



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

DIRECCIÓN DE CARRERA: AGROINDUSTRIAS

INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN

**PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) Y ALMIDÓN
DE YUCA (*Mianihot esculenta*) COMO SUSTITUTO DE POLIESTIRENO
EN LA ELABORACIÓN DE PLATOS BIODEGRADABLES**

AUTORES:

**FABIANA ISABEL BARREIRO FAUBLA
ALEJANDO BOLÍVAR CORONEL TROYA**

TUTOR:

ING. FERNANDO ZAMBRANO RUEDAS, Mg.

CALCETA, FEBRERO 2021

DERECHOS DE AUTORÍA

Fabiana Isabel Barreiro Faubla, con cédula de ciudadanía 1316872512 y **Alejandro Bolívar Coronel Troya**, con cédula de ciudadanía 0950180968, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Titulación titulado: BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) Y ALMIDÓN DE YUCA (*Mianihot esculenta*) COMO SUSTITUTO DE POLIESTIRENO EN LA ELABORACIÓN DE PLATOS BIODEGRADABLES es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedemos a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a nuestro favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



.....
FABIANA I. BARREIRO FAUBLA



.....
ALEJANDRO B. CORONEL TROYA

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

Ing. José Fernando Zambrano Ruedas, Mg. certifica haber tutelado el trabajo de titulación **BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) Y ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*) COMO SUSTITUTO DE POLIESTIRENO EN LA ELABORACIÓN DE PLATOS BIODEGRADABLES**, que ha sido desarrollada por Fabiana Isabel Barreiro Faubla y Alejandro Bolívar Coronel Troya, previa a la obtención de título de Ingeniero Agroindustrial, de acuerdo al **REGLAMENTO DE UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL DE PROGRAMAS DE GRADOS** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



.....
ING. JOSÉ F. ZAMBRANO RUEDAS, Mg.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaran que han APROBADO la tesis **BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) Y ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*) COMO SUSTITUTO DE POLIESTIRENO EN LA ELABORACIÓN DE PLATOS BIODEGRADABLES**, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por Fabiana Isabel Barreiro Faubla y Alejandro Bolívar Coronel Troya, previa la obtención de título de Ingeniero Agroindustrial, de acuerdo al **REGLAMENTO DE UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL DE PROGRAMAS DE GRADO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



.....
ING. NELSON MENDOZA GANCHOZO, Mg.

MIEMBRO



.....
ING. LUISA ZAMBRANO MENDOZA, Mg.

MIEMBRO



.....
ING. IRINA GARCIA PAREDES, Mg.

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de una educación superior de calidad y en la cual he forjado los conocimientos profesionales día a día;

A Dios por darme salud y bendiciones durante todo este camino de lucha y así lograr mi objetivo,

A mis padres por haber sido el pilar fundamental en mi formación como persona y como profesional y

Al Ing. Fernando Zambrano Ruedas quien, con sus conocimientos, experiencia y motivación ha logrado contribuir con el desarrollo de este trabajo de titulación.

FABIANA I. BARREIRO FAUBLA

ALEJANDRO B. CORONEL TROYA

DEDICATORIA

A Dios por darme esta maravillosa vida, por haber conocido personas que siempre me brindaron una sonrisa a lo largo de mi vida académica y también por darme la fuerza y perseverancia para no rendirme.

A mis padres Isabel Faubla y Viliulfo Barreiro que con su esfuerzo, paciencia y amor me han permitido culminar esta meta tan anhelada.

A mis hermanos Luisa, Christian y Luis, aunque en ciertas situaciones estemos en desacuerdo, pero siempre estamos cuando nos necesitamos, porque el amor vuelve a juntarnos con más fuerza.

FABIANA I. BARREIRO FAUBLA

DEDICATORIA

A mi madre: DINORA DEL CARMEN TROYA GARZÓN.

Me enseñaste que lo más importante es Dios, que siempre hay que ayudar a los demás por encima del beneficio propio, siempre estas dispuesta cuando necesito de ti, me levantas el ánimo cuando fracaso.

Confías en mi incluso cuando yo no he confiado en mí mismo, es tu fe la que me hizo culminar esta etapa de mi vida y es tu misma fe la que me hará llegar muy lejos.

Que tu voz me aliente, que tu sonrisa me acompañe, que tu Bendición me proteja, que tus palabras me guíen y que tus hermosos ojos puedan ver cada logro de éxito en los peldaños de mi vida.

Alentaste mis alientos y puliste mi carácter, aguantaste mis cambios de edad y todo lo mal que te hice, hoy me amas como que si nunca me hubiera equivocado.

Desde este escrito con amor eterno y agradecimiento, a tí a lo más grande que un hombre puede cuidar y honrar por la eternidad. GRACIAS MAMÁ.

ALEJANDRO B. CORONEL TROYA

CONTENIDO GENERAL

| | |
|---|------|
| DERECHOS DE AUTORÍA | ii |
| CERTIFICACIÓN DE TUTOR | iii |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| DEDICATORIA | vi |
| DEDICATORIA | vii |
| CONTENIDO GENERAL | viii |
| CONTENIDO DE CUADROS | xi |
| CONTENIDO DE GRÁFICOS | xi |
| CONTENIDO DE FIGURAS | xi |
| RESUMEN | xii |
| PALABRAS CLAVES | xii |
| ABSTRACT | xiii |
| KEY WORDS | xiii |
| CAPÍTULO I. ANTECEDENTES | 1 |
| 1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN | 2 |
| 1.3. OBJETIVOS | 3 |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL | 3 |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 4 |
| 1.4. HIPÓTESIS | 4 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1. PLÁSTICOS | 5 |
| 2.2. BIOPLÁSTICOS | 5 |

| | | |
|---------------------------------------|--|----|
| 2.3. | CAÑA DE AZÚCAR | 6 |
| 2.4. | BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR | 6 |
| 2.5. | PROPIEDADES DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR | 7 |
| 2.6. | ALMIDÓN | 8 |
| 2.6.1. | ALMIDÓN DE YUCA | 8 |
| 2.6.2. | PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN DE YUCA | 9 |
| 2.7. | EL ALMIDÓN, COMO MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN DE UN BIOPLÁSTICO | 9 |
| 2.8. | FÉCULA DE MAÍZ | 10 |
| 2.9. | USO DE LA FÉCULA DE MAÍZ EN LA ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS | 11 |
| 2.10. | RESINAS | 11 |
| 2.11. | RESINA UREA FORMALDEHÍDO | 12 |
| 2.12. | BIODEGRADABILIDAD | 12 |
| 2.13. | PROPIEDADES MECÁNICAS | 12 |
| 2.13.1. | DUREZA | 13 |
| 2.13.2. | FRACTURABILIDAD | 13 |
| 2.13.3. | DEFLEXIÓN | 13 |
| CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO | | 14 |
| 3.1. | UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 14 |
| 3.2. | DURACIÓN | 14 |
| 3.3. | MÉTODOS | 14 |
| 3.4. | TÉCNICAS | 15 |
| 3.4.1. | DUREZA Y FRACTURABILIDAD | 15 |
| 3.4.2. | VALOR DE DEFLEXIÓN | 15 |
| 3.4.3. | PORCENTAJE DE BIODEGRADACIÓN DEL PLATO | 16 |

| | |
|---|----|
| 3.4.4. PRUEBA AFECTIVA: | 16 |
| 3.4.5. PRUEBA DE TOXICIDAD | 17 |
| 3.5. FACTORES EN ESTUDIO | 17 |
| 3.5.1. NIVELES | 17 |
| 3.6. TRATAMIENTOS | 18 |
| 3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL | 18 |
| 3.8. UNIDAD EXPERIMENTAL | 19 |
| 3.9. VARIABLES A MEDIR | 20 |
| 3.10. MANEJO DEL EXPERIMENTO | 21 |
| 3.10.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO | 22 |
| 3.11. ANÁLISIS ESTADÍSTICO | 23 |
| CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 24 |
| 4.1. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS (DUREZA, FRACTURABILIDAD Y DEFLEXIÓN) Y LA BIODEGRADABILIDAD DEL PLATO | 25 |
| 4.1.1. PROPIEDADES MECÁNICAS | 25 |
| 4.1.2. PORCENTAJE DE BIODEGRADACIÓN DEL PLATO | 29 |
| 4.2. ANÁLISIS DE TOXICIDAD | 33 |
| 4.3. VALORACIÓN DEL COLOR | 33 |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 35 |
| 5.1. CONCLUSIONES | 35 |
| 5.2. RECOMENDACIONES | 35 |
| BIBLIOGRAFÍA | 36 |
| ANEXOS | 40 |

CONTENIDO DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 2. 1. Composición física del bagazo | 7 |
| Cuadro 2. 2. Composición química del bagazo | 8 |
| Cuadro 3. 1. Detalle de los tratamientos | 18 |
| Cuadro 3. 2. Esquema del ANOVA bifactorial 3 ² | 19 |
| Cuadro 3. 3.a Componentes de la unidad experimental | 19 |
| Cuadro 3.3. b. Componentes de la unidad experimental | 20 |
| Cuadro 4. 1. Supuestos del ANOVA para las variables en estudio | 25 |
| Cuadro 4. 2. Análisis de ANOVA para las propiedades mecánicas | 25 |
| Cuadro 4. 3. ANOVA para los factores porcentaje de bagazo de caña y porcentaje de almidón de yuca de la variable porcentaje de biodegradación | 29 |
| Cuadro 4. 4. Tukey para el factor porcentaje bagazo de caña de la variable porcentaje de biodegradación | 29 |
| Cuadro 4. 5. Tukey para el factor porcentaje de almidón de yuca de la variable porcentaje de biodegradación | 30 |
| Cuadro 4. 6. Tukey para tratamientos de la variable porcentaje de biodegradación | 30 |
| Cuadro 4. 7. Análisis de Friedman para la característica color de los tratamientos | 32 |

CONTENIDO DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 4. 1. Diagrama de cajas y bigotes para las medias de la variable dureza | 26 |
| Gráfico 4. 2. Diagrama de cajas y bigotes para las medias de la variable fracturabilidad | 27 |
| Gráfico 4. 3. Diagrama de cajas y bigotes para las medias de la variable deflexión | 28 |
| Gráfico 4. 4. Gráfico de caja y bigote de la respuesta sensorial color en los platos biodegradables | 32 |

CONTENIDO DE FIGURAS

| | | | |
|---|---------------|-----------------|-----------|
| Figura 3. 1. Diagrama de proceso para la elaboración del biopolímero | Error! | Marcador | no |
| definido. | | | |

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar diferentes porcentajes de bagazo de caña de azúcar y almidón de yuca como sustituto de poliestireno en la elaboración de platos biodegradables. Los factores en estudio fueron porcentaje de bagazo de caña y porcentaje de almidón de yuca, ambos con niveles de 15%, 25%, 35%. Se aplicó un Diseño Completamente al Azar en arreglo bifactorial 3^2 . Se estudiaron nueve tratamientos con tres réplicas cada uno. Se utilizó como unidad experimental 74 g de mezcla base conformada por bagazo de caña, almidón de yuca, cal dolomita (carbonato de calcio y carbonato de magnesio), y demás ingredientes del plato biodegradable como fécula de maíz, resina y agua. Las variables evaluadas mediante análisis estadístico fueron: propiedades mecánicas como el tiempo de degradación del plato, valor de deflexión, valor de dureza y valor de fracturabilidad; así mismo, se evaluó el color como parte de las características sensoriales del biopolímero. Ninguna de las propiedades mecánicas presentó diferencias significativas (>0.05), sin embargo, el porcentaje de degradación evidenció como mejor tratamiento a T5 (25% bagazo de caña y 25% almidón de yuca), mismo que no tuvo ningún nivel de toxicidad. Dentro del análisis sensorial, el color no difirió entre tratamientos, por lo que se logró elaborar un biopolímero a partir de fibra de caña de azúcar y almidón de yuca a escala de laboratorio.

PALABRAS CLAVES

Biodegradabilidad, biopolímero, bagazo de caña de azúcar, almidón de yuca.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate different percentages of sugarcane bagasse and cassava starch as a substitute for polystyrene in the production of biodegradable dishes. The factors under study were the percentage of sugarcane bagasse and the percentage of cassava starch, both with levels of 15%, 25%, 35%. A Completely Random Design was applied in a two-factor arrangement 3². Nine treatments with three replicates each were studied. 74 g of base mixture made up of cane bagasse, cassava starch, dolomite lime (calcium carbonate and magnesium carbonate), and other ingredients of the biodegradable dish such as corn starch, resin and water were used as experimental unit. The variables evaluated through statistical analysis were: mechanical properties such as the plate degradation time, deflection value, hardness value and fracturability value; Likewise, color was evaluated as part of the sensory characteristics of the biopolymer. None of the mechanical properties showed significant differences (> 0.05), however, the percentage of degradation showed T5 as the best treatment (25% sugarcane bagasse and 25% cassava starch), which did not have any level of toxicity. Within the sensory analysis, the color did not differ between treatments, so it was possible to make a biopolymer from sugarcane fiber and cassava starch on a laboratory scale.

KEY WORDS

Biodegradability, biopolymer, sugarcane bagasse, cassava starch

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La acumulación indiscriminada de residuos puede convertir el agua en no apta para el consumo humano y el desarrollo de la vida acuática; la quema de residuos sólidos ocasiona deterioro del aire conjuntamente con los gases tóxicos generados por la quema de materiales plásticos, así como el metano emanado por la descomposición de los residuos sólidos (Sáez & Urdaneta, 2014).

El principal problema de los plásticos es que al estar compuestos por polímeros y moléculas de gran tamaño el tiempo que tardan en degradarse varía dependiendo del tipo de plástico (Domínguez, 2017).

El estireno es un compuesto químico muy utilizado en la producción de polímeros, por ser tan baratos, se usa en el mundo entero para hacer envases de bebidas y comidas. El estireno figura en la lista de posibles agentes cancerígenos de la Agencia Internacional de Investigación de Cáncer (IARC) de la Organización Mundial de la Salud y del 13° Reporte de Cancerígenos del Programa Nacional de Toxicología del Departamento de Salud de Estados Unidos. El estireno está relacionado con leucemias y linfomas en trabajadores expuestos a esa sustancia.

Sobre la salud del medio ambiente, el poliestireno tarda más de 500 años en degradarse y contamina mares, ríos y tierras, descomponiéndose lentamente en su monómero estireno, el cual pasa al aire que respiramos, a la tierra y plantas que consumimos y al agua y peces que comemos. Se calcula que 90% del estireno que se encuentra en la sangre de un niño llega por esa vía indirecta (Huerta, 2015).

En el Ecuador se recolectaron 11203.24 toneladas diarias de residuos sólidos. Siendo la Costa, la región que mayor recolección registró con 6 229.92 toneladas diarias (INEC, 2015).

Según un estudio realizado por AME-INEC en el 2016, señala que en la provincia de Manabí un 10.97% de todos los desechos generados anualmente se componían de residuos plásticos entre rígidos y suaves (Gobierno Provincial de Manabí, 2018).

Ese mismo estudio indica que en las zonas urbanas de Manabí se genera el 37% de los residuos plásticos, y que solo 12 de los 22 cantones realiza una caracterización de residuos sólidos producidos en los lugares de la disposición final, de allí la necesidad urgente de emprender un trabajo conjunto en la provincia para disminuir, paulatinamente el uso de desechos plásticos (Gobierno Provincial de Manabí, 2018).

Los bioplásticos son una alternativa para disminuir la contaminación generada por componentes sintéticos, estos son polímeros que provienen de fuentes naturales y renovables, todos son biodegradables por microorganismos como bacterias, hongos y algas. El almidón y la celulosa, polímeros de glucosa elaborados por las plantas, son la materia para obtener los bioplásticos vegetales, que se fabrican mayormente de desechos de papa, maíz, trigo, tapioca, caña de azúcar o yuca para producir cubiertos, envases o bolsas (Salgado, 2014).

En el Ecuador es poco aprovechado el almidón de yuca y las fibras provenientes de los residuos agroindustriales, como el bagazo de caña que son desechadas por los agricultores al momento de aprovechar los jugos de dicha materia prima. Este bagazo de caña y el almidón de yuca pueden ser utilizados como materia prima para la transformación e industrialización de productos eco amigables que favorezcan a la conservación del medio ambiente, creando cultura ecológica y que, a su vez generen fuentes de empleo.

¿Será posible elaborar platos biodegradables a partir de la fibra de caña de azúcar y almidón de yuca que sustituya al plástico?

1.2. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación tiene como fin evaluar la funcionalidad de materiales considerados como desperdicio y que a su vez pueden ser utilizados como biopolímeros naturales, de los cuales los más comunes son el bagazo de caña de azúcar y el almidón de yuca.

Es importante buscar alternativas para el desperdicio del bagazo, porque además de ser una excelente materia prima, su costo es bajo, especialmente en la provincia de Manabí, los residuos de caña de azúcar (36.50%) y almidón de yuca (20%) son muy abundantes debido a que se pueden encontrar grandes cultivos. Estos residuos generalmente no son aprovechados de ninguna manera y son eliminados mediante incineración.

Hoy en día se producen unos 200 millones de toneladas de raíces de yuca al año a nivel mundial; la FAO considera que muchos países en desarrollo podrían fortalecer su economía rural e incrementar los ingresos de los productores de yuca, mediante la conversión de esa materia prima de relativo bajo costo en almidones de elevado valor. La yuca produce un almidón excelente en comparación con los almidones obtenidos de casi todas las demás plantas, es claro, presenta mejor viscosidad y estabilidad en productos alimentarios ácidos. También tiene propiedades óptimas para su uso en productos no alimentarios, como los farmacéuticos y los termoplásticos naturales (FAO, 2006)

Al reemplazar el plato de poliestireno por el plato elaborado de bagazo de caña de azúcar y almidón de yuca están ayudando al medio ambiente y aportando a la cultura verde, como lo manifiesta el Objetivo 7 del Plan Nacional del Buen Vivir “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global apuesta por la transformación productiva bajo un modelo eco eficiente con mayor valor económico, social y ambiental”. En este sentido, se plantean como prioridades la conservación y el uso sostenible del patrimonio natural y sus recursos naturales. 6

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar los porcentajes idóneos de la combinación de la fibra de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*) para la elaboración de platos biodegradables.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un polímero biodegradable (bioplástico) a partir de fibra de caña de azúcar y almidón de yuca a escala de laboratorio.
- Evaluar las propiedades mecánicas (deflexión, dureza y fracturabilidad) y la biodegradabilidad mediante la norma ISO EN 14855 para la determinación del porcentaje de biodegradación de los prototipos obtenidos.
- Valorar mediante una prueba de preferencia el color de los prototipos elaborados.
- Realizar análisis toxicológicos al mejor tratamiento.

1.4. HIPÓTESIS

Se puede obtener un plato biodegradable a partir de los porcentajes idóneos de bagazo de caña de azúcar y almidón de yuca como sustituyente de poliestireno en la elaboración de platos desechables.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. PLÁSTICOS

Los plásticos son materiales poliméricos que se componen de moléculas químicas de gran tamaño en las que se repiten unidades de un compuesto denominado monómero. Dependiendo del método de polimerización y del monómero, los plásticos tienen estructuras químicas variadas que hacen que, en general, se clasifiquen en dos grandes grupos: los termoplásticos y los termoestables (Meneses, Corrales, & Valencia, 2016).

Los termoplásticos son polímeros formados por cadenas lineales con ramificaciones. Esta propiedad les otorga la característica de ser reciclables. Los termoestables, por el contrario, son materiales cuya estructura molecular forma una red que no puede desligarse por medio de temperatura (característica que es posible con los termoplásticos) y que después de ser formados no pueden modificarse ni reciclarse (Meneses, Corrales, & Valencia, 2016).

El plástico sintético es fabricados a partir de derivados del petróleo como el polietileno, polipropileno, policloruro de vinilo y el polietileno tereftalato, los cuales no son biodegradables y representan un serio problema de contaminación ambiental, siendo los causantes de problemas de salud al consumir alimentos y bebidas en este tipo de envases (Barahona, Tixi, Calderón, & Barahona, 2019).

2.2. BIOPLÁSTICOS

Los bioplásticos son fabricados a partir de recursos renovables de origen natural, como el almidón o la celulosa (caña de azúcar, maíz, yuca, remolacha, papa). Para crear un bioplástico, se buscan estructuras químicas que permitan la degradación del material por microorganismos, como hongos y bacterias, a diferencia del polipropileno y poliestireno expandido, cuya producción se basa de los derivados del petróleo (recurso que es no renovable) (Rodríguez, 2017). No obstante, hay que precisar que los plásticos biodegradables pueden proceder del petróleo y no deben confundirse con los bioplásticos. Los plásticos biodegradables procedentes del petróleo tienen aditivos que mejoran su capacidad de degradación, pero no satisfacen las normas internacionales de

biodegradabilidad, mientras que los bioplásticos si lo hacen. Los productos desechables bioplásticos se degradan en un periodo menor a un año, donde el residuo final del proceso es la generación de CO₂, agua y biomasa. Al contrario de los productos desechables plásticos y de poliestireno expandido (durapax) que pueden tomar hasta 1.200 años en degradarse, generando una contaminación acumulativa al ecosistema (García, 2015).

2.3. CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) es un cultivo de elevada relevancia a nivel mundial, de sus tallos se extrae la sacarosa que es uno de los principales suplidores energéticos en la alimentación humana. Además, este cultivo permite una amplia diversidad productiva, que es mundialmente reconocida. Los subproductos obtenidos a partir de esta materia prima son totalmente aprovechados, con diversos fines; económico, alimenticio (Castro & Huerta, 2015).

Debido a nuevos panoramas en el mercado mundial de los edulcorantes, así como a los desafíos que representa el cambio climático, la caña de azúcar debe diversificar su producción exclusivamente azucarera. En temas tecnológicos, uno de los mayores desarrollos pudiera ser el uso de este cultivo como biofábrica biotecnológica para la producción de bioplásticos. La caña de azúcar también representa una fuente importante de residuos celulósicos e insumos para la producción de moldeados, abonos orgánicos, alimentos animales y otros productos de interés para la industria química y de los alimentos (Gómez, Senties, Pérez, & Trejo, 2018).

2.4. BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

El bagazo del tallo de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) es un residuo fibroso que se obtiene de la extracción del jugo. La producción mundial del bagazo de caña es de 234 millones de toneladas anualmente, de las cuales 50% es usado en los ingenios como combustible para las calderas; sin embargo, su uso genera contaminación, pues la mayoría de los ingenios para alcanzar el poder calorífico que requiere la combustión

incluyen en el proceso quema de combustóleo o llantas, lo que implica liberación de gases contaminantes como el bióxido de carbono (Bolio, 2016).

El bagazo, se encuentra disponible en grandes cantidades concentradas en los ingenios azucareros. Su manipulación, transportación y almacenamiento disminuyen los riesgos de inversión y lo hacen un material atractivo, en comparación con otras fuentes de materia prima lignocelulósicas, constituyendo un desecho importante de la industria azucarera que puede ser aprovechado, ya que por cada tonelada de azúcar refinada se producen dos de bagazo (Bolio, 2016).

Las materias primas fibrosas deben reunir determinados requisitos de índole técnica y económica. Entre los requisitos técnicos, los más importantes radican en la composición química del material, su reactividad frente a los agentes de pulpeado y sus propiedades anatómicas y morfológicas (Aguilar, 2011).

2.5. PROPIEDADES DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

Desde el punto de vista físico, el bagazo integral se compone de los siguientes parámetros:

Cuadro 2. 1. Composición física del bagazo

| Componente | Porcentaje |
|--------------------|-------------------|
| Fibra | 45% |
| Sólidos Insolubles | 2-3% |
| Sólidos Solubles | 2-3% |
| Humedad | 50% |

Fuente: (Flores, 2013)

Desde el punto de vista químico el bagazo de la caña de azúcar está compuesto, aproximadamente por:

Cuadro 2. 2. Composición química del bagazo

| COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL BAGAZO % | | | |
|---|-----------------|-----------------------|---------------|
| Componente | Integral | Fracción Fibra | Médula |
| Celulosa | 46.6 | 47 | 41.2 |
| Pentosanas | 25.2 | 25.1 | 26 |
| α -celulosa | 38.3 | 40.4 | - |
| Lignina | 20.7 | 19.5 | 21.7 |
| Extractivos A/B | 2.7 | 2.3 | 2.9 |
| Solubilidad en agua caliente | 4.1 | 3.4 | 4.2 |
| Solubilidad en agua fría | 2.2 | 2.1 | 4 |
| Solubilidad en sosa al 1% | 34.9 | 32 | 36.1 |
| Cenizas % | 2.6 | 1.4 | 5.4 |

Fuente: (Flores, 2013)

2.6. ALMIDÓN

Los granos de almidón están formados por macromoléculas organizadas en capas. Dos estructuras poliméricas diferentes componen los almidones: la amilosa y la amilopectina. Cerca del 20% de la mayoría de almidones es amilosa y el 80% amilopectina. Las moléculas de amilosa, situadas en las capas interiores, están compuestas de aproximadamente 200 a 20.000 moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos en cadenas no ramificadas o enrolladas en forma de hélice.

Una de las propiedades más importantes del almidón natural es su semicristalinidad donde la amilopectina es el componente dominante para la cristalización en la mayoría de los almidones. La parte amorfa está formada por regiones ramificadas de amilopectina y amilosa (García, 2015).

Las propiedades comercialmente significativas del almidón, tales como su resistencia mecánica y flexibilidad, dependen de la resistencia y de carácter de la región cristalina, la cual depende de la relación de amilosa y amilopectina y por lo tanto del tipo de planta, de la distribución del peso molecular, del grado de ramificación y del proceso de conformación de cada componente del polímero (García, 2015).

2.6.1. ALMIDÓN DE YUCA

El almidón es uno de los principales componentes de la yuca, se encuentra almacenado en gránulos y se extrae utilizando un proceso de disolución en agua y filtrado con mantas.

En su condición natural necesita de la aplicación de calor para que se hidrate ya que no es soluble en agua; este factor estructural limita su uso como aditivo alimenticio y en otras aplicaciones industriales. Su grado de hidratación depende del pH, la temperatura y el tiempo. Cuando se hidrata y se dispersa en agua caliente se forma un compuesto de color claro que tiene un sabor suave; cuando se enfría puede formar un gel débil. Si se calienta por tiempo prolongado en condiciones ácidas pierde sus habilidades espesantes (Ramos, Romero, & Bautista, 2018).

2.6.2. PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN DE YUCA

Las propiedades funcionales de los almidones dependen directamente de la relación amilosa/amilopectina (Toledo, 2017).

Las características funcionales de los almidones son: solubilidad, capacidad de retención de agua, poder de hinchamiento, tendencia a retrogradar, propiedades de la pasta (viscosidad, consistencia, estabilidad del gel, claridad y resistencia al corte, formación de película), digestibilidad enzimática y capacidad de emulsificación. Durante un tratamiento hidrotérmico, el almidón sufre una serie de modificaciones que influyen en su estructura, pasando por tres fases importantes: gelatinización, gelificación y retrogradación, los cuales causan hinchamiento, hidratación, fusión y ruptura de los gránulos de almidón (Toledo, 2017).

2.7. EL ALMIDÓN, COMO MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN DE UN BIOPLÁSTICO

Para convertir un almidón seco en un material bioplástico es necesario romper y fundir la estructura granular semicristalina del mismo. El almidón sin los aditivos adecuados (plastificantes) no tiene las propiedades necesarias para trabajar como termoplástico, los plastificantes incrementan la flexibilidad del almidón debido a su habilidad para reducir la interacción de los enlaces de hidrógeno, además de aumentar el espacio molecular. Se pueden distinguir dos tipos de ordenamiento en el almidón termoplástico después de su procesamiento; la cristalinidad residual clasificada en las formas tipo A, B y C causadas por la fusión incompleta durante la plastificación y la cristalinidad inducida durante el procesamiento; de acuerdo a los arreglos generados en las cadenas poliméricas, el tipo

A es común en almidones de cereales, el B en tubérculos y el C en ciertas raíces y semillas. La cantidad de cristalinidad residual está relacionada con la temperatura y el esfuerzo de corte aplicado durante el procesamiento; de igual manera la composición de la mezcla de alimentación también influye indirectamente en esta cantidad de cristalinidad remanente (García, 2015).

Dependiendo de algunas condiciones de procesamiento y almacenamiento como la temperatura y la humedad, el almidón amorfo sufre cambios estructurales después del enfriamiento, basados en: recristalización de la amilosa y la amilopectina en diferentes estructuras cristalinas, separación de fase y reorientación del polímero.

Las interacciones moleculares (principalmente puentes de hidrógeno entre las cadenas de almidón) que ocurren después del enfriamiento son llamadas retrogradación. Esta retrogradación hace referencia igualmente a los cambios que tienen lugar en el almidón gelatinizado desde un estado amorfo inicial a uno cristalino más ordenado, debido a que, los geles de almidón no son termodinámicamente estables. Las cadenas de amilopectina son responsables por los fenómenos de retrogradación que se generan a largo plazo, mientras que la amilosa se relaciona con los cambios a tiempos más cortos (Rodríguez, 2012).

2.8. FÉCULA DE MAÍZ

Fécula o almidón de maíz es un material que regula y estabiliza la textura de productos por sus propiedades viscosantes y gelificantes; el almidón en su estado nativo presenta limitaciones que reducen su potencial uso ante las extremas condiciones de proceso (temperatura, pH y presión) (Arvanitoyannis, Kalichevsky, Blanshard & Psomiadou, 1994; García, Pinotti, Martino & Zaritzky, 2009; Peñaranda *et al.*, 2008 citado por Tupa, 2015).

Según García (2015) el almidón de maíz suele utilizarse como agente espesante en diferentes procedimientos, sin embargo, sus usos son más variados, A continuación, se enlistan algunos de ellos:

- Alimentos: Se utiliza para espesar y engrosar preparaciones. En productos horneados, pan, dulces, aderezos para ensaladas, entre otros.

- Fabricación de papel.
- Adhesivos.
- Productos textiles.
- Diversos productos de la industria del cuidado personal.
- Elaboración de bioplásticos.

2.9. USO DE LA FÉCULA DE MAÍZ EN LA ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS

La fécula de maíz es el material más utilizado para la fabricación de plásticos biodegradables, siendo un polímero con propiedades muy similares al plástico (Infarzón, Cabrera & Martínez, 2017) y considerado 100% biodegradable (Maya, 2017).

Según Alva (2018) los productos elaborados a base de almidón de maíz logran biodegradarse de 90 a 240 días sin dejar residuos tóxicos ya que son compostables, es decir, logran reintegrarse a la naturaleza. El tiempo de biodegradación depende del tipo de contacto con materia orgánica, el lugar y la temperatura.

2.10. RESINAS

Guacapiña (2018) detalla que es la sustancia sólida o de consistencia pastosa, insoluble en el agua, soluble en el alcohol y en los aceites esenciales, y capaz de solidificar en contacto con el aire. Las resinas se clasifican en naturales y sintéticas (Quiroz & Magaña, 2015), las primeras son aquellas sustancias orgánicas segregadas por muchas plantas, en especial por árboles tipo conífera, que sufren un proceso de polimerización o secado dando lugar a productos sólidos siendo en primer lugar líquidas. Así, también se consideran resinas algunas sustancias sintéticas con propiedades semejantes a las resinas naturales (QuimiNet.com, 2012 citado por Mejía & Guilcapi, 2017).

Las resinas sintéticas que se emplean como adhesivos o aglomerantes en la fabricación de tableros derivados de madera son mayoritariamente resinas de tipo urea-formaldehído y melamina-formaldehído (Navarro, Muñoz & Muñoz, 2018).

2.11. RESINA UREA FORMALDEHÍDO

La urea formaldehído es una resina sintética clasificada en el grupo de los termoestables (también conocidos como termofraguantes, no sufren deformaciones en presencia del calor) debido a que tiene en sus moléculas una gran cantidad de enlaces cruzados que le brindan mayor estabilidad. Esta resina se usa principalmente como adhesivos para hacer madera aglomerada que se utiliza en estanterías y muebles. También se usan para la fabricación de colas, productos para el tratamiento de la madera, papel de revestimiento, tableros prensados, puertas, etc (Ávila, 2018).

2.12. BIODEGRADABILIDAD

Se trata de procesos que describen la mineralización de las estructuras orgánicas por medio de microorganismos. Estos microorganismos convierten los bioplásticos en dióxido de carbono, metano, agua y biomasa (Rodríguez, 2012).

Los procesos de biodegradación comprenden dos categorías: biodegradación primaria y biodegradación secundaria o mineralización. Durante la biodegradación primaria se producen discretas alteraciones estructurales en la molécula original, lo que hace que esta pierda sus propiedades físico-químicas. Durante la biodegradación secundaria o total, la sustancia química es metabolizada por los microorganismos como fuente de carbono y energía, siendo completamente transformada en compuestos inorgánicos. La descomposición puede llevarse a cabo en presencia de oxígeno (aeróbica) o en su ausencia (anaeróbica) (Rodríguez, 2012).

2.13. PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas son otros factores de suma importancia en la formulación de bandejas biodegradables, debido a que estas influyen en la calidad de los platos, vasos o bandejas que se obtienen. Dentro de estas propiedades se encuentran dureza, fracturabilidad y deflexión. Estos aspectos son relevantes, dado que los recursos amiláceos (almidón) pueden mezclarse con fibras naturales para favorecer las propiedades mecánicas de los bioplásticos fabricados (Navia & Bejarana, 2014).

2.13.1. DUREZA

La dureza es una propiedad mecánica de los materiales, consiste en la resistencia que opone a los materiales de su deformación plástica permanente pudiendo ser superficial por rayado o penetración (Díaz *et al.*, 2019).

Las pruebas de dureza juegan un papel importante en la determinación de las características técnicas e industriales de los materiales y es frecuente que los resultados obtenidos sirvan como base para la aceptación o rechazo de productos o subproductos (Esparza & Torres, 2015).

2.13.2. FRACTURABILIDAD

Torres, González & Acevedo (2015) definen la fracturabilidad como la fuerza necesaria para fracturar una muestra. De la misma manera, González, Avis & Arrázola (2015) manifiestan que es la dureza con la cual un material se desmorona, cruje o revienta.

2.13.3. DEFLEXIÓN

La deflexión es aquella deformación que sufre un elemento por efecto de las flexiones internas (Fernández *et al.*, 2019) ocasionados ya sea por una carga transversal puntual o distribuida (Hernández *et al.*, 2018).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En esta investigación la elaboración del plato biodegradable, se desarrolló en los laboratorios del Área Agroindustrial de la ESPAM MFL, ubicada en el Campus Politécnico El Limón, km 2.7 Vía Calceta-La Pastora, perteneciente al cantón Bolívar, provincia de Manabí, Ecuador, entre las coordenadas 0°49'38" de latitud sur y 80°11'13.3" de longitud oeste a una altitud de 15.5940 m.s.n.m (Inamhi, 2020).

Las propiedades mecánicas en los platos, se evaluaron en los laboratorios de análisis y procesos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ubicado en la ciudad de Manta con Latitud 0°57` S y de Longitud 80°45`0 y a una altura de 20 msnm (Inamhi, 2020).

3.2. DURACIÓN

La presente investigación se llevó a cabo en un tiempo estimado de nueve meses a partir de su aceptación.

3.3. MÉTODOS

3.3.1. MÉTODO DESCRIPTIVO

Este método permitió describir la realidad dentro de la elaboración de biopolímeros, abordando y analizando las variables en estudio. A su vez, la consignación de los resultados logró plantear lo más relevante y concreto dentro del presente estudio, definiendo un análisis propio y los procesos que se involucraron al momento de utilizar bagazo de caña de azúcar y almidón de yuca en la elaboración de platos biodegradables (Cienfuegos, 2019).

3.3.2. MÉTODO EXPERIMENTAL

El método experimental dentro de esta investigación se fundamentó en lo científico, utilizando como proceso lógico la inducción y deducción (Cienfuegos, 2019). Tuvo como finalidad desarrollar platos biodegradables a escala de laboratorio, evaluando distintos porcentajes de bagazo de caña y almidón de yuca, para conocer si mediante estas combinaciones como sustituto de poliestireno se podía obtener un plato biodegradable, lo que finalmente permitió verificar un hecho concreto de la vida diaria

3.4. TÉCNICAS

3.4.1. DUREZA Y FRACTURABILIDAD

La dureza y fracturabilidad de los platos de bagazo de caña de azúcar y almidón de yuca, se midió con un texturómetro TA.HD Plus (Stable Micro Systems, Surrey, UK), el mismo que utiliza una celda de carga de 100 kg y un accesorio HDP/CFS, que consiste en un soporte circular hueco de introducción y una probeta esférica de acero inoxidable. La velocidad de la prueba fue de 1 mm/s y la distancia desplazada por la probeta fue de 15 mm (Espina, Cruz, & Siche, 2016).

3.4.2. VALOR DE DEFLEXIÓN

Para los ensayos de deflexión, la resistencia a la flexión o el módulo de rotura se calculó según lo mencionado en la norma INEN-ISO 14855-2, a través de la fórmula matemática [3.2]

$$\sigma = \frac{3FL}{2bh^2} \quad [3.2]$$

Donde:

σ = resistencia a la flexión

F= fuerza aplicada en el medio de la probeta

L = distancia entre los puntos de apoyo de la probeta

b = largo de la probeta, y

h = grosor de la probeta.

El resultado se expresa en newtons por milímetro cuadrado (N/mm²).

3.4.3. PORCENTAJE DE BIODEGRADACIÓN DEL PLATO

El porcentaje de biodegradación se determinó mediante la pérdida de peso del biopolímero (ver anexo 7).

Siguiendo la metodología de Espina et al. (2016), se registró el peso inicial de las muestras del material de 2x2 cm², usando una balanza analítica marca SARTORIUS modelo 210/0,0001 g. Posteriormente las piezas se expusieron a la intemperie durante seis semanas, y se calculó la pérdida de peso mediante la ecuación [3.1]:

$$PP = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad [3.1]$$

Donde:

PP= Pérdida de peso

W₁ = Masa inicial de las muestras

W₂ = Masa final de las muestras

3.4.4. PRUEBA AFECTIVA:

Por medio de este test (ver anexo 10), se evaluó el color en los nueve tratamientos, utilizando una escala hedónica de cinco puntos, siendo 1: desagradable; 2: poco desagradable; 3: ni me agrada ni me desagrada; 4: me agrada poco; 5: me agrada mucho. Se utilizaron 50 catadores no entrenados.

Cabe destacar que el análisis del color fue efectuado 6 semanas después de su elaboración.

3.4.5. PRUEBA DE TOXICIDAD

Para determinar el índice de toxicidad al mejor tratamiento, se siguió el método establecido por “DANIEL SAUTCHUK” citado por (Espinoza, 2016):

- Se colocó en un stand tubos de ensayo enumerados.
- Se dejó el tubo 1 vacío y se pipeteo 0.5 cc de suero fisiológico en los tubos siguientes.
- Se procedió a pipetear 0.5cc de extracto proteico en el tubo 1 y 2.
- Se mezcló el contenido del tubo 2 y se extrajo 0.5 cc para colocar en el tubo 3, se efectuó el mismo procedimiento para los tubos posteriores.
- Finalmente se pipeteo en cada tubo (1, 2, 3, 4, 5) 0.5 cc de suspensión de hemoglobina mezclando cuidadosamente y centrifugando a 2500 rpm por 5 minutos (ver anexo 4).

Para expresar los resultados, a partir del tubo #1 se observó el estado de hemoglobina, realizando un leve golpe en el tubo y teniendo en cuenta lo siguiente:

- Completa aglutinación = toxicidad de 4^{to} grado a 4++++
- Aglutinación con redispersión = 3+++
- Redispersión en partículas finas = intoxicación o alergia parcial de 2++
- Si la hemoglobina se redispersa regresando a su estado de solución no presenta grado de toxicidad.

Este análisis se realizó al tratamiento que presentó mejor porcentaje de biodegradación.

3.5. FACTORES EN ESTUDIO

Factor A: Porcentaje de bagazo de caña de azúcar

Factor B: Porcentaje de almidón de yuca

3.5.1. NIVELES

Para el factor porcentaje de bagazo de caña se utilizaron los siguientes niveles

a₁: 15%

a₂: 25%

a₃: 35%

Para el factor porcentaje de almidón de yuca, se tuvieron los siguientes niveles:

b₁: 15%

b₂: 25%

b₃: 35%

3.6. TRATAMIENTOS

Se manejaron tres diferentes porcentajes de bagazo de caña de azúcar (15%, 25% y 35%) y tres porcentajes de almidón de yuca (15%, 25% y 35%), de acuerdo a las respectivas combinaciones de los factores con los niveles obteniendo 9 tratamientos a estudiar con tres réplicas para cada uno con un total de 27 unidades experimentales; los mismos que se detallan a continuación en el cuadro 3.1.

Cuadro 3. 1. Detalle de los tratamientos

| Tratamientos | Códigos | Descripción | |
|--------------|-------------------------------|---|--------------------------------|
| | | Porcentajes de bagazo de caña de azúcar | Porcentajes de almidón de yuca |
| T1 | a ₁ b ₁ | 15 | 15 |
| T2 | a ₁ b ₂ | 15 | 25 |
| T3 | a ₁ b ₃ | 15 | 35 |
| T4 | a ₂ b ₁ | 25 | 15 |
| T5 | a ₂ b ₂ | 25 | 25 |
| T6 | a ₂ b ₃ | 25 | 35 |
| T7 | a ₃ b ₁ | 35 | 15 |
| T8 | a ₃ b ₂ | 35 | 25 |
| T9 | a ₃ b ₃ | 35 | 35 |

Fuente: Autores

3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se aplicó un diseño DCA (Diseño Completamente al Azar) en arreglo bifactorial 3² con 3 repeticiones por cada tratamiento (Ver cuadro 3.2).

Cuadro 3. 2. Esquema del ANOVA bifactorial 3²

| Fuentes de variación | Grados de libertad |
|----------------------|--------------------|
| Total | 26 |
| Factor A | 2 |
| Factor B | 2 |
| A * B | 4 |
| Error | 18 |

Fuente: Autores

3.8. UNIDAD EXPERIMENTAL

El trabajo experimental tuvo un total de 9 tratamientos con 3 réplicas, obteniendo un total de 27 unidades experimentales, cada unidad experimental tuvo un peso total de 74 g (cuadros 3.3a y 3.3b).

Cuadro 3. 3.a Componentes de la unidad experimental

| FORMULACIÓN DE PLATOS BIODEGRADABLES A BASE DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y ALMIDÓN DE YUCA | | | | | | | | | | |
|---|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | T1 | | T2 | | T3 | | T4 | | T5 | |
| | % | G | % | g | % | g | % | g | % | g |
| BAGAZO DE CAÑA | 15 | 6.000 | 15 | 6.000 | 15 | 6.000 | 25 | 10.000 | 25 | 10.000 |
| ALMIDÓN DE YUCA | 15 | 6.000 | 25 | 10.000 | 35 | 14.000 | 15 | 6.000 | 25 | 10.000 |
| FÉCULA DE MAÍZ | 15 | 6.000 | 15 | 6.000 | 15 | 6.000 | 15 | 6.000 | 15 | 6.000 |
| RESINA | 0.02 | 0.008 | 0.02 | 0.008 | 0.02 | 0.008 | 0.02 | 0.008 | 0.02 | 0.008 |
| CAL DOLOMITA (CARBONATO DE CALCIO Y CARBONATO DE MAGNESIO) | 54.98 | 21.992 | 44.98 | 17.992 | 34.98 | 13.992 | 44.98 | 17.992 | 34.98 | 13.992 |
| TOTAL | 100 | 40.000 | 100 | 40.000 | 100 | 40.000 | 100 | 40.000 | 100 | 40.000 |
| AGUA (g) | | 34.000 | | 34.000 | | 34.000 | | 34.000 | | 34.000 |
| TOTAL MEZCLA + AGUA | | 74.000 | | 74.000 | | 74.000 | | 74.000 | | 74.000 |

Fuente: Autores

Cuadro 3.3. b. Componentes de la unidad experimental

| FORMULACIÓN DE PLATOS BIODEGRADABLES A BASE DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y ALMIDÓN DE YUCA | | | | | | | | |
|---|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | T6 | | T7 | | T8 | | T9 | |
| | % | G | % | g | % | g | % | g |
| BAGAZO DE CAÑA | 25 | 10.000 | 35 | 14.000 | 35 | 14.000 | 35 | 14.000 |
| ALMIDÓN DE YUCA | 35 | 14.000 | 15 | 6.000 | 25 | 10.000 | 35 | 14.000 |
| FÉCULA DE MAÍZ | 15 | 6.000 | 15 | 6.000 | 15 | 6.000 | 15 | 6.000 |
| RESINA | 0.02 | 0.008 | 0.02 | 0.008 | 0.02 | 0.008 | 0.02 | 0.008 |
| CAL DOLOMITA (CARBONATO DE CALCIO Y CARBONATO DE MAGNESIO) | 24.98 | 9.992 | 34.98 | 13.992 | 24.98 | 9.992 | 14.98 | 5.992 |
| TOTAL | 100 | 40.000 | 100 | 40.000 | 100 | 40.000 | 100 | 40.000 |
| AGUA (g) | | 34.000 | | 34.000 | | 34.000 | | 34.000 |
| TOTAL MEZCLA + AGUA | | 74.000 | | 74.000 | | 74.000 | | 74.000 |

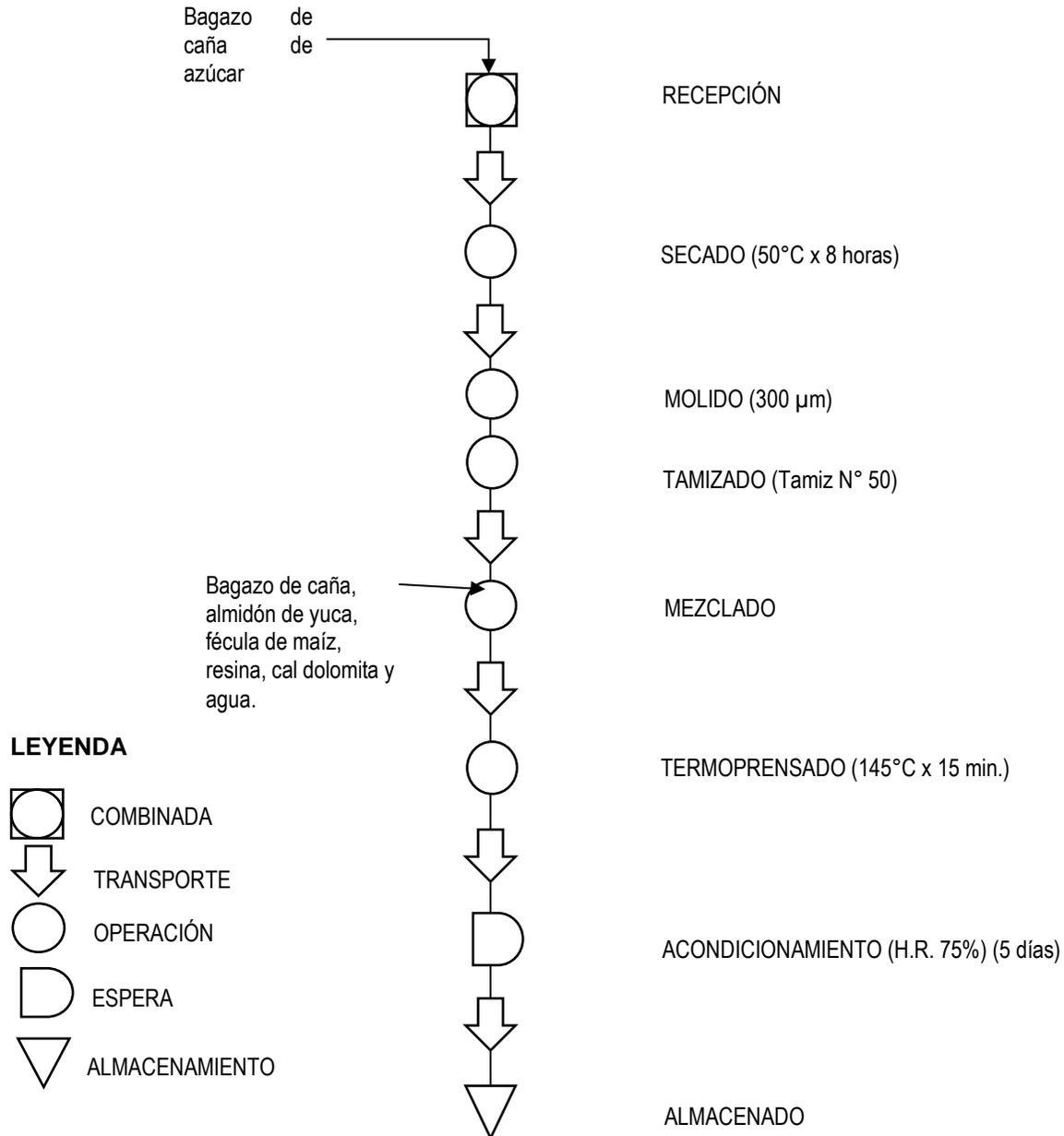
Fuente: Autores

3.9. VARIABLES A MEDIR

- Dureza (g)
- Fracturabilidad (mm)
- Deflexión (N/mm²)
- Porcentaje de biodegradación del plato (%).
- Color

3.10. MANEJO DEL EXPERIMENTO

En la figura 3.1, se muestra el proceso utilizado para la elaboración del plato biodegradable.



3.10.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA: Se utilizó bagazo de caña de azúcar y almidón de yuca como materia prima, en esta operación se verificó que ambas materias estuvieran en estado fresco, exentas de cualquier partícula extraña.

SECADO (ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE LA MATERIA PRIMA): El bagazo de caña de azúcar se distribuyó de forma homogénea en 2 rejillas de acero inoxidable dentro de la estufa marca MEMMERT modelo UF75 con el fin de eliminar el vapor de agua de esta materia prima, para ello, en el interior de la estufa se manejó una temperatura de 50°C por un tiempo de 8 horas, transcurrido este tiempo se logró obtener una humedad constante del 12% (mediante cinética de secado) en el bagazo de caña de azúcar.

MOLIDO Y TAMIZADO (REDUCCIÓN DE TAMAÑO): Una vez lograda la reducción de humedad en el bagazo de caña de azúcar, se procedió a moler el mismo, utilizando un molino de martillo marca SR modelo MAIP001, con el fin de lograr la reducción del tamaño de fibra del bagazo. Posteriormente, el producto obtenido de la molienda fue pasado por un tamiz de diámetro 0.594 mm N° 30 marca FILTRA®, alcanzando un tamaño de partícula inferior a 300 µm.

MEZCLADO (PREPARACIÓN DE LA MEZCLA): Se homogeneizó la mezcla teniendo en cuenta los porcentajes de formulación para cada componente: bagazo de caña, almidón de yuca, fécula de maíz, resina UMF-1123, cal dolomita (carbonato de calcio + carbonato de magnesio) y agua (ver cuadros 3.2a y 3.2b).

TERMOPRENSADO: Para esta operación, se adaptó una termoprensa en base a los requerimientos del biopolímero y siguiendo un modelo tradicional de plancha térmica para sublimación de platos (ver anexo 1). La termoprensa se precalentó a 145°C en ambas placas, luego se introdujo la mezcla y se cerró para formar el plato a una temperatura de 145°C por 5 minutos.

ACONDICIONAMIENTO EN ESTUFA: Los platos fueron sometidos en la estufa a una temperatura ambiente (25°C y 30°C) con una humedad relativa del 75%.

ALMACENADO: Todos los tratamientos fueron almacenados en el desecador a temperatura ambiente (25°C) durante un tiempo de 72 horas para medir sus propiedades mecánicas (deflexión, dureza, fracturabilidad) y biodegradabilidad. Al mejor tratamiento se le realizó análisis toxicológico (tipos alérgicos).

3.11. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos para cada una de las variables fueron ordenadas en secuencia lógica en el programa Microsoft Office Excel 2013, posteriormente se analizaron estadísticamente en el programa IBM SPSS Statistics versión 21, en el cual se contempló las siguientes pruebas:

- **Supuestos del ANOVA:** Pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad (Levene).
- **Análisis de varianza (ANOVA):** Se lo efectuó con el propósito de establecer qué factor influyó sobre la variable respuesta.
- **Prueba de diferencias honestamente significativas de Tukey (HSD):** Se realizó para establecer la diferencia significativa existente entre tratamientos, lo que permitió determinar la magnitud entre ellos. Se analizó al 5% de probabilidad del error, de acuerdo a los grados de libertad (GDL) del error experimental.

Para las variables que no cumplieron con los supuestos del ANOVA, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis de muestras independientes, mientras que el método estadístico de Friedman se utilizó para el análisis sensorial (color).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo el polímero biodegradable mediante la aplicación de los diferentes porcentajes de bagazo de caña de azúcar, almidón de yuca y aditivos (fécula de maíz, resina, mezcla comercial de carbonatos y agua), tomando como referencia la investigación de Cabrera y Novoa (2016), quienes utilizaron 10%, 20% y 30% de almidón y bagazo de caña de azúcar, para la obtención de un biopolímero. Finalmente se desarrollaron las combinaciones contempladas en los cuadros 3.2.a y 3.2.b.

Todos los tratamientos cumplieron con las expectativas para la realización del biopolímero, debido a que todos presentaban muy buena consistencia.

Los biopolímeros naturales provienen de cuatro grandes fuentes: origen animal (colágeno/ gelatina), origen marino (quitina/quitosano), origen agrícola (lípidos, grasas, celulosa, hemicelulosa, proteínas, amilosa y amilopectina) y origen microbiano (ácido poliláctico (PLA) y polihidroxicanoatos (PHA) (Navia & Villada, 2016).

Los empaques biodegradables se obtienen de recursos naturales renovables como el almidón y bagazo de caña de azúcar, debido a que la estructura del almidón permite la formación de interacciones entre la matriz polimérica y la fracción de celulosa y hemicelulosa que posee el bagazo de caña de azúcar. Además, pueden ser mezclados con plastificantes para mejorar las propiedades mecánicas (Díaz, 2017).

Según Cabrera y Novoa (2016), el bagazo de caña de azúcar resulta ser una fuente de biomasa (70.5%) con alto potencial de aprovechamiento para los procesos biotecnológicos, por su alta concentración de celulosa (49.3%) y hemicelulosa (21.2%).

Por otra parte, el almidón posee polímeros de forma lineal (amilosa) y ramificada (amilopectina). El contenido de amilopectina en el almidón de yuca, es de 79.53% a 79.99%, y la variación en los contenidos de amilosa (17% a 25%) indica su capacidad para formar bioplásticos y geles (Díaz, 2017).

Con la adición de resina en estado líquido, se mejora la dispersión de los carbonatos (calcio y magnesio) y su interacción con el resto de componentes (Ponce & Guerrero, 2014).

Los biopolímeros resultantes de los 9 tratamientos, no alcanzaron el acabado superficial esperado, es decir, que no todos los tratamientos se adaptaron a la forma del plato en la termoprensa. Esto se debe a que, en el termoprensado, el espesor de la lámina disminuye principalmente en las paredes del plato, ocasionando que exista menor cantidad de matriz polimérica que cubra las fibras (Cabrera & Novoa, 2016).

4.1. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS (DUREZA, FRACTURABILIDAD Y DEFLEXIÓN) Y LA BIODEGRADABILIDAD DEL PLATO

Las variables mecánicas analizadas (dureza, fracturabilidad y deflexión) y la variable de biodegradabilidad, cumplieron con los supuestos de Anova ($p > 0.05$), por lo que se procedió a analizar los datos mediante pruebas paramétricas (ver cuadro 4.1).

Cuadro 4. 1. Supuestos del ANOVA para las variables en estudio

| Variables | Shapiro-Wilk | | | Levene | |
|-------------------|--------------|-------------|-------|--------|-------|
| | gl | Estadístico | Sig. | F | Sig. |
| Dureza | 27 | 0.807 | 0.104 | 2.634 | 0.056 |
| Fracturabilidad | 27 | 0.949 | 0.854 | 2.202 | 0.078 |
| Deflexión | 27 | 0.923 | 0.290 | 1.686 | 0.170 |
| Biodegradabilidad | 27 | 0.838 | 0.127 | 0.846 | 0.576 |

4.1.1. PROPIEDADES MECÁNICAS

En el cuadro 4.2, se presenta un resumen de los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza (ANOVA), donde se puede observar que las variables dureza, fracturabilidad y deflexión no muestran significancia ($p > 0.05$).

Cuadro 4. 2. Análisis de ANOVA para las propiedades mecánicas

| Fuente de variación | Variable dependiente | gl | Suma de cuadrados | Media cuadrática | F | Sig. |
|--|----------------------|----|-------------------|------------------|-------|-------|
| Total | Dureza | 26 | 105.731 | | | |
| | Fracturabilidad | 26 | 22.967 | | | |
| | Deflexión | 26 | 29.916 | | | |
| Factor A: Porcentaje de bagazo de caña | Dureza | 2 | 0.458 | 3.729 | 0.686 | 0.516 |
| | Fracturabilidad | 2 | 0.474 | 0.237 | 0.194 | 0.825 |
| | Deflexión | 2 | 0.802 | 0.901 | 0.591 | 0.564 |
| Factor B: Porcentaje de almidón de yuca | Dureza | 2 | 0.224 | 0.112 | 0.021 | 0.980 |
| | Fracturabilidad | 2 | 0.347 | 0.174 | 0.142 | 0.869 |
| | Deflexión | 2 | 0.470 | 0.235 | 0.154 | 0.858 |
| Factor A * Factor B: Porcentaje de bagazo de caña* Porcentaje de almidón de yuca | Dureza | 4 | 0.181 | 0.045 | 0.008 | 1.000 |
| | Fracturabilidad | 4 | 0.128 | 0.032 | 0.026 | 0.999 |
| | Deflexión | 4 | 0.214 | 0.054 | 0.035 | 0.997 |
| Error | Dureza | 18 | 97.867 | 5.437 | | |
| | Fracturabilidad | 18 | 22.017 | 1.223 | | |
| | Deflexión | 18 | 27.429 | 1.524 | | |

En gráfico 4.1 muestra las medias de la variable dureza, donde claramente se observa que, pese a no tener diferencia significativa, el tratamiento T6 compuesto por 25% de bagazo de caña de azúcar y 35% de almidón de yuca presenta un valor de 5.09 g de dureza, superior al de los otros tratamientos. Formulaciones con mayor dureza implican biopolímeros más resistentes; los cuales poseen una mayor aplicación industrial (Iguardía, 2019).

Tamayo (2018), indica que los valores de oscilación de la dureza en biopolímeros obtenidos a partir del almidón y fibra vegetal, oscila entre 10 y 30 g, lo que muestra que ninguno de los tratamientos está dentro de este rango. Según Vera (2017), concentraciones de fibra de bagazo de caña superiores a 10%, originan la reducción de la dureza en bandejas biodegradables. Así mismo, la concentración de almidón utilizada también puede influir en la dureza, debido a que el contenido de amilosa, afecta la rigidez de los gránulos del almidón (Díaz, 2017).

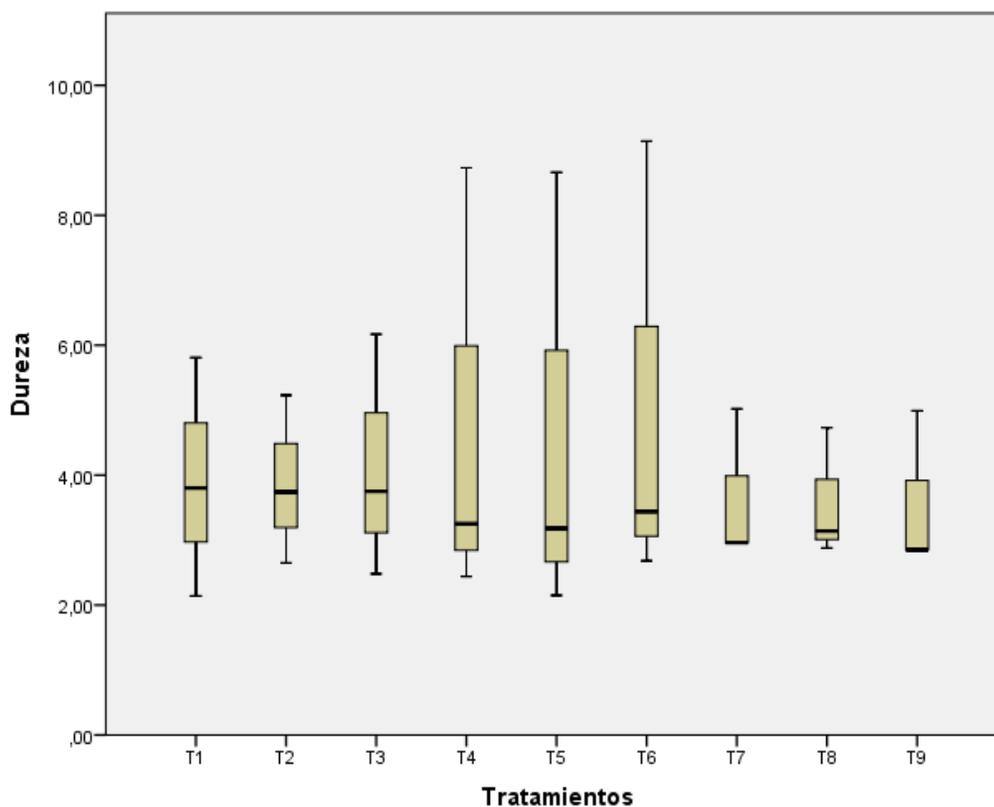


Gráfico 4. 1. Diagrama de cajas y bigotes para las medias de la variable dureza

Los diferentes tratamientos para la variable fracturabilidad, se presentan en el gráfico 4.2, en dónde nuevamente se puede observar que el tratamiento T6 compuesto por 25% de bagazo de caña de azúcar y 35% de almidón de yuca, presenta una mejor distribución de los datos. Espina y Cruz (2016) mencionan que, para bandejas de almidón de yuca, una concentración de fibra de bagazo de caña de 5% o mayor, favorece la fracturabilidad y por lo general se obtienen rangos de 1.81mm a 3.67mm. La media obtenida para el tratamiento T6, correspondiente a un valor de fracturabilidad de 3.25 mm, se encontró dentro del rango citado por los autores Espina y Cruz en su investigación sobre propiedades mecánicas en bandejas con almidón y fibra de caña de azúcar.

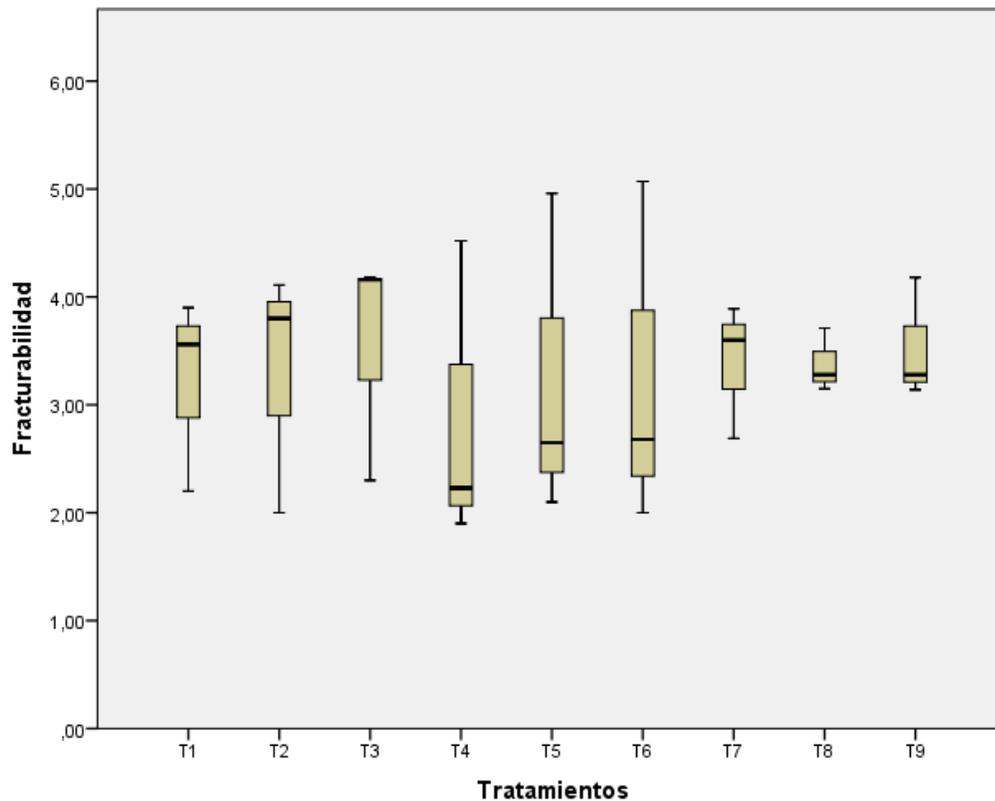


Gráfico 4. 2. Diagrama de cajas y bigotes para las medias de la variable fracturabilidad

Para la variable deflexión, se muestra en el gráfico 4.3 que el tratamiento T6 compuesto por 25% de bagazo de caña de azúcar y 35% de almidón de yuca logró obtener una mejor distribución de los datos.

Según López y Rojas (2018), existen variaciones de esta propiedad (deflexión) para materiales elaborados a base de matrices poliméricas y refuerzos de origen vegetal en rangos de 1.38 a 4.57 N/mm². El valor de deflexión obtenido en el tratamiento T6 es de 2.36 N/mm², por lo que se encuentra dentro del rango citado anteriormente.

Navia et al. (2013), mencionan que el valor deflexión se ve influenciado principalmente al agregarse una mayor cantidad de fibra a la matriz polimérica, siendo la proporción de material lignocelulósico un factor directamente proporcional a esta propiedad.

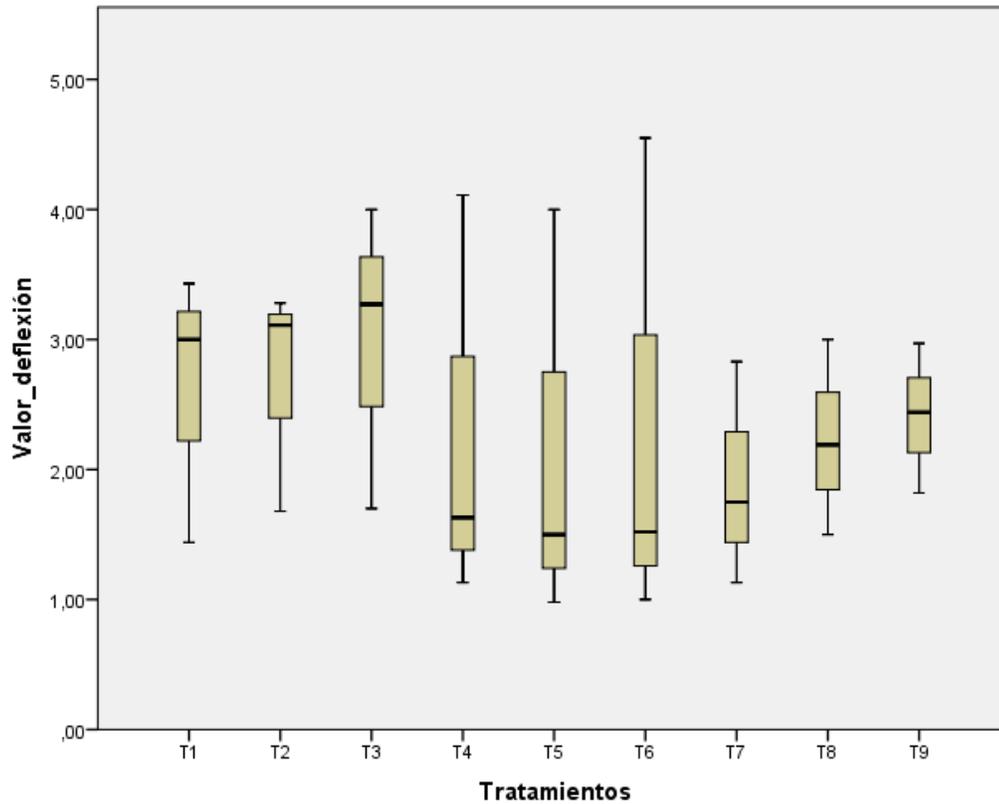


Gráfico 4. 3. Diagrama de cajas y bigotes para las medias de la variable deflexión

4.1.2. PORCENTAJE DE BIODEGRADACIÓN DEL PLATO

Para la variable porcentaje de biodegradación, los resultados del ANOVA determinaron diferencias significativas ($p < 0.05$) para el factor A, factor B y combinación de ambos (tratamientos) (cuadro 4.3)

Cuadro 4. 3. ANOVA para los factores porcentaje de bagazo de caña y porcentaje de almidón de yuca de la variable porcentaje de biodegradación

| Fuente de variación | gl | Suma de cuadrados | Media cuadrática | F | Sig. |
|---|----|-------------------|------------------|-------------|-------|
| Total | 26 | 18328.606 | | | |
| Factor A: Porcentaje de bagazo de caña | 2 | 4059.184 | 2029.592 | 3027568.243 | 0.000 |
| Factor B: Porcentaje de almidón de yuca | 2 | 8185.070 | 4092.535 | 6104886.431 | 0.000 |
| Factor A * Factor B: Porcentaje de bagazo de caña* Porcentaje de almidón de yuca | 4 | 6084.340 | 1521.085 | 2269021.657 | 0.000 |
| Error | 18 | 0.012 | 0.001 | | |

Al realizar La prueba de Tukey (cuadro 4.4) para el factor A (porcentaje bagazo de caña), se observa que el nivel a₂ (25% de bagazo de caña) presentó el mayor porcentaje de biodegradación, correspondiente a 64.41%, este valor se encuentra dentro de lo citado por Ruiz et al. (2016), quienes especifican que un plato elaborado con bagazo de caña de azúcar posee una biodegradabilidad entre 30% y 70%.

Por otra parte, Aguilar (2011) menciona que el bagazo de caña de azúcar en condiciones ambientales, constituye un rico sustrato para el desarrollo de microorganismos y tienen lugar efectos inevitables como el oscurecimiento de las fibras por acción de los hongos y la degradación de la misma que provoca la prehidrólisis ácida de los materiales celulósicos.

Cuadro 4. 4. Tukey para el factor porcentaje bagazo de caña de la variable porcentaje de biodegradación

| Factor A | N | Subconjunto | | |
|----------|---|-------------|---------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| a1 | 9 | 37.5522 | | |
| a3 | 9 | | 62.6144 | |
| a2 | 9 | | | 64.4167 |
| Sig. | | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

En la prueba de Tukey para el factor B (cuadro 4.5), se muestra que el nivel b₂ está situado en una mejor categoría estadística con un porcentaje de biodegradación para porcentaje de biodegradabilidad de 72.24%. Según Merchán et al. (2010) el almidón tiene naturaleza hidrofílica es, decir que posee la capacidad de absorber agua. La propiedad

La norma ISO 14855-2, marca como criterio que envases elaborados con biopolímeros provenientes de fuentes vegetales, han de biodegradarse al menos un 90% en seis meses.

Para Medina (2017) el porcentaje de biodegradación de envases que utilicen en su composición entre 10% y 30% de bagazo de caña de azúcar, por lo general debe ser una biodegradabilidad >70% en un periodo de 90 días. Por otra parte, Menoscal y Rodríguez (2017) en su investigación sobre la degradación de productos con adición de almidón en matriz polimérica, obtuvieron un porcentaje de biodegradación de 97% durante un período de 73 días.

Merchan et al. (2009) detallan que un factor que podría influir en el porcentaje de degradación, es la facilidad con la que atacan los microorganismos a las zonas amorfas creadas en la plastificación del almidón (Merchán *et al.*, 2009), mientras que, en el caso del bagazo de caña de azúcar, este comienza a biodegradarse cuando el material lignocelulósico genera biogás, debido a la interacción con el ambiente circundante (Fernando, 2014).

Cabe mencionar que los plásticos satisfacen gran cantidad de necesidades, pero dejan a su paso impactos ambientales que perduran por décadas, debido a su difícil descomposición (Arrieta, Durango & Arizal, 2018), es por ello que resulta una ventaja producir envases que se degraden el 90% en un tiempo menor a 6 meses, debido a que, al descomponerse en un tiempo menor, reducen la huella de carbono y la liberación de elementos químicos y gases a la atmósfera.

Según López et al. (2018) para que un envase obtenga la etiqueta de "biodegradable", debe cumplir con una biodegradabilidad del 90% antes de seis meses, es decir, el material de elaboración debe estar desintegrado antes de 3 meses y con un 90% menos de su masa inicial.

En la presente investigación se acepta la hipótesis debido a que uno de los tratamientos (T5 = 25% bagazo de caña y 25% almidón de yuca) logró obtener un 94.26% de biodegradabilidad en un tiempo de evaluación de 45 días, considerándolo un plato biodegradable.

4.2. ANÁLISIS DE TOXICIDAD

Los análisis de toxicidad se realizaron al tratamiento T5 (25% bagazo de caña de azúcar y 25% de almidón de yuca), debido a que este presentó el mejor porcentaje de biodegradación (94.26%), dichos análisis lograron evidenciar que para este tratamiento no hubo toxicidad (ver anexo 4 y 7), lo que según López et al. (2017) se debe a que los biopolímeros por su procedencia (residuos agroindustriales) poseen una baja toxicidad, por ello su prometedora posibilidad para aplicaciones en bioplatos.

4.3. VALORACIÓN DEL COLOR

Para la variable organoléptica correspondiente al color, se procedió a evaluar mediante la prueba no paramétrica de Friedman (cuadro 4.7) la valoración de los cincuenta jueces no entrenados.

La prueba de Friedman evidenció una significancia >0.05 , siendo la distribución de la variable organoléptica, correspondiente al color, estadísticamente igual para todos los tratamientos en estudio; por tanto, se retiene la hipótesis nula.

Cuadro 4. 7. Análisis de Friedman para la característica color de los tratamientos

| Hipótesis nula | Test | Sig. | Decisión |
|--|--|-------|---------------------------|
| La distribución de. Color es la misma entre las categorías de Tratamientos | Análisis de dos vías de Friedman de varianza por rangos de muestras relacionadas | 0.601 | Retener la hipótesis nula |

Como se observa en el gráfico 4.4, la mayoría de los tratamientos con respecto al color tuvieron una ponderación entre 4 y 5 que corresponde a: me agrada poco y me agrada mucho respectivamente.

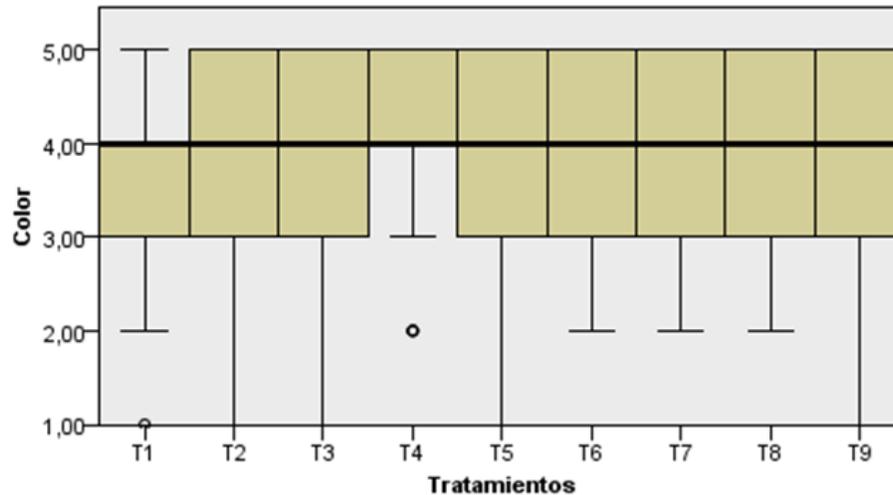


Gráfico 4. 4.Gráfico de caja y bigote de la respuesta sensorial color en los platos biodegradables

Los platos obtenidos con fibras de bagazo de caña y almidón de yuca presentaron un color crema con tonos verdosos (ver anexo 3), lo que resultó aceptable para los catadores.

Según Espina y Cruz (2016), en su investigación sobre bandejas elaboradas con almidón de especies vegetales y fibras de residuos agroindustriales, este tipo de bandejas/platos por lo general son blancas, ligeramente amarillas con tonos púrpuras, dependiendo del tipo de fibra natural utilizada.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El bagazo de caña de azúcar y almidón de yuca son una alternativa para el desarrollo de platos biodegradables, con diferentes aplicaciones industriales.
- El tratamiento T6 presentó mejores propiedades de dureza, fracturabilidad y deflexión.
- El tratamiento T5 a base de 25% bagazo de caña y 25% almidón de yuca, presentó un porcentaje de biodegradación de 94.26% en un periodo de 45 días, encontrándose dentro de lo especificado por la norma ISO 14855-2.
- El 25% de bagazo de caña y 25% de almidón de yuca, en la formación del plato biodegradable no presentó toxicidad.
- Todos los tratamientos evaluados con la prueba de preferencia presentaron una calificación aceptable para el atributo color.

5.2. RECOMENDACIONES

- Utilizar la mezcla de 25% de bagazo de caña de azúcar y 25% de almidón de yuca para la elaboración de biopolímeros biodegradables debido a su alto porcentaje de biodegradabilidad.
- Optar por un estudio de factibilidad, que permita demostrar la rentabilidad de producir un bioplato con 25% de bagazo de caña de azúcar y 25% de almidón de yuca, y poder así entrar al mercado nacional.
- Evaluar la biodegradabilidad de los platos por un tiempo de 90 días, con la finalidad de observar si las formulaciones se descomponen en un 100%

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, N. (2011). Análisis de la capacidad de drenado de celulosa de bagazo de caña de azúcar. *Ingeniería, XVII*(2), 103-112. Recuperado el 2 de febrero de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/38292190_Analisis_de_la_capacidad_de_drenado_de_celulosa_de_bagazo_de_cana_de_azucar
- Bolio, G. (2016). Obtención de celulosa a partir de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). *Agro Productividad, VX*(7). Recuperado el 02 de febrero de 2019, de <http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/784>
- Cabrera , C., & Novoa , C. (2016). Influencia de la concentración y temperatura de fermentación de azúcares reductores obtenidos a partir de hidrolizado de bagazo de caña de azúcar, en la obtención de un biopolímero empleando *Bacillus subtilis*. *Agroindustrial Science, VI*(1), 17-27.
- Castro, S., & Huerta , A. (2015). Respuesta de variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) a la fertilización NPK bajo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, I*(11), 2225-2232. Recuperado el 2 de febrero de 2019, de <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263138103022.pdf>
- Chumo , N., & González, J. (Noviembre de 2017). *Ecotableros a base de residuos agroindustriales*. Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/673/1/TMA152.pdf>
- Díaz, X. (2017). Caracterización y optimización de una bandeja biodegradable a partir maíz, papa, soya y glicerol por el método de termopresado. Honduras. Recuperado el 22 de Julio de 2020, de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6055/1/AGI-2017-021.pdf>
- Dogossy, G., & Czigány, T. (2006). Modelling and investigation of the reinforcing effect of maize hull in PE matrix composites. *Polymers for Advanced Technologies, 17*, 825-829.
- Domínguez, K. (27 de abril de 2017). *Investigo*. Obtenido de <http://blog.circuitocultural.org/2017/04/27/contaminacion-por-plasticos/>
- Espina, M., & Crúz, R. (2016). Propiedades mecánicas de bandejas elaboradas con almidón de especies vegetales nativas y fibras de residuos agroindustriales. *Scientia Agropecuaria, 7*(2), 133-143.
- Espinoza, H. (2016). *Análisis bromatológicos de la harina obtenida del algarrobo (Ceratonia siliqua)*. ESPAM, Calceta.
- Espinoza, H. (2018). *Efectos de la fermentación láctica del lactosuero y alcohólica del mucílago de cacao en la concentración final de una bebida alcohólica*. Calceta. Recuperado el 02 de febrero de 2019, de <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/891/1/TTA110.pdf>

- FAO. (octubre de 2006). El mercado de almidón añade valor a la yuca. *Enfoques*. Obtenido de <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0610sp1.htm>
- Fernando, A. (2014). Análisis de la biodegradabilidad de una bolsa compostable formada por una mezcla de copoliéster y ácido poliláctico bajo condiciones anaerobias controladas: ISO 15985:2004. Recuperado el 24 de Julio de 2020, de <http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT%202014/1896712018.pdf>
- Flores, E. (2013). Composición del bagazo de caña por análisis termogravimétrico. *Ingeniería Química, I*. Recuperado el 02 de febrero de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/258848531_Composicion_del_bagazo_de_cana_por_analisis_termogravimetrico
- García, A. (2015). *Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz*. Santa Tecla. Recuperado el 02 de febrero de 2019, de <https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2015-Obtencion-de-un-polimero-biodegradable.pdf>
- Gobierno Provincial de Manabí. (7 de septiembre de 2018). Obtenido de <http://www.manabi.gob.ec/12533-se-busca-reducir-el-plastico-en-manabi.html>
- Gómez, F., Sentíes, H., Pérez, J., & Trejo, L. (2018). La caña de azúcar ofrece más que azúcar: oportunidades de diversificación. *Agro Entorno, I*. Recuperado el 2 de febrero de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/283043940_La_cana_de_azucar_ofrece_mas_que_azucar_oportunidades_de_diversificacion
- Google Maps. (2018). *Google Maps*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/place/ESPAM+MFL+-+C.+AGROINDUSTRIAS/@-0.8248701,-80.1866144,2220m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0x39852a97adad4637!8m2!3d-0.8264577!4d-80.1862623>
- Gudiel, A., Cruz, J., Cueva, F., & Siguenza, Y. (2018). *DISEÑO DE PLANTA DE PRODUCCIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE PLATOS BIODEGRADABLES A BASE DE ESTOPA DE COCO*. Piura: PIRHUA .
- Huerta, E. (2015). Los plásticos y la salud humana y ambiental. *El Comercio*, 20-22. Obtenido de http://www.actualidadambiental.pe/wp-content/uploads/2015/02/elcomercio_2015-02-02_14.pdf
- Iguardia, C. (2019). Síntesis y caracterización de bioplástico a partir de almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad Cavendish). Guatemala. Recuperado el 7 de Agosto de 2020, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3523.pdf
- INEC. (11 de diciembre de 2015). *ecuadorencifras.gob.ec*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/los-ecuatorianos-producen-057-kilogramos-de-residuos-solidos-diario/>

- López, D., & Rojas, A. (2018). Factores que influyen las propiedades mecánicas, físicas y térmicas de materiales compuestos maderos plásticos. *Entre ciencia e ingeniería*, XII(23), 93-102.
- López, S., Chávez, S., & Chuquizuta, T. (2017). Evaluación de la vida útil de dos frutas usando un envase biodegradable de yuca (*Manihot esculenta*). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, XIX(4), 373-380.
- Merchán, J., Ballesteros, D., Jiménez, I., Medina, J., & Álvarez, O. (2010). Estudio de la biodegradación aerobia de almidón termoplástico (TPS). *Revista Latinoamericana de Metalurgia*, I, 39-44.
- Molero, M., Flores, C., Leal, M., & Briñez, W. (2017). Evaluación sensorial de bebidas probióticas fermentadas a base de lactosuero. *Sistema de Información Científica*, XXVII(1).
- N., K., O., K., & N., L. (2011). Biodegradable foam tray from cassava starch blended with natural fiber and chitosan. *Industrial Crops and Products*, 37, 542-546.
- Navia, D., & Bejarana, N. (2014). Evaluación de propiedades físicas de bioplásticos termo-comprimidos elaborados con harina de yuca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, XII(2). Recuperado el 05 de 02 de 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n2/v12n2a05.pdf>
- Navia, D., & Villada, H. (2016). Impacto de la investigación en empaques biodegradables en ciencia, tecnología e innovación. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustria*, XII(2), 173-180.
- Otey, F., & Westhoff, R. (2016). *Biodegradable starch based blown films*. Estados Unidos
- Ponce, S., & Guerrero, V. (2014). Propiedades mecánicas de compuestos biodegradables elaborados a base de ácido poliláctico reforzados con fibras de abacá. *REVISTA EPN*, XXXIII(2), 1-11.
- Ramos, M., Romero, C., & Bautista, S. (2018). Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, XIX(1). Recuperado el 11 de febrero de 2019, de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/813/81355612003/html/index.html>
- Rodríguez, A. (2012). Biodegradabilidad de materiales bioplásticos. *Ciencia y Tecnología de los alimentos*, XXII(3). Recuperado el 02 de febrero de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/328676031_Biodegradabilidad_de_materiales_bioplasticos
- Rodríguez, A. (2017). Biodegradabilidad de materiales bioplásticos. *Ciencia y tecnología de alimentos*, XXII, 69-72. Recuperado el 11 de febrero de 2019, de

https://www.researchgate.net/publication/328676031_Biodegradabilidad_de_materiales_bioplasticos

- Rojo Nieto, E., & Montoto, T. (enero de 2017). Basuras marinas, plasticos y microplasticos; orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global. *Ecologistas en acción*, 4-6. Obtenido de <https://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/informe-basuras-marinas.pdf>
- Ruiz, M., Pastor, K., & Acevedo, A. (2016). Biodegradabilidad de Artículos Desechables en un Sistema de Composta con Lombriz. *Información Tecnológica*, XXIV(2), 47-56.
- Sáez, A., & Urdaneta, J. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*(3), 121-135. Obtenido de <http://www.redalyc.org/html/737/73737091009/>
- Salgado, R. (2014). Bioplásticos: productos biodegradables. *Saber Más*, 14-15. Obtenido de <https://www.sabermas.umich.mx/secciones/tecnologia/285-bioplasticos-productos-biodegradables.html>
- Tamayo, E. (2018). Aplicación de materiales amigables con el ambiente, sustitutos al poliestireno expandido para uso en hidroponía. Lima. Recuperado el 22 de Julio de 2020, de https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/8287/Tamayo_g_e%20-%20Resumen.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Toledo , L. (2017). *Determinación de la influencia de la cinética en la propuesta tecnológica para la acetilación de almidón de yuca*. Recuperado el 2 de febrero de 2019, de <http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/8555/Toledo%20Mart%C3%ADnez%2C%20Lissett%20de%20la%20Caridad%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Torres, J; González, K & Acevedo, D. (2015). Análisis del perfil de textura en frutas, productos cárnicos y quesos. *Revista ReCiTela*. 14 (2). P 68
- Tupa, M. (2015). Desarrollo de una metodología sostenible de síntesis de almidones acetilados. Recuperado de https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n5826_TupaValencia.pdf
- Vera, A. (2017). Características reológicas y texturales de geles de almidón extraído de papa nativa (*Solanun tuberosum* L) variedades breña y perla cultivadas en el distrito de chugay-provincia de sánchez carrión. Trujillo. Recuperado el 22 de Julio de 2020

ANEXOS

ANEXO 1 TERMOPRENSA



ANEXO 2 FORMULACIÓN DE BIOPOLÍMEROS



ANEXO 3

Biopolímero a escala de laboratorio



ANEXO 4

Análisis toxicológico



ANEXO 5

Muestras para pruebas mecánicas



ANEXO 6

Biodegradabilidad de las muestras

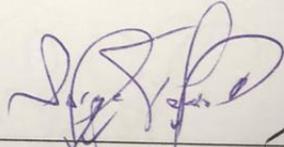


ANEXO 7

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE TOXICIDAD

| | | |
|--|---|---|
|  REPUBLICA DEL ECUADOR |  ESPAMMFL ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ "MANUEL FÉLIX LÓPEZ" |  |
| LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA DEL ÁREA AGROINDUSTRIAL | | |
| NOMBRES DE ESTUDIANTES: | | BARREIRO FAUBLA FABIANA ISABEL CORONEL TROYA ALEJANDRO BOLÍVAR |
| DIRECCIÓN: | | CALCETA |
| FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS: | | 04/02/2020 |
| FECHA DE ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS: | | 04/02/2020 |
| MUESTRAS A REALIZAR: | | 1 |
| IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: RESULTADOS TOXICOLÓGICOS DEL PLATO ELABORADO | | |

| TOXICIDAD | RESULTADOS |
|-----------|-------------------------------|
| GRADO 4 | ----- |
| GRADO 3 | ----- |
| GRADO 2 | ----- |
| GRADO 1 | ----- |
| GRADO 0 | NO HAY PRESENCIA TOXICIDAD |

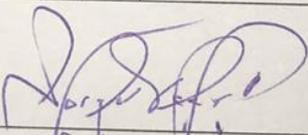

 Ing. Jorge Teca D.
 TÉCNICO DEL LABORATORIO



ANEXO 8

Resultados de biodegradación

|  ESPAMMFL  | | | |
|--|---|--------|--------|
| REPUBLICA DEL ECUADOR ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ "MANUEL FELIX LOPEZ" | | | |
| LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA DEL AREA AGROINDUSTRIAL | | | |
| NOMBRES DE ESTUDIANTES: | BARREIRO FAUBLA FABIANA ISABEL CORONEL TROYA ALEJANDRO BOLÍVAR | | |
| DIRECCIÓN: | CALCETA | | |
| FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS: | 13/01/2020 | | |
| FECHA DE ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS: | 20/01/2020 – 27/01/2020 – 03/02/2020 – 10/02/2020 – 17/02/2020 – 24/02/2020 | | |
| MUESTRAS A REALIZAR: | 27 | | |
| IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: RESULTADOS DE BIODEGRADACIÓN DE PLATOS ELABORADOS A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR Y ALMIDÓN DE YUCA | | | |
| TRATAMIENTOS | R1 (%) | R2 (%) | R3 (%) |
| T1 | 43.14 | 43.12 | 43.17 |
| T2 | 35.72 | 35.83 | 35.77 |
| T3 | 33.72 | 33.69 | 33.74 |
| T4 | 24.89 | 24.90 | 24.86 |
| T5 | 94.26 | 94.24 | 94.29 |
| T6 | 74.10 | 74.15 | 74.06 |
| T7 | 25.17 | 25.16 | 25.18 |
| T8 | 86.66 | 86.68 | 86.65 |
| T9 | 76.01 | 75.99 | 76.03 |



Ing. Jorge Teca D.
TÉCNICO DEL LABORATORIO



ESPAMMFL

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FELIX LOPEZ

Carrera de
AGROINDUSTRIA

LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA

ANEXO 9

RESULTADOS DE PROPIEDADES MECÁNICAS



Uleam
UNIVERSIDAD LUISA
ELOY ALFARO DE MANABÍ

Lab. De Investigación de Alimentos
Facultad Ciencias Agropecuarias

Manta 26 de febrero de 2020

A Quien Corresponda

Ciudad. -

CERTIFICO: Que los análisis presentados en este informe corresponden a los estudiantes **Barreiro Faula Fabiana Isabel C.I. 131687251-2** y **Coronel Troya Alejandro Bolívar C.I. 095018096-8**, Estudiantes de Pregrado de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí (ESPAM MFL.). Los análisis fueron realizados en el Lab. De Investigación de Alimentos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la (ULEAM), siendo estos los siguientes: (**Dureza, Fracturabilidad y Deflexión, en muestras de platos biodegradables**), dicho análisis corresponde al trabajo de titulación "**Bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*) como sustituto de poliuretano en la elaboración de platos biodegradables**".

| MUESTRA | DUREZA (g) | FRACTURABILIDAD (mm) | DEFLEXION (N/mm2) |
|----------|------------|----------------------|-------------------|
| M1R1 | 5,81 | 3,90 | 3,43 |
| M1R2 | 5,23 | 4,11 | 3,28 |
| M1R3 | 6,17 | 4,16 | 4,00 |
| PROMEDIO | 5,74 | 4,06 | 3,57 |
| M2R1 | 8,73 | 4,52 | 4,11 |
| M2R2 | 8,66 | 4,96 | 4,00 |
| M2R3 | 9,14 | 5,07 | 4,55 |
| PROMEDIO | 8,84 | 4,85 | 4,22 |
| M3R1 | 5,02 | 3,60 | 2,83 |
| M3R2 | 4,73 | 3,28 | 3,00 |
| M3R3 | 4,99 | 3,14 | 2,97 |
| PROMEDIO | 4,91 | 3,34 | 2,93 |
| M4R1 | 3,80 | 3,56 | 3,00 |
| M4R2 | 3,74 | 3,80 | 3,11 |
| M4R3 | 3,75 | 4,18 | 3,27 |
| PROMEDIO | 3,76 | 3,85 | 3,13 |
| M5R1 | 3,25 | 2,23 | 1,63 |
| M5R2 | 3,18 | 2,65 | 1,50 |
| M5R3 | 3,44 | 2,68 | 1,52 |
| PROMEDIO | 3,29 | 2,52 | 1,55 |
| M6R1 | 2,96 | 2,69 | 1,75 |
| M6R2 | 3,14 | 3,15 | 1,50 |
| M6R3 | 2,85 | 3,28 | 1,82 |
| PROMEDIO | 2,98 | 3,04 | 1,69 |



Téc. Responsable de Lab. De Tecnologías de Lácteos
Téc. Responsable de Lab. De Investigación de Alimentos



www.uleam.edu.ec

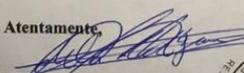


Uleam
UNIVERSIDAD LAICA
ELOY ALFARO DE MANABÍ

Lab. De Investigación de Alimentos
Facultad Ciencias Agropecuarias

| | | | |
|-----------------|------|------|------|
| M7R1 | 2,14 | 2,20 | 1,44 |
| M7R2 | 2,65 | 2,00 | 1,68 |
| M7R3 | 2,48 | 2,30 | 1,70 |
| PROMEDIO | 2,42 | 2,17 | 1,61 |
| M8R1 | 2,44 | 1,90 | 1,13 |
| M8R2 | 2,15 | 2,10 | 0,98 |
| M8R3 | 2,68 | 2,00 | 1,00 |
| PROMEDIO | 2,42 | 2,00 | 1,04 |
| M9R1 | 2,96 | 3,89 | 1,13 |
| M9R2 | 2,88 | 3,71 | 2,19 |
| M9R3 | 2,85 | 4,18 | 2,44 |
| PROMEDIO | 2,90 | 3,93 | 2,56 |

Atentamente,


Ing. Marlon Castro García, Mg

Téc. Responsable de Lab. De Tecnologías de Lácteos
Téc. Responsable de Lab. De Investigación de Alimentos

www.uleam.edu.ec



Uleam

