piscina en la base tiene un filtro en material de PVC y una membrana que permite el paso de los líquidos que se pueden generar durante el proceso de almacenamiento, los cuales son conducidos por una tubería en PVC hacia otra piscina donde son recogidos, estos líquidos reciben el nombre de lixiviados o efluentes. El tiempo de almacenamiento de esta materia prima es por un período de 200 días aproximadamente hasta que está completamente seca para su uso. Durante este tiempo de almacenamiento es cuando se da el volteo cada 6 días, con la máquina llamada Bobcat o conocida como pajarita la cual no alcanza a cubrir la totalidad del material depositado en las piscinas. Se toman muestras para medición de humedad, temperatura a diferentes tiempos durante el almacenamiento en las piscinas (C. ISSA, 2020).

3.1.2.3. Molienda

Luego de obtener la materia prima seca, se transporta en vagones desde las piscinas hasta la tolva de molienda, el transporte se hace por medio de los cargadores. El material es depositado inicialmente en una tolva que transporta el material por medio de tornillos sin fin por una serie de bandas transportadoras, pasando por un detector de metales, hasta unos molinos

con cuchillas, obteniendo un producto homogéneo con partículas de tamaños entre 3 a 3,5 cm (C. ISSA, 2020).

3.1.2.4. Mezcla y conformación

Luego de la molienda de la materia prima, esta se transporta en vagones hacia el invernadero depositando en la pila y ciclo correspondiente, se agrega 10,5 toneladas de producto por nave. Se realiza luego la mezcla, manteniendo una proporción 90:10, lo que indica 90% de la pepa molida y 10% de los otros materiales. La conformación se hace con el primer pase de la aireadora (C. ISSA, 2020).

3.1.2.5. Humectación

El riego se realiza por aspersion con agua de la piscina de lixiviados o también se puede usar agua de un pozo profundo; se riega por espacio de 1 hora diaria por cuatro días, manteniendo una humedad del 60% en los primeros 15 días, no se debe exceder este porcentaje ya que se genera retraso en el proceso (C. ISSA, 2020).

3.1.2.6. Inoculación

Luego que está conformada y humectada la pila, se inocula el microorganismo MBE. Se usan dosis de 1 litro de MBE en 39 L de agua; de esta solución aplicar 3 litros por tonelada de materiales. Se debe garantizar que la aplicación humecte de manera homogénea las materias primas (C. ISSA, 2020).

3.1.2.7. Aireación

Paso fundamental para que se genere el intercambio de O₂ por CO₂ principalmente, lo cual es importante para el proceso de biotransformación oxidativa. Para realizar la aireación se utiliza un equipo llamado Aireadora que se encarga de remover el producto de la pila, con el fin de incorporar el oxígeno necesario al proceso de compostaje. Las aireaciones se realizan en la frecuencia expuesta en la tabla No 3, teniendo en cuenta que desde la primera aireación se inicia el proceso de compostaje.

SEMANA	FRECUENCIA
Primera	5 veces
Segunda	3 veces
Tercera	3 veces
Cuarta	2 veces

Tabla No 3. Frecuencia de aireación durante el proceso (C. ISSA, 2020)

3.1.2.7.1. Control de proceso

A partir de la primera aireación realizada se inicia el seguimiento de control y monitoreo de la temperatura y la humedad en cada ciclo correspondiente, esta medición se realiza cada 2 días (C. ISSA, 2020).

3.1.2.8. Empaque y Almacenamiento

El producto ya terminado es tamizado para obtener un producto de tamaño homogéneo y luego empacado en sacos por 40 kg cada uno (C. ISSA, 2020).

En la figura No 1 se evidencia el diagrama de flujo del proceso de elaboración del compostaje o abono orgánico para suelos.

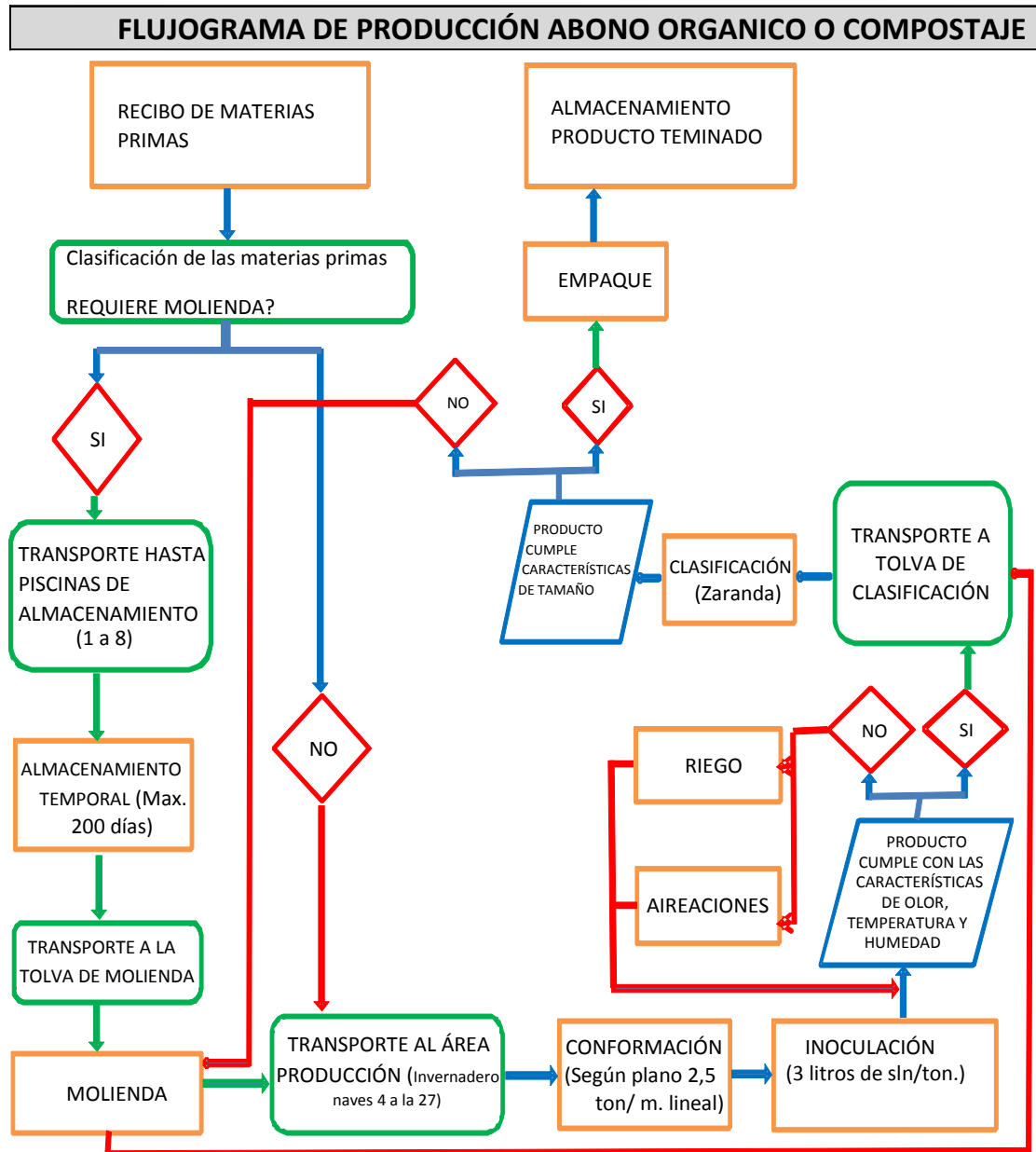


Figura No 1. Diagrama de flujo para elaboración de abono orgánico o

compostaje para suelos (C. ISSA, 2020)

3.1.3. Uso del programa COCO para la simulación del proceso de compostaje

Los softwares usados en la simulación de procesos industriales son una oportunidad para revisar, simular, ajustar parámetros, facilitando simular la secuencia de eventos y procesos previos al proceso productivo en campo (MILLA, 2016).

3.1.4. Herramientas estadísticas para la mejora de la calidad

Las herramientas de la mejora de la calidad son un conjunto de métodos utilizados para la organización y síntesis de información de datos, que facilitan la toma de decisiones y mejora la realización de las actividades con una utilidad notable (GARCIA & BARRASA, 2012). El personaje más influyente en el desarrollo de estas herramientas para la implementación de la mejora continua de las organizaciones a Kaoru Ishikawa, quien recopiló algunas como “las siete herramientas de la calidad” las cuales recopiló para dotar a los operarios japoneses con armas apropiadas y luchar contra los problemas que afectaban la calidad en las empresas. Las siete herramientas recopiladas son las siguientes (RUIZ.FALCÓ, 2009):

3.1.4.1. Diagrama de flujo: herramienta útil para presentar un proceso y

entenderlo perfectamente. Hay diferentes técnicas para realizarlos, lo más recomendable es utilizar un diagrama simple y con una paleta de símbolos reducida, que facilite la interpretación de todo el personal. Se pueden emplear 3 tipos de diagramas (RUIZ.FALCÓ, 2009):

- a. Diagrama de alto nivel: centran el proceso en un contexto.
- b. Diagrama de despliegue: califican responsabilidades, definen entradas y salidas de cada uno de los pasos del proceso.
- c. Diagramas básicos: describen con detalle una actividad para determinar posible errores, describir pautas de actuación, entre otras.

En la figura 2 se muestra un ejemplo de un diagrama de flujo básico.

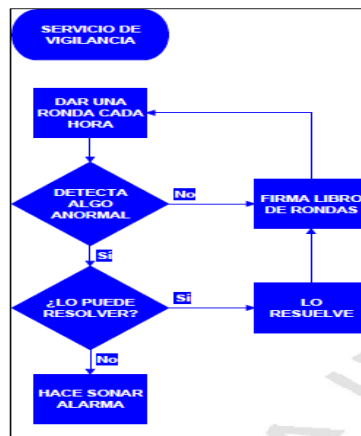


Figura 2. Representación de un diagrama de flujo básico (RUIZ.FALCÓ, 2009).

3.1.4.2. Diagrama de causa-efecto, de pez o de Ishikawa: es utilizada para relacionar los efectos con las causas que los producen. Este funciona donde los participantes aportan ideas sobre las posibles causas que pueden producir los efectos que esté generando el problema, estas ideas se organizan en el diagrama. Luego de terminar la recopilación, se organizan de manera jerárquica eliminando las repetidas. Para organizar la información se tienen en cuenta las causas sobre las “M”, relacionadas a continuación (RUIZ.FALCÓ, 2009):

- Maquina
- Materia prima
- Método de trabajo
- Mano de obra
- Medio ambiente

En la figura 3 se puede apreciar un esquema como ejemplo del diagrama Causa-efecto.

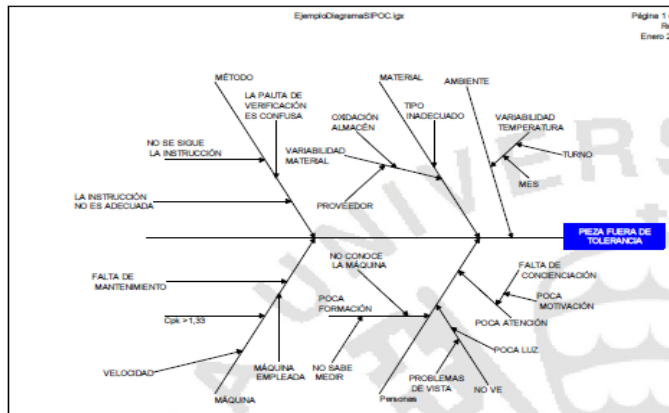


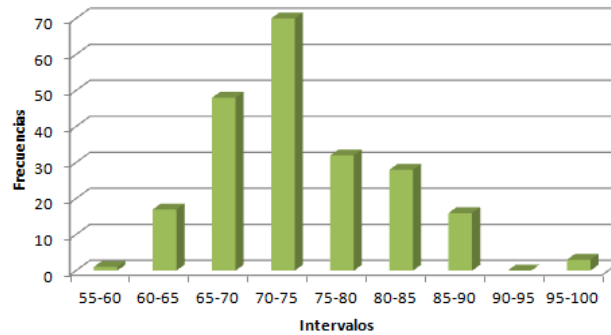
Figura 3. Representación de un diagrama de causa-efecto (RUIZ.FALCÓ, 2009)

3.1.4.3. Check list o lista de verificación: es una herramienta diseñada para evitar olvidos y estar seguros que las cosas se hacen de acuerdo a un procedimiento rutinario. Una forma de aplicar esta herramienta es con el uso de un formulario adecuado que facilite la recopilación de los datos para después analizarlos. En tabla 4 se muestra un ejemplo de esta herramienta (RUIZ.FALCÓ, 2009).

TIPO DE DEFECTO	0-5	6-10	11-15	16-20	TOTAL
Arañazos en el tablero	III	III	II		12
Falta cantonera	III				3
Color diferente	III				5
Patas dobladas	II				2
Arañazos en estructura y patas	III	I			6

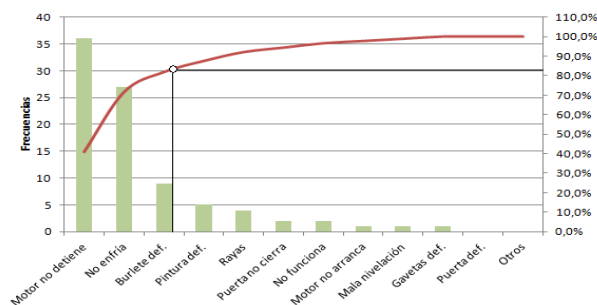
Tabla 4. Representación de un check list o lista de chequeo (RUIZ.FALCÓ, 2009)

3.1.4.4. Histogramas: Herramienta que permite visualizar una tabla de datos que muestra el aspecto de su distribución, se puede presentar colocando en las ordenadas las frecuencias absolutas y las frecuencias relativas. En la gráfica 1 se muestra un ejemplo de esta variable (RUIZ.FALCÓ, 2009).



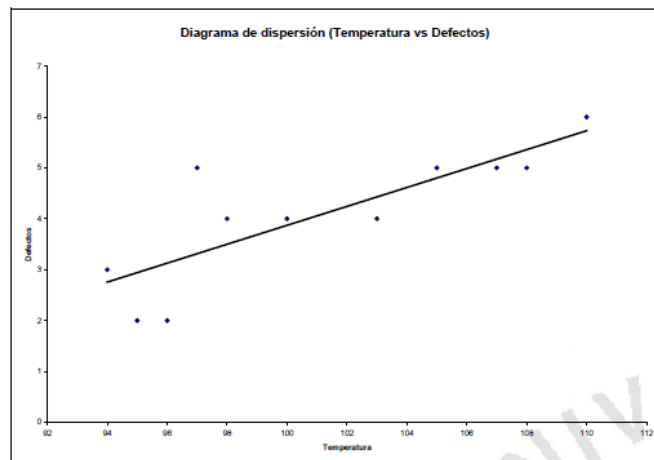
Grafica 1. Representación de un histograma (SALAZAR, 2020)

3.1.4.5. Diagrama de Pareto: este principio asegura que el 80% de los problemas se producen por un 20% de las causas, entonces lo necesario es localizar y eliminar las pocas causas que generan los problemas. Este es un diagrama en el que se ordenan cada una de las clases o elementos de mayor a menor frecuencia de aparición. En la gráfica 2 se aprecia un ejemplo de la representación de un diagrama de Pareto (RUIZ.FALCÓ, 2009).



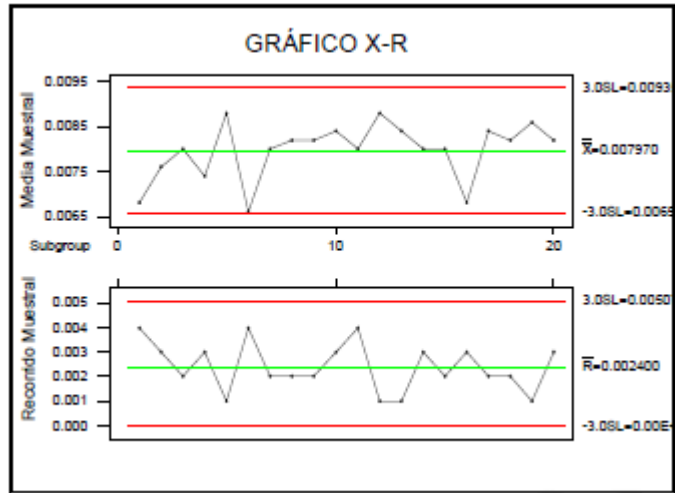
Grafica 2. Representación de un diagrama de Pareto (SALAZAR, 2020)

3.1.4.6. Diagrama de dispersión: en esta herramienta se representan pares de valores para visualizar la correlación que hay entre ambos, los datos pueden ser analizados estadísticamente por procedimientos más sofisticados pero con la imagen visual se puede orientar el problema. La correlación no implica casualidad. En la gráfica 3 se muestra un ejemplo del diagrama de dispersión (RUIZ.FALCÓ, 2009).



Grafica 3. Representación de un diagrama de dispersión (RUIZ.FALCÓ, 2009)

3.1.4.7. Gráficos de control: son gráficos donde se registran valores sucesivos de la característica de la calidad estudiada, registrados durante el proceso de elaboración prestación del producto o servicio. El grafico está compuesto por una línea central indicando el promedio histórico y dos límites de control. En la gráfica 4 se muestra un ejemplo de esta herramienta (SALAZAR, 2020).



Grafica 4. Representación de un gráfico de control (SALAZAR, 2020)

El flujograma expuesto en la figura 4 es realizado con el programa COCO, este funciona para validar procesos antes de desarrollar el producto en una planta, con este se puede además realizar los ajustes necesarios previos al desarrollo del producto. Las etapas han sido descritas en la figura 1 en el cual se puede ver detalladamente como se obtiene el abono orgánico de suelo, de acuerdo a las especificaciones descritas en las diferentes etapas (C. ISSA, 2020). En la figura 4 se muestran las corrientes de entrada y salida, además las variables aplicadas durante la simulación.

4.1.2. Variables más influyentes en el proceso de elaboración del abono orgánico de suelos

Las variables más importantes durante el proceso de elaboración de abono orgánico de suelo son: temperatura, humedad y tiempo, las cuales son controladas durante 5 semanas luego de la etapa de aireación del producto, variables fundamentales para la obtención del compostaje. En la tabla No 1 se relaciona evidencia un ejemplo del control de estas variables durante el proceso de elaboración del abono, donde se puede observar el comportamiento ideal de la temperatura y la humedad a diferentes tiempos de aireación. Durante la etapa de aireación se realiza la mezcla del material en proceso con un equipo llamado aireadora encargada de remover el producto de la pila formada incorporando el oxígeno necesario durante el proceso, se realiza con el fin de generar el intercambio de O_2 por CO_2 principalmente base fundamental para el proceso de

biotransformación oxidativa (C. ISSA, 2020). A continuación se relacionan las frecuencias de aireación y en la tabla 5 se visualiza el comportamiento ideal de la temperatura y la humedad a diferentes tiempos de aireación:

Frecuencias de aireación:

- Semana 1: 5 veces
- Semana 2: 3 veces
- Semana 3: 3 veces
- Semana 4: 4 veces

Semana	Temperatura	Humedad
Semana 1	80 °C	60%
Semana 2	60 °C	60%
Semana 3	40 °C	40%
Semana 4	30 °C	30%
Semana 5	30 °C	30%

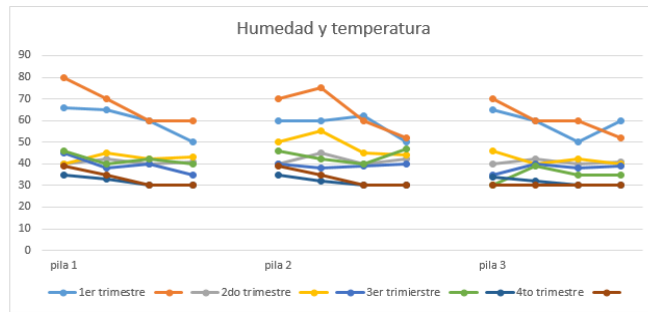
Tabla 5. Comportamiento ideal de la temperatura y la humedad a diferentes tiempos de aireación (C. ISSA, 2020)

4.1.3 Aplicación de la herramienta de calidad: causa y efecto

Durante el proceso actual se realizó un seguimiento periódico de las variables como temperatura, humedad y espacio libre del aire aplicando el método de diseño experimental en bloques completos aleatorizados. Se seleccionaron 3 zonas diferentes de 3 pilas o piscinas para realizar el secado y obtener los resultados de las variables a medir. Se realiza con la técnica del volteo, obteniendo resultados inestables en las diferentes pilas, ocasionando que el tiempo de duración de secado sea de 200 días con la mezclas de biorresiduos como son 10.5 toneladas de mango picado, 1.05 de tonelada de lodo papelerero por pila y con compost maduro de diferentes materiales (yuca, semilla, cascar de plátano) estableciendo la humedad inicial en los tratamientos. Ver datos del diseño experimental en la tabla 6 (C. ISSA, 2020).

# pila	Humedad	1er trimestre		2do trimestre		3er trimestre		4to trimestre	
		temperatura	Humedad	temperatura	Humedad	temperatura	Humedad	temperatura	Humedad
pila 1	66	80	40	40	45	46	35	39	
	65	70	42	45	38	40	33	35	
	60	60	40	42	40	42	30	30	
	50	60	41	43	35	40	30	30	
pila 2	60	70	40	50	40	46	35	39	
	60	75	45	55	38	42	32	35	
	62	60	40	45	39	40	30	30	
	50	52	42	44	40	47	30	30	
pila 3	65	70	40	46	35	30	34	30	
	60	60	42	40	40	39	32	30	
	50	60	40	42	38	35	30	30	
	60	52	41	40	39	35	30	30	
promedio	59	64	41	44	38	40	31	32	

Tabla 6. Diseño experimental en bloques completos aleatorizados (C. ISSA, 2020)



Grafica 6. Gráfica del diseño experimental en bloques completos aleatorios (C. ISSA, 2020)

Al observar en la gráfica 6 podemos decir que con el equipo que actualmente se están realizando los volteos de las pilas no está funcionando de la forma esperada dejando sin aire por varias zonas de las pilas, conllevando a realizar un reproceso en la etapa de secado y peor aún el producto no cumple con las características necesarias (C. ISSA, 2020).

El método de volteo actual se da por pequeñas zonas de las piscinas ya que esta etapa no está automatizada y se depende de la manipulación y experiencia del operador para llegar a la mayoría de las zonas de las piscinas lo que ocasiona que en algunas zonas no se oxigenen logrando así que el tiempo de secado en estas es mayor, con una humedad que se mantiene alta durante el tiempo de secado. Los modelos usados actualmente para el volteo se aprecian en la figura 5.



Figura 5. Modelos de palas removedores del compostaje etapa de aireación (C. ISSA, 2020)

Al momento del volteo el personal u operario de la maquina se limita a realizar el volteo sin verificar el estado final de cada una de las pilas, la persona informa que la verificación la realiza el coordinador más tarde quien no alcanza a verificar por completo el material en la etapa de secado, tomando solamente una muestras aleatorias. Con este tipo de maquinaria se debe tener más control en la operación aumentando la mano de obra para que se pueda hacer la verificación por pila en el tiempo establecido (C. ISSA, 2020).

Los materiales utilizados son las materias de abonos madurados, se prepara una dosis de inocular de microorganismos MBE adicionando 1L en 39L de agua, con esta solución se inoculan 3 L por tonelada de materia prima disponible. Con esta adiciones se busca obtener la humedad deseada y se aplica cada vez que los parámetros sales de rango. Se pudo detectar que este reproceso se realizó varias veces ya que la humedad no era homogénea en las pilas incumpliendo las especificaciones para humedad, lo que produjo que la temperatura aumentara hasta 70°C siendo que su rango es de 50 a 60°Cpor , lo que ocasionaría la combustión y no descomposición conllevando a la muerte de los microorganismos y se estanca el proceso de elaboración de compostaje, la humedad debe ser de 30% y la temperatura 30°C (C. ISSA, 2020).

Se recopiló la información luego de analizar cada etapa en el diagrama de Causa-efecto utilizando la espina de pescado para analizar y mejorar el proceso en la etapa de secado (C. ISSA, 2020). Ver figura 6 donde se muestra la espina de pescado con el desarrollo de las causas sobre el efecto principal que es el tiempo de secado reduciendo de esta manera la humedad.

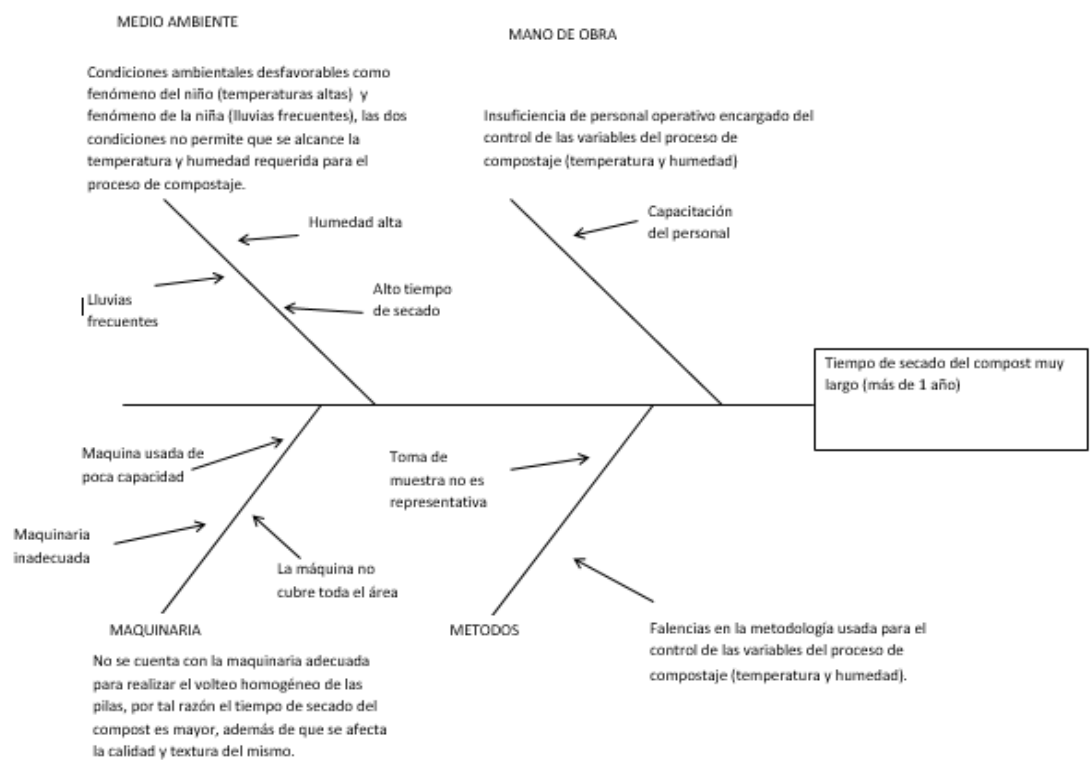


Figura 6. Espina de pescado aplicando la herramienta causa y efecto para la optimización (C. ISSA, 2020)

5. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

5.1. SIMULACIÓN DE PROCESO DE FERMENTACIÓN POR ACCIÓN DE MICROORGANISMOS APLICANDO EL SOFTWARE COCO SIMULATOR

Luego de realizar la corrida del programa con el flujograma completo no se logra obtener el resultado de la simulación del proceso de elaboración del abono orgánico con el programa COCO, ya que los componentes que ofrece este programa son diferentes a los que se necesitan para la simulación de este tipo de procesos de fermentación por microorganismos (C. ISSA, 2020).

5.2. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO BIOTECNOLÓGICO PARA LA ELABORACIÓN DE ABONO ORGÁNICO DE SUELOS A PARTIR DEL RESIDUO DE MANGO REDUCIENDO EL TIEMPO DE SECADO

De acuerdo a la aplicación de la herramienta de calidad diagrama causa-efecto se concluye que la optimización del proceso mencionado anteriormente se basa en mejorar o reducir el tiempo de secado de la materia prima para obtener la humedad optima en la etapa de secado en las albercas. El compostaje se da por acción de diferentes microorganismos aerobios que actúan sobre la materia orgánica produciendo temperaturas altas, reducción del volumen y peso de los residuos, provocan humificación y oscurecimiento. Se deben controlar diferentes factores para que se lleve a cabo la correcta proliferación microbiana y la adecuada mineralización de la materia orgánica, se presentan además procesos naturales no controlados que conllevan a una anaerobiosis acusada.

Por ser reacciones de ciclos biológicos debido a los microorganismos que intervienen, el compostaje requiere un tiempo mínimo para que se obtenga un producto final útil como fertilizante y no dejar que transcurra espontáneamente sino que se deben controlar las variables necesarias garantizando que un corto tiempo y a bajos costos se dé la terminación total del proceso. las variables a controlar se pueden clasificar en dos categorías, las de seguimiento como temperatura, pH, aireación y espacio de aire libre; como también los parámetros de la naturaleza del sustrato controlados desde el inicio del proceso como son tamaño de partícula, nutrientes, naturaleza del sustrato y conductividad eléctrica (BUENO, DIAZ, & CABRERA, 2017).

El desarrollo de este proyecto se basa en la optimización de la humedad para reducir el tiempo de secado de la materia prima desde la etapa de secado (C. ISSA, 2020). Se consiguen diferentes métodos para la aireación del abono con el fin de obtener un producto con buena calidad al final de la operación, la alternativa planteada es realizar una aeración uniforme en el área total de la piscina de secado y lograr así uniformidad para un secado más rápido. Actualmente esta actividad de volteo se realiza con la ayuda de un equipo llamado o conocido como pala cargadora, siendo este una limitante para que las variables a controlar sean determinadas de igual manera en el total de la piscina o pila, por lo tanto el tiempo de secado se da en un periodo de 200, días lo que hace que el proceso de obtención final sea más lento. Además no se logran obtener las variables indicadas de la humedad, la temperatura y consecuentemente un producto de alta calidad, el cual se debe lograr en el

menor de los tiempos establecidos y al no lograrlo se genera un aumento en los costos de la operación y obteniendo un producto con características muy diferentes que aunque no son malas no es un producto de la mejor calidad y sin entrar a competir en el mercado (BUENO, DIAZ, & CABRERA, 2017).

Uno de las desventajas de la zona es la ubicación, ya que la temperatura y la humedad oscilan en un promedio alto por las condiciones geográficas como se puede observar en los datos tomados de CIOH Oceanografía Operacional mostrados en el anexo 9. La humedad relativa por La cercanía al mar, la ubicación a orillas del río Magdalena, la zona del Parque Natural Nacional Isla Salamanca, los humedales del delta de la desembocadura del río Magdalena, hace que esta zona tenga bastante humedad, pero esta humedad es modificada por los vientos secantes y la empujan hacia el interior de la región para producir abundantes lluvias en Durante el proceso se realizó seguimiento periódico de las variables temperatura, humedad y espacio libre del aire por medio el método diseño experimental de bloques completos aleatorizados. Se toman 3 pilas o piscinas en diferentes sectores y se comienza a realizar el secado para obtener los resultado de las variables a medir, esto se realiza con la técnica de volteo como se encuentra establecido en el procedimiento, obteniendo como resultados inestables en las diferentes pilas observando la duración de 4 trimestre para obtener los resultados deseados, en la mezclas de biorresiduos como son 10.5 toneladas de mango picado, 1.05 de tonelada de lodo papelero por pila y con compost maduro de diferentes materiales (yuca, semilla, cascar de plátano) estableciendo la humedad inicial en los tratamientos.

En la figura 7 y 8 se propone una metodología como posible alternativa de solución ya que, en la actualidad el compostaje está siendo colocado en pilas en naves cubiertas para reutilizar los lixiviados y con la lluvia controlar la humedad, se propone una alternativa con volteo automático, trabajando de la siguiente manera: el equipo es un dispositivo que se desplaza por unos carriles en línea recta en una pista planas donde previamente se han colocado las mezclas a compostar. A medida que se desplaza el equipo van girando unas palas giratorias en su eje (ubicado transversalmente en la pista) de tal forma que logre la mezcla uniformemente de todo el producto a compostar avanzando levemente hacia el final de la pista en cada volteo. Siendo así, encontramos que en la parte delantera se ubica la última mezcla y al final la mezcla lista para trituración. Con la automatización del proceso de aireación y secado el tiempo se reduce a 40 días solamente logrando un producto terminado en menor tiempo que lo actualmente instalado. Además se consigue una calidad superior del compostaje que el preparado con volteo de pala. La humedad se mantiene por debajo de 10% y la temperatura no supera los 50°C (ANDALUCIA, 2018).

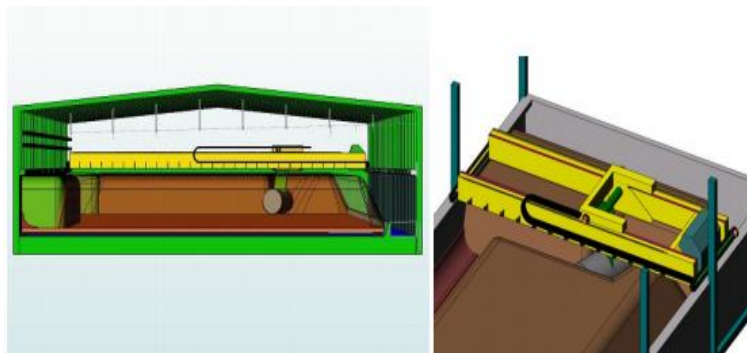


Figura 7. Modelo ilustrativo de volteo automático de túnel (ANDALUCIA, 2018)



Figura 8. Volteador de túnel mediante palas (ANDALUCIA, 2018)

6. CONCLUSIONES

- El acondicionador orgánico de suelo puede ser usado en la agricultura convencional, agricultura orgánica y reforestación (vivero y campo), para el mejoramiento de los potreros y cultivos de ciclo largo como el de la Palma Africana y frutales. La dosificación puede ser entre 2 y 10 toneladas/hectárea aunque su aplicación no presenta contraindicaciones por exceso de aplicación. Su dosificación está relacionada con el % de materia orgánica en el suelo.
- El compostaje es un proceso controlado de biotransformación, realizado por microorganismos que en presencia de humedad, a temperatura adecuada y bajo condiciones aeróbicas, utilizan los nutrientes que están contenidos en el material a transformar.
- La calidad va ligada a satisfacción del cliente, lo que permite realizar mejoras durante los procesos con el uso de herramientas que permiten el mejoramiento continuo e implementar estrategias en busca de soluciones de acuerdo a la necesidad de cada proceso.
- La alternativa que se plantea del volteador automático de túnel permite que la mezcla en la etapa de aireación sea uniforme logrando que la humedad sea menor de 10%, temperaturas por debajo de 50°C y lo más importante reducir el tiempo de secado a solo 40 días. Por lo que la viabilidad de este

proyecto está en la eficiencia de su proceso al obtener el abono orgánico de suelo en un tiempo menor del obtenido actualmente. Con la maquinaria recomendada se lograría reducir en más del 100% los días de secado de la materia prima, logrando obtener un producto con calidad y que cumpla con los parámetros establecidos para las diferentes variables del proceso. Con los equipos sugeridos además, se logrará tener menor manipulación del operador o trabajador siendo el volteo más homogéneo logrando llegar a toda el área de la materia prima. Con la aplicación de este proyecto además se recupera gran parte del residuo de mango transformándolo en un producto apto para aplicación en la agricultura.

Bibliografía

- ALTENDORF, S. (2017). *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. Retrieved from http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Tropical_Fruits/Documents/Tropical_Fruits_Spanish2017.pdf
- ANDALUCIA, J. (2018). *Biblioteca de Junta de Andalucía*. Retrieved from https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/equipos_y_maquinaria.pdf
- BELEÑO, I. (2018, Marzo 27). *Agro Negocios*. Retrieved Octubre 14, 2020, from <https://www.agronegocios.co/agricultura/en-el-sector-agricola-se-pierden-6-millones-de-toneladas-de-alimentos-al-ano-2706145>
- BIOTECNOLOGÍA, S. E. (2003). *Biotecnología y Alimentos*. España: Sebiot.
- BUENO, P., DIAZ, M., & CABRERA, F. (2017). *DIGITAL.CSIC - Repositorio institucional del Consejo Superior de Investigaciones Científicas*. Retrieved Octubre 7, 2020, from <https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>
- C. ISSA, P. (2020, Septiembre). *Elaboración abono orgánico*. Barranquilla, Colombia Barranquilla, Colombia.
- CAMPOS, E., ILLA, J., MAGRI, A., PALATSY, J., & SOLE, F. (2004, Diciembre 3). *Agencia de Residuos de Cataluña*. Retrieved from http://www.arc-cat.net/es/altres/purins/guia/pdf/guia_dejeccions.pdf
- DANE. (2015, Enero). *Boletín mensual insumos y factores asociados a la producción agropecuaria, DANE*. Retrieved from https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos31_ene_2015.pdf
- DANE. (2019, Febrero). *BOLETÍN MENSUAL Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA*. Retrieved from https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_feb_2019.pdf
- DNP, D. N. (2016, Marzo 28). *Departamento Nacional de Planeación*. Retrieved from <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Colombianos-botan-9,76-millones-de-toneladas-de-comida-al-a%C3%B1o.aspx>
- DOMINGUEZ, J. (2017). *Aplicaciones de la Biotecnología en la Industria Agroalimentaria. Revista Vasca de Economía*, 156 - 171.
- EEA, D. D. (2020, Junio 22). *Legislación de la Unión Europea sobre gestión de Residuos*. Retrieved from Diario Oficial de la Unión Europea: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=LEGISSUM%3Aev0010>

- FALQUEZ, S., & UBILLA, J. (2010, Febrero). *Proyecto de Factibilidad de Empresa Comercializadora de Pulpa de Mango*. Santiago, Guayaquil, Ecuador: Universidad Católica de Santaiaigo de Guayaquil.
- FAO, O. d. (2014, Junio). *Organización de las Naciones Unidas*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i3901s.pdf>
- FARIAS, C. D., & ABUD, A. D. (2017). Tropical Fruit Pulp: Processing, Product Standardization and Main Control Parameters for Quality Assurance. *BRAZILIAN ARCHIVES OF BIOLOGY AND TECHNOLOGY AN INTERNATIONAL JOURNAL*, 1-19.
- GARCIA, G., DAZA, M., & MARMOLEJO, L. (2016). Evaluación de la adecuación de humedad en el compostaje de biorresiduos de origen municipal en la Planta de Manejo de Residuos Sólidos (PMRS) del Municipio de Versalles, Valle del Cauca. *Gestión y Ambiente del repositorio de Universidad Nacional de Colombia*, 179-191.
- GARCIA, J., & BARRASA, J. (2012, Octubre). *Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud, España*. Retrieved from <http://www.ics-aragon.com/cursos/iacs/101/tema-1.pdf>
- GELAMBI, M. (2019, Septiembre). *Lifeder*. Retrieved from <https://www.lifeder.com/bioprosesos/>
- GÓMEZ, G., & GUZMÁN, O. (2019, Junio 27). *Repositorio Universidad Libre de Barranquilla*. Retrieved from <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17819/8641709.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- GUTIERREZ, A. (2019, Octubre 14). *Fertibox Análisis Agrícolas*. Retrieved Octubre 15, 2020, from <https://www.fertibox.net/single-post/ventajas-compost>
- INFOAGRO. (2020). *InfoAgro*. Retrieved Octubre 14, 2020, from <https://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>
- ISSA, C. (2020). *Fuente propia*. Barranquilla.
- JAHIDUL ISLAM, Y. K. (2019). Effects and Mechanisms of Antioxidant-Rich Functional Beverages on Disease Prevention. *Scienci Direct*.
- MEDIA, I. (2019). *Revista Frutas y Hortalizas*. Retrieved from <https://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Presentacion-Mango.html>
- MILLA, A. (2016, Septiembre 7). *Universidad Atunoma del Estado de Morelos*. Retrieved from <https://astridmll.wordpress.com/2016/09/07/tipos-de-software-de-simulacion/>
- MURILLO, O. M. (2014). *Dirección de Mercadeo y Agroindustria Area Desarrollo de Producto*. Retrieved from http://www.cnp.go.cr/biblioteca/fichas/Mango_FTP.pdf
- ROJAS, F., & BURBANO, F. (2011). *Biblioteca digital Universidad del Valle*. Retrieved from <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/4162/4/CB-0439026.pdf>

- RUBIANO, K., CIRO, H., & ARISTIZABAL, I. (2019). Aprovechamiento de los subproductos del mango, como fuente de compuestos bioactivos, para la elaboración de rollos comestibles. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 1-8.
- RUIZ.FALCÓ, A. (2009, Marzo). *Universidad Pontificia ICAI-ICADE Comillas Madrid*. Retrieved from <https://web.cortland.edu/matresearch/herracalidad.pdf>
- RURAL, M. D. (2018, Agosto 1). *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural*. Retrieved from <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Producci%C3%B3n-de-mango-mantiene-tendencia-de-crecimiento,-en-2018-alcanzar%C3%ADa-las-262-mil-toneladas.aspx>
- SALAZAR, L. (2020, Octubre 8). *Ingeniería Industrial On line*. Retrieved from <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-calidad/las-siete-herramientas-de-la-calidad/>
- TORROSA, G. (2018, Febrero 14). *Compostando Ciencia LAB*. Retrieved from <http://www.compostandociencia.com/2018/02/la-humedad-influye-mas-en-la-actividad-microbiana-del-compost-que-su-temperatura/>
- UNAL., U. N. (2013, Octubre). *Residuos Profesional*. Retrieved from <https://www.residuosprofesional.com/la-cascara-del-mango-un-residuo-de-gran-potencial-para-la-agroindustria/>
- VARGAS, Y., & PEREZ, L. (2018). APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AMBIENTE. *Revista Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad Militar*, 1-14.
- VITRAGO, L., & SÁNCHEZ, A. (2016, Abril). *Repositorio Universidad de Carabobo*. Retrieved from <http://www.riuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/123456789/3731/4/loviansa.pdf>
- YEPES, S., MONTOYA, L., & SÁNCHEZ, F. (2006, Mayo 29). *Revista Científica Scielo*. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v61n1/a18v61n1.pdf>
- ZUDAIRE, M. (2009, Octubre 01). *Revista Consumer. Aprovechar los residuos industriales de los alimentos*. Retrieved from <https://www.consumer.es/alimentacion/aprovechar-los-residuos-industriales-de-los-alimentos.html>