



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

Tema: Elaboración de platos biodegradables germinables a partir de materiales agroindustriales

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo la obtención del Título de Ingeniera Biotecnóloga, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Daisy Paola Lozada Pérez

Tutor: Mg. Gabriel Alejandro Moreno Toasa

Ambato – Ecuador

Febrero - 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

Mg. Gabriel Alejandro Moreno Toasa

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 14 de enero de 2025

Mg. Gabriel Alejandro Moreno Toasa

1500647910

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Daisy Paola Lozada Pérez, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera Biotecnóloga, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.



Daisy Paola Lozada Pérez

1804362208

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Informe Final del Trabajo de Titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final del Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Daisy Paola Lozada Pérez

1804362208

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos docentes calificadores, aprueban el Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Presidente de Tribunal

Mg. Danae Fernández Rivero
1757181209

Mg. Daniel Alfonso Cabrera Valle
1802561595

Ambato, 30 de enero de 2025

DEDICATORIA

A mi familia

En especial a mis padres, Milton y Rosario pilares inquebrantables de mi vida, cuyo amor, sacrificio y constante apoyo han sido la base sobre la cual he construido mis sueños; su ejemplo de integridad y dedicación a moldeado mi carácter y mis aspiraciones para alcanzar esta meta.

A mis queridos abuelitos, Piedad y Julián mis ángeles, que desde el cielo han sido mis guías espirituales, inspirándome con su legado de valores y enseñanzas que perduran en mi corazón.

A mis hermanos Alexis y Evelyn, mis compañeros de vida y confidentes cuyo apoyo ha sido fundamental en este recorrido.

A mis amados sobrinos, la luz de mis ojos: Josué, Steven, Ariadna y Derek, cuyas sonrisas y energía han sido un faro de esperanza y motivación, recordándome la importancia de perseverar y ser un ejemplo a seguir luchando sin rendirme.

Daisy Paola Lozada Pérez

AGRADECIMIENTO

A Dios, mi creador, le agradezco por el regalo más grande: la vida, por permitirme caminar en este sendero de aprendizajes, a veces arduo, pero siempre lleno de bendiciones. A la Virgen Santísima de Agua Santa, por ser mi luz en la oscuridad, por envolverme en su manto de amor y protección, guiándome con ternura y fortaleza en cada paso que di durante mi formación académica.

A mis padres, los ángeles que Dios me dio en esta tierra, a quienes debo todo lo que soy. Su amor incondicional ha sido mi refugio, su sacrificio mi impulso, su fe en mí mi mayor tesoro. Son mi fortaleza, mi razón para seguir adelante, mi inspiración eterna.

A mi tutor, Mg. Gabriel Moreno, le agradezco profundamente por su paciencia infinita, por su sabiduría generosa y por su dedicación. Su apoyo incondicional y su confianza en mí fueron la chispa que encendió mi determinación. Agradezco su tiempo, su entrega, y sobre todo, su fe en este proyecto y en mi capacidad de llevarlo a cabo. Sin su guía, este sueño no habría sido posible.

Gracias a todos los que con su apoyo, su tiempo y su aliento, han sido parte de este viaje. Cada uno ha dejado una huella en mi corazón, y este logro es, en gran parte, suyo también.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN EJECUTIVO	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1 Antecedentes investigativos.....	1
1.1.1 Contaminación ambiental por residuos plásticos.....	3
1.1.2 Termoplásticos	5
1.1.3 Productos biodegradables	6
1.1.4 Cultivos de maíz.....	8
1.1.5 Semillas de rábano y lechuga	10
1.2 Objetivos	12
1.2.1 Objetivo General	12
1.2.2 Objetivos Específicos	12
METODOLOGÍA.....	13
2.1 Materiales	13
2.2 Métodos.....	14
2.2.1 Métodos de obtención, preparación y formulación de muestras	16
2.2.1.1 Obtención y preparación de materias primas	16
2.2.2 Métodos de identificación de las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas de platos biodegradables germinables.....	20
2.2.2.1 Propiedades Fisicoquímicas	20

2.2.2.2	Propiedades Mecánicas	20
2.2.2.3	Propiedades Ópticas	21
2.2.3	Métodos de estimación del tiempo de biodegradación y la capacidad de germinación de los platos en el suelo.....	22
2.2.3.1	Tiempo de biodegradación	22
2.2.3.2	Materia seca (%MS).....	22
2.2.3.3	Capacidad de germinación platos biodegradables	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		24
3.1	Análisis y discusión de resultados	24
3.1.1	Platos biodegradables a partir de materiales agroindustriales.....	24
3.1.2	Propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas de los platos biodegradables germinables	25
3.1.2.1	Propiedades Fisicoquímicas	25
3.1.2.2	Propiedades mecánicas.....	28
3.1.2.3	Propiedades ópticas	31
3.1.2.4	Estimación del tiempo de biodegradación y la capacidad de germinación de los platos en el suelo.....	35
3.1.2.5	Tasa de germinación.....	39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		42
4.1	Conclusiones	42
4.2	Recomendaciones	43
Referencias Bibliográficas		44
Anexos.....		52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla1.	Reactivos, material fungible y equipos	13
Tabla2.	Combinaciones del diseño.....	15
Tabla3.	Resultados obtenidos de las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas (transparencia) de los platos biodegradables germinables a partir de materiales agroindustriales y control (Plato desechable P 17 de poliestireno).	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama esquemático de las vías de degradación de la materia orgánica.	7
Figura 2.	Diagrama del proceso de obtención y preparación de materia prima hojas de maíz (<i>Zea mays</i>).	16
Figura 3.	Diagrama del proceso de papel Kraft de segundo uso	17
Figura 4.	Diagrama del proceso de elaboración de platos biodegradables germinables.....	18
Figura 5.	Platos biodegradables germinables a partir de materiales agroindustriales. A: Plato biodegradable germinable T7 (25% Maíz 30% papel); B, C: Aplicación de plato biodegradable germinable.	24
Figura 6.	Análisis de espesor en platos biodegradables germinables obtenidos a partir materiales agroindustriales. A: micrómetro manual (0-25 mm); B:15 mediciones en platos biodegradables germinables.	27
Figura 7.	Análisis de permeabilidad al vapor de agua (PVA). A: Recipientes (plato + gel de sílice). B: Sistema completo en desecador con agua destilada (100 % HR). C: PVA después de 24 horas.....	29
Figura 8.	Solubilidad de platos biodegradables germinables a partir de materiales agroindustriales. A: Obtención de muestras; B: Proceso de solubilidad de cada tratamiento; C,D: Secado de las muestras luego del filtrado mediante la metodología descrita por Arancibia et al., (2014).....	30
Figura 9.	Modelo de color en la escala CIE lab tridimensional	31
Figura 10.	Parámetros de color escala CIE-Lab en platos biodegradables a partir de materiales agroindustriales. L*: (Luminosidad); a*: (rojo/verde); b*: (amarillo/azul). T1 a T8: Tratamientos platos biodegradables germinables; Control: Plato desechable P 17 de poliestireno).	32
Figura 11.	A: Gráfica de Pareto de efectos estandarizados de humedad. B: Gráfica de interacción de solubilidad del Factor A (Fibra de Maíz) vs el Factor C (papel reciclado tipo Kraft de segundo uso).	35
Figura 12.	Ensayo de biodegradación de platos biodegradables germinables. A: Muestra de suelo + malla separadora; B, C: Enterrado de plato biodegradable y control (Platos desechables P17 de poliestireno); D: Proceso de biodegradación (45 días).	36
Figura 13.	Proceso de biodegradación del mejor Tratamiento T7 (25% Maíz +30% papel Kraft+1% Semilla) a partir de materiales agroindustriales desde el día 0 hasta el día 45 y Control: plato desechable de poliestireno P17	37

Figura 14. Pérdida de peso de los platos biodegradables a partir de materiales agroindustriales durante 45 días. Color verde: T7 (25% Maíz +30% papel Kraft+1% Semilla); Color azul: Control: plato desechable de poliestireno P17.	39
Figura 15. Porcentaje de germinación de rábano (<i>Raphanus sativus</i>) y lechuga (<i>Lactuca sativa</i>). T7 (25% Maíz +30% papel Kraft+1% Semilla) a partir de materiales agroindustriales desde el día 0 hasta el día 45.	41
Figura 16. Proceso de elaboración de platos biodegradables germinables. A, B, C: Preparación de materia prima (Maíz); D: Papel Kraft; E: Preparación del aglutinante; F: Secado de platos; G: Platos biodegradables germinables terminados y almacenados; H,I: Aplicación del plato biodegradable germinable.	52
Figura 17. Plato biodegradable germinable a partir de materiales agroindustriales terminado y almacenado. A,B: Aplicación de Barniz alimenticio, C: Almacenamiento.	53
Figura 18. Proceso de biodegradación del plato elaborado a partir de materiales agroindustriales al día 45 (6 semanas).	53
Figura 19. Gráficas de análisis de las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas de los platos biodegradables a partir de materiales agroindustriales.	54

RESUMEN EJECUTIVO

En esta investigación se elaboró platos biodegradables germinables a partir de materiales agroindustriales con la finalidad de evitar el consumo de platos desechables de un solo uso, que son arrojados a basureros, mares y océanos, provocando daños en la flora y fauna marítima. Indudablemente, los platos al tener un carácter germinativo se convierten en una propuesta única e innovadora para el consumidor porque luego de finalizada su vida útil, el plato regresa a la tierra y tiene la capacidad de cumplir el proceso de biodegradación y germinación. En cuanto a la metodología, se identificaron las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas de platos biodegradables germinables utilizando un diseño experimental, para ello se determinó el mejor tratamiento dando como resultado T7 con 25 por ciento de maíz (*Zea Mays*); 30 por ciento de papel Kraft de segundo uso (sin tinta, no blanqueado). Además, luego del análisis estadístico se determinó que las semillas de especies comestibles rábano (*Raphanus sativus*) y lechuga (*Lactuca sativa*), no tienen diferencias significativas que afecten al análisis de las propiedades. Finalmente, los platos se biodegradaron en 45 días mientras que, el porcentaje de germinación para rábano fue 85 por ciento y lechuga 75 por ciento. Por último, se demostró que las fibras naturales de los platos biodegradables germinables fueron ideales y son una alternativa ecológica para reducir la contaminación ambiental.

Palabras clave: Maíz (*Zea Mays*), gestión ambiental, biodegradación, germinable, propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas.

ABSTRACT

In this research, germinable biodegradable plates were developed from agro-industrial materials in order to avoid the consumption of disposable single-use plates, which are thrown into landfills, seas and oceans causing damage to the marine flora and fauna. Undoubtedly, since the plates have a germinative character, they become a unique and innovative proposal for the consumer because after its useful life is over, the plate returns to the earth and has the capacity to complete the biodegradation and germination process. As for the methodology, the physicochemical, mechanical and optical properties of germinable biodegradable plates were identified using an experimental design and the best treatment was determined, resulting in 25 percent corn (*Zea Mays*); 30 percent second-use Kraft paper (without ink, not bleached). In addition, after the statistical analysis it was determined that the seeds of edible species radish (*Raphanus sativus*) and lettuce (*Lactuca sativa*), do not have significant differences that affect the analysis of the properties. Finally, the plates biodegraded in 45 days while, the germination percentage for radish was 85 percent and lettuce 75 percent. It was demonstrated that the natural fibers of the germinable biodegradable dishes were ideal and the dishes are an ecological alternative to reduce environmental pollution.

Key words: Maize (*Zea Mays*), environmental management, biodegradation, germinable, physicochemical, mechanical and optical properties.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

En la actualidad, la preocupación mundial por el incremento desmedido de la contaminación ambiental es innegable. Esta problemática está estrechamente relacionada con la producción excesiva de productos derivados del petróleo, especialmente plásticos de un solo uso, diseñados para ser desechados tras su utilización. Estos materiales, comúnmente denominados desechables, presentan una alta resistencia a la degradación y en la mayoría de los casos, no son reciclables. Según la Organización de las Naciones Unidas **ONU, (2023)**, cada año se generan más de 400 millones de toneladas de residuos plásticos, de las cuales el 85% corresponde a plásticos de un solo uso. La combinación de una producción desmesurada, la falta de una cultura de reciclaje y los servicios limitados de recolección de basura ha provocado que aproximadamente 23 millones de toneladas de residuos plásticos terminen en ríos, mares y océanos. Una vez allí, estos desechos se fragmentan en microplásticos que ingresan a los ecosistemas marinos, causando un impacto directo en la flora y fauna. Muchas especies marinas confunden estos fragmentos con alimento, lo que compromete gravemente su salud y supervivencia. Además, este fenómeno tiene consecuencias indirectas para los seres humanos, quienes terminan consumiendo microplásticos a través de la cadena alimentaria **(Cubilla et al., 2019)**. Esta situación pone de manifiesto la urgencia de reducir la producción y el consumo de plásticos de un solo uso, promover prácticas sostenibles y fortalecer los sistemas de gestión de residuos. Solo a través de acciones concretas será posible mitigar los daños ambientales y proteger la biodiversidad y la salud humana.

Según un estudio realizado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (*PNUMA*) y el Ministerio de Ambiente de Panamá, aunque no se cuentan con datos exactos sobre la cantidad de plástico presente en los océanos, se estima que entre 5 y 50 billones de fragmentos plásticos flotan en ellos, y que aproximadamente 700 toneladas de estos residuos desembocan al mar cada año **(Sarria & Gallo, 2016); (Cubilla et al., 2019)**. Un dato relevante es la existencia de una zona en el océano Pacífico central conocida como “*la isla de la basura*”, caracterizada por una acumulación masiva de residuos plásticos. Esta formación se debe a las corrientes oceánicas que convergen y mantienen las aguas relativamente quietas en ciertas áreas, favoreciendo la concentración de desechos. Este fenómeno representa una amenaza crítica para los ecosistemas marinos y pone en evidencia la magnitud del problema global de la contaminación por plásticos **(Sarria & Gallo, 2016)**.

En 2021, los municipios del Ecuador recolectaron 13.652,5 toneladas de residuos sólidos diarios **(INEN, 2022)**. Cabe destacar que, una persona del sector urbano produce 0,9 kg de residuos sólidos al día y el 65,3% de residuos inorgánicos en el Ecuador solamente en la región Sierra. Del mismo modo, datos compartidos por **Galápagos Conservation Trust, (2020)** el 98% de residuos plásticos de las Islas

Galápagos ingresa por vía marítima provocando afecciones a la fauna marina. En Galápagos se han implementado regulaciones con la finalidad de reducir el uso de plásticos de un solo uso, incluidas las iniciativas que prohíben el uso de platos y utensilios plásticos en las islas (**Gobierno de Galápagos, 2023**). Los platos desechables son fabricados de poliestireno expandido, conocido como "*espuma de poliestireno*", este material es liviano y económico, por lo que el ser humano lo emplea en su vida cotidiana incluso remplazando la madera y vidrio (**Cubilla et al., 2019**). En consecuencia, los platos biodegradables son una alternativa sostenible a los platos plásticos tradicionales, ya que están diseñados para descomponerse naturalmente y así reducir el impacto ambiental (**Billmeyer, 2020**). En Latinoamérica existen empresas que desarrollan platos biodegradables de residuos orgánicos Aprovechando fibras de algunos productos como: cáscara de plátano, coronas de piña, coco, caña de azúcar, almidón de maíz, hojas de yuca y palma (**Moreno, 2022**).

De igual forma, **Chávez et al., (2022)**, mencionan que en el Ecuador hay una producción de 1.38 millones de toneladas de maíz (*Zea mays*) y en el año 2021 exportó 1,48 millones de dólares en maíz, convirtiéndolo en el exportador número 81 de maíz en el mundo (**OCE, 2023**). Así mismo, la fibra de las hojas de maíz está compuesta por celulosa (35% - 45%), hemicelulosa (25% - 35%) y lignina (10% - 20%), se descomponen eficazmente mediante microorganismos del suelo, lo que la convierte en una excelente opción para fabricar platos biodegradables. Estos platos se desintegran y convierten en compuestos no tóxicos durante el compostaje, gracias a la rápida biodegradación de sus componentes. Utilizar hojas de maíz no solo reduce el impacto ambiental de los residuos plásticos, sino que también ofrece una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente para productos desechables (**Luna et al., 2018**).

Considerando los antecedentes anteriores, se plantea elaborar platos biodegradables germinables a partir de la mezcla de hojas de maíz (*Zea mays*), papel Kraft de segundo uso (sin tinta, no blanqueado) y semillas de especies comestibles: rábano (*Raphanus sativus*) y lechuga (*Lactuca sativa*). Las semillas se eligen de acuerdo a su tiempo de germinación y su adaptabilidad, estas especies comparten varias similitudes en su cultivo, porque tienen un ciclo de crecimiento rápido. Los platos obtenidos se siembran directamente en el suelo o en macetas y germinan de 3 a 10 días aproximadamente. El plato enriquece el suelo en lugar de dañar el medio ambiente como lo hacen los platos desechables tradicionales por el material del que están hechos. Finalmente, esta propuesta contribuye a un ciclo sostenible y regenerativo, razones por lo cual justifican un aporte positivo al microbiota del suelo y es una forma ecológica de producir nuevos productos eco-amigables (**Villares, 2022**).

1.1.1 Contaminación ambiental por residuos plásticos

En la antigüedad, los utensilios se elaboraban con materiales disponibles en la naturaleza, como piedra, barro y madera **(Prieto, 2023)**. Sin embargo, con el paso del tiempo y el avance tecnológico, se descubrió que a partir de derivados del petróleo era posible fabricar plásticos mediante procesos de polimerización. Este desarrollo, aunque revolucionario, trajo consigo un impacto ambiental significativo, dando lugar a una de las problemáticas más graves de la actualidad: la contaminación ambiental (Roldán, 2021). Así mismo, la contaminación atmosférica, también conocida como contaminación ambiental, se define como la presencia de agentes químicos, físicos o biológicos que son perjudiciales para la salud, seguridad y el bienestar de las personas, así como para los seres vivos **(Palacios & Moreno, 2022)**. Este fenómeno, exacerbado por el uso masivo de plásticos y otros materiales no biodegradables, representa un desafío global para la sostenibilidad y la calidad de vida en el planeta.

Aristizábal et al., (2007) explican que la palabra "*plástico*" proviene del griego *plastikos*, que significa "*moldeable*", aludiendo a la maleabilidad que caracteriza a estos materiales. Los plásticos son polímeros sintéticos formados por pequeñas moléculas llamadas *monómeros*, las cuales se enlazan para crear estructuras complejas. Esta composición otorga a los plásticos propiedades únicas como resistencia a la corrosión, transparencia, flexibilidad, peso ligero, durabilidad y versatilidad **(Buteler, 2019)**. Gracias a estas características, los plásticos se emplean en la fabricación de una amplia gama de productos esenciales en la vida diaria, como botellas, tubos, tapas, fundas, platos y cajas, satisfaciendo diversas necesidades humanas **(Aristizábal et al., 2007)**. Sin embargo, esta misma versatilidad y durabilidad que los hacen tan atractivos, también representa un desafío ambiental significativo, que requiere soluciones urgentes y sostenibles. Según **Buteler, (2019)** los plásticos se pueden dividir de acuerdo a sus características termodinámicas en: *elastómeros*: Caucho natural, Caucho de estireno-butadieno (*SBR*), Poliuretano termoplástico (*TPU*); *termoplásticos*: Polietileno (*PE*), Polipropileno (*PP*), Poliestireno (*PS*) Policloruro de vinilo (*PVC*), Polietilentereftalato (*PET*); y *termoestables*: Resinas epoxi (*EP*), Poliuretano termoestable (*PUR*) y Poliéster insaturado (*UPR*) (Vázquez, 2001).

Según **Cedeño et al., (2022)**, en la última década se ha producido más plástico que en toda la historia y España se ha consolidado como el cuarto país de la Unión Europea con mayor demanda de este material. Además, datos de (*ONU*) advierten que para 2050 habrá cerca de 12 mil millones de toneladas de desechos plásticos acumulados en vertederos, mares y océanos. Si no se toman medidas efectivas, para ese mismo año se proyecta que habrá más plásticos que peces en el mar **(Cedeño et al., 2022)**. Paralelamente, la (*ONU*) reporta que en México se generan 1951,785 kg de basura plástica cada día **(López et al., 2020)**. La contaminación ambiental causada por residuos plásticos tiene un impacto devastador en la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos y terrestres. Estos desechos, que suelen ser

arrojados y acumulados en suelos, ríos, mares y océanos, afectan gravemente al medio ambiente, salud, flora y fauna marina. Muchas especies confunden estos residuos con alimento, los ingieren, y los plásticos permanecen en sus tejidos intestinales en forma de microplásticos o nanoplásticos, causando lesiones internas y, en muchos casos, su muerte **(Wang et al., 2019)**. En este contexto, los plásticos convencionales, fabricados a partir de derivados del petróleo, tienen un tiempo estimado de degradación superior a 500 años. Sin embargo, este proceso no los elimina completamente; en lugar de desaparecer, se fragmentan en partículas más pequeñas que persisten en el ambiente **(Roldán, 2021)**.

Un informe del Ministerio del Ambiente señala que en América Latina se arrojan aproximadamente 17.000 toneladas diarias de residuos plásticos. Ecuador no es la excepción, generando más de 13.000 toneladas diarias de basura, de las cuales un 94% es enterrado sin recibir ningún tipo de tratamiento **(Mariscal et al., 2023)**. Además, se estima que los Ecuatorianos desechan 531.461 toneladas de plástico al año, de las cuales el 40% corresponde a plásticos de un solo uso, materiales desechables que, tras ser utilizados, terminan en vertederos, causando un alto índice de contaminación ambiental debido al tiempo prolongado que tardan en degradarse **(Cedeño, 2023)**. Actualmente, no existen investigaciones o informes concluyentes que ofrezcan metodologías exactas para la degradación del plástico. Sin embargo, estudios como el de **Cedeño, (2023)** destacan procesos como la fotodegradación, la degradación térmica y la acción microbiana como posibles alternativas que podrían, en el futuro, contribuir a mitigar esta problemática global. Es importante señalar que durante la descomposición de residuos plásticos se liberan sustancias peligrosas, como el dióxido de carbono, que están asociadas a graves problemas de salud humana, incluidos accidentes cerebrovasculares, cáncer de pulmón y enfermedades respiratorias crónicas como el asma **(Mariscal et al., 2023)**.

Asimismo, las sustancias tóxicas generadas en los procesos de degradación, ya sean químicos o biológicos, son absorbidas y bioacumuladas por las especies marinas. Esto repercute negativamente en la salud humana debido a la ingesta de alimentos contaminados con micro y nanoplásticos, lo que puede desencadenar enfermedades gastrointestinales y respiratorias. En casos graves, estas afecciones pueden evolucionar hacia cáncer o incluso provocar la muerte del individuo **(Prieto, 2023 ; Laita et al., 2018)**. En Sudamérica, países como Perú, Chile y Ecuador han comenzado a tomar conciencia de los efectos adversos que el uso excesivo de plásticos de un solo uso tiene sobre el cambio climático y la salud pública **(Jiang et al., 2020)**. Sin embargo, en Ecuador, los recursos limitados dificultan la implementación de prácticas de reciclaje efectivas. A pesar de ello, existen normativas, acuerdos y regulaciones ministeriales que buscan proteger el medio ambiente mediante sanciones a quienes incumplen las leyes. Estas medidas obligan a fomentar prácticas de reciclaje y promueven la adopción de alternativas más sostenibles **(Cedeño, 2023)**.

Ante esta problemática, se ha optado por innovar y aprovechar los recursos naturales mediante la implementación de productos biodegradables. Esta estrategia no solo contribuye a mitigar el impacto de la contaminación ambiental, sino que también representa un paso hacia un modelo más sostenible y respetuoso con el entorno.

1.1.2 Termoplásticos

Los termoplásticos se diferencian del resto de plásticos porque tienen la capacidad de deformarse cuando se exponen a suficiente calor. Adquieren plasticidad y asumen un estado líquido viscoso (Vázquez, 2001). Después de enfriarse en condiciones ambientales, vuelve a su estado sólido y puede absorber tensiones mecánicas. Los termoplásticos pueden reciclarse y remodelarse, lo que los hace más utilizados que los termoestables que son difíciles de descomponer. Existen 4 tipos distintos de termoplásticos: Polietileno (*PE*), Polipropileno (*PP*), Poliestireno (*PS*) y Cloruro de polivinilo (*PVC*) (Jiang et al., 2020). Entre ellos se puede destacar a los termoplásticos estirénicos como: Poliestireno (*PS*), el cual tiene una estructura de homopolímero con baja absorción de humedad y su aplicación en envases desechables (Vázquez, 2001).

Los platos desechables comúnmente utilizados en eventos sociales están fabricados con poliestireno (*PS*), un polímero sintético derivado del petróleo (Nutsch, 1996). Una de sus formas más empleadas es el poliestireno expandido (*EPS*), conocido en algunos países como *icopor* (Schmidt et al., 2011). Este material se caracteriza por su ligereza, versatilidad y bajo costo, lo que lo hace popular para la producción de utensilios desechables. El *EPS* es un material químicamente inerte y no biodegradable, lo que significa que no se descompone fácilmente en el medio ambiente, contribuyendo a la acumulación de residuos sólidos. Además, durante su uso, especialmente cuando se expone a altas temperaturas, como al calentar alimentos en microondas o al servir bebidas calientes, puede ocurrir la migración de sustancias químicas como el estireno y el benceno desde el material hacia los alimentos. Esta migración aumenta con el calor, lo que convierte al poliestireno en un material poco seguro para aplicaciones en contacto con alimentos calientes (Schmidt et al., 2011).

Dada esta problemática, varios países como: Estados Unidos, México, Perú y Colombia han tomado la iniciativa de desarrollar platos biodegradables como una alternativa más segura y sostenible. Según Plúas et al., (2020) estas soluciones emplean materiales naturales y compostables, como fibras vegetales, almidón y residuos agroindustriales, para reducir el impacto ambiental y minimizar los riesgos para la salud. Estas alternativas buscan no solo sustituir al poliestireno en aplicaciones alimenticias, sino también fomentar prácticas más responsables con el medio ambiente.

1.1.3 Productos biodegradables

A nivel mundial se ha evidenciado la preocupación sobre la importancia de crear opciones de productos biodegradables a partir de materiales agroindustriales para así reducir el alto índice excesivo de materiales contaminantes como el plástico (Cubilla et al., 2019). Según Incio et al., (2021), los productos biodegradables se definen como aquellos capaces de descomponerse de acuerdo a sus características físicas y químicas. Este proceso permite que se desintegren rápidamente e integren al medio ambiente, aportando nutrientes al suelo y favoreciendo el desarrollo óptimo de los cultivos (Frank et al., 2020). La materia prima utilizada para la fabricación de productos biodegradables suele provenir de fuentes renovables como: plantas, algas y bacterias. Según Aristizábal et al., (2007) destacan que estos productos pueden elaborarse a partir de materiales como: yuca, papel, cartón, hojas de palma, almidón de maíz, papa y caña de azúcar, entre otros. Estas fuentes no solo contribuyen a reducir el impacto ambiental, sino que también promueven el uso sostenible de recursos naturales, fomentando alternativas más amigables con el medio ambiente. Las fibras lignocelulósicas son componentes naturales presentes en las paredes celulares de las plantas, compuestas principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina (Muñoz, 2022). Estas fibras ofrecen características únicas de resistencia, rigidez y flexibilidad, lo que las convierte en un recurso valioso para diversas aplicaciones industriales. Las fibras de celulosa son una opción óptima para formular productos biodegradables, ya que es un componente estructural de las paredes celulares de las plantas. Estas fibras se extraen principalmente de la madera, aunque también pueden provenir de otras fuentes vegetales (Gañán et al., 2017).

Por otro lado, el papel Kraft es un tipo de papel conocido por su alta resistencia y durabilidad. Se produce mediante el *proceso Kraft*, que utiliza productos químicos para separar las fibras de celulosa de la lignina y otros componentes de la madera. Este proceso da como resultado un papel de color marrón natural, especialmente cuando no se somete a procesos de blanqueo. El papel Kraft sin blanquear es más ecológico, ya que su producción implica un menor uso de productos químicos y es completamente biodegradable y reciclable. En cuanto a la fabricación de platos biodegradables a partir de papel, existen estudios que exploran esta posibilidad. Por ejemplo, un proyecto de inversión evaluó la viabilidad económica y financiera de producir y comercializar platos biodegradables y compostables hechos a base de papel Kraft y hojas de plátano (Alarcón et al., 2019). Este tipo de iniciativas refleja el creciente interés en desarrollar alternativas sostenibles a los productos desechables tradicionales, aprovechando las propiedades del papel Kraft y otros materiales agroindustriales para crear utensilios que sean amigables con el medio ambiente.

Así mismo, los materiales agroindustriales se identifican como recursos derivados de la actividad agrícola y que se pueden emplear y dar origen a productos con un valor agregado, ayudando así a

prácticas sostenibles en la industria. Dentro de este grupo de materiales agroindustriales se puede mencionar a las fibras naturales, residuos de cultivos y biomasa que pueden transformarse y ser aplicables en la generación de biocombustibles, producción de empaques ecológicos, entre otros (Cubilla et al., 2019). Bajo este contexto, se puede mencionar a la fibra de hojas de maíz (*Zea mays*) que es obtenida de las hojas secas de la planta, que son una excelente alternativa para la producción de empaques biodegradables. Según un estudio realizado por Razzaq et al., (2024), se destaca el potencial de algunas fibras de origen vegetal natural que son completamente biodegradables, como las fibras de bambú (BF) y las fibras de plátano que son utilizadas para la fabricación de platos biodegradables. Estas fibras sobresalen por sus propiedades antibacterianas, capacidad de adsorción y suavidad, características que las diferencian de otras fibras vegetales. En un estudio realizado por Riofrio et al., (2019) mencionan que, en Perú la Universidad del Cauca a presentado su patente de un plato biodegradable a partir de harina de yuca y fibra de fique. Además, en su formulación destacan que utilizaron como aglutinante cera de abeja y gelatina permitiendo una excelente cohesión entre toda la mezcla final, este producto se destaca por presentar una excelente resistencia convirtiéndose en una fabulosa alternativa de sustitución al plástico convencional de un solo uso por su excelente capacidad de biodegradación. Bajo este contexto, la descomposición de estos productos se produce bajo dos vías o condiciones diferentes de biodegradación como se muestra en la Figura 1, en presencia de oxígeno (*aeróbica*) o en su ausencia (*anaeróbica*). Cuando ocurre en presencia de oxígeno una variedad de microorganismos como bacterias y hongos intervienen mediante procesos de fermentación transformando la materia en moléculas más básicas como dióxido de carbono (CO₂), agua y biomasa (Razzaq et al., 2024). Por otra parte, cuando no hay presencia de oxígeno la degradación es diferente pues se genera mediante complejos procesos metabólicos que tienen la capacidad de transformarlos en gases como: metano (CH₄), CO₂ y biomasa. Convirtiéndose en el proceso más común cuando se arroja estos productos en los basureros donde no hay presencia de oxígeno (Espinosa & González, 2011); (Laureano & Corrales, 2019).

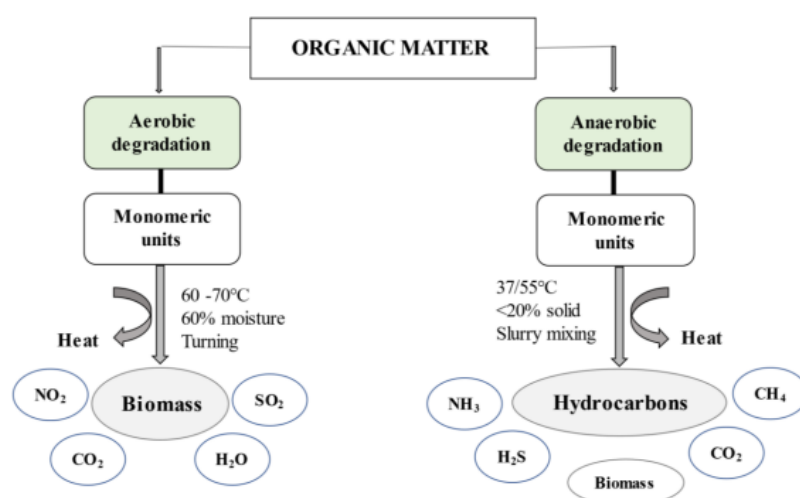


Figura 1. Diagrama esquemático de las vías de degradación de la materia orgánica.

Fuente: (Espinosa & González, 2011).

Es importante destacar que, la velocidad y eficiencia de la biodegradación dependen de varios factores ambientales, como temperatura, humedad y pH del medio. En condiciones óptimas, algunos materiales pueden descomponerse en cuestión de semanas o meses, mientras que en ambientes menos favorables, el proceso puede extenderse durante años. Los científicos continúan investigando nuevas formas de optimizar estos procesos de degradación, especialmente en el contexto del manejo de residuos y la sostenibilidad ambiental, buscando soluciones más eficientes para reducir la acumulación de desechos en el planeta (**Espinosa & González, 2011**).

1.1.4 Cultivos de maíz

El maíz (*Zea mays*) es uno de los cultivos más importantes del mundo, conocido por su versatilidad y su valor nutricional. Originalmente desde sus inicios fue cultivado en México aproximadamente hace unos 9,000 años, sin embargo, en la actualidad se cultiva en todo el planeta, siendo fundamental tanto en la alimentación humana como en la alimentación animal y en la producción de biocombustibles. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (**FAO**), la producción mundial de maíz en 2021 se estimó en aproximadamente 1,1 mil millones de toneladas. Los principales productores son: Estados Unidos, China, Brasil, Argentina y Ucrania.

El maíz es el segundo cereal más importante del mundo después del trigo, según **Chávez et al., (2022)** detallan que, En Ecuador, el maíz ocupa alrededor de 200,000 hectáreas, con una producción anual estimada en 1,5 millones de toneladas. Las principales regiones productoras son la Sierra y la Costa, donde el clima y las condiciones del suelo favorecen su cultivo. Ecuador tiene una ubicación geográfica estratégica para cultivar y producir maíz (*Zea mays*). Está identificado como un cultivo transitorio que se tarda un tiempo estimando de 215 días desde la siembra hasta su cosecha (**Staller, 2009**). Un reporte por **OCE, (2023)** menciona que, en el 2021, Ecuador exportó 1,48 millones de dólares en maíz, convirtiéndolo en el exportador número 81 de maíz en el mundo (**Fournier, 1993**).

Así mismo, las hojas de maíz están compuestas por fibras principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina proporcionando propiedades mecánicas y estructurales ideales para productos biodegradables. La viabilidad de los desperdicios del cultivo de maíz, como sus hojas, para la elaboración de platos biodegradables, se destaca sus características que la hacen más atractiva en comparación con otros residuos vegetales (**Fonseca et al., 2021**). Una de las características más destacadas de la fibra de maíz es su biodegradabilidad; en condiciones adecuadas, puede descomponerse completamente en un periodo de 90 a 180 días, lo que la convierte en una alternativa viable a los plásticos convencionales, contribuyendo a la reducción de residuos y la contaminación ambiental. A diferencia, con la fibra de hoja de plátano o el almidón de yuca, las hojas de maíz ofrecen una alta resistencia mecánica y durabilidad (**Prado et al., 2012**). Su biodegradabilidad asegura una descomposición natural sin dejar residuos tóxicos, contribuyendo significativamente a la reducción de la huella ecológica (**Aristizábal**

et al., 2007). Además, la disponibilidad y bajo costo de las hojas de maíz hacen su uso económicamente viable, mientras que, su textura y composición química facilitan la integración y dispersión de semillas en los platos biodegradables, promoviendo la germinación y el crecimiento de plantas (**Spanevello et al., 2013**). Estas características no solo promueven la sostenibilidad y la reducción de residuos, sino que también ofrecen ventajas competitivas frente a otros materiales vegetales (**Mestres, 2013**).

En este contexto, la celulosa es un polisacárido lineal compuesto por unidades de glucosa, que forma la principal estructura de las paredes celulares de las plantas. En la fabricación de productos biodegradables a partir de hojas de maíz, la celulosa juega un papel fundamental al proporcionar la rigidez y resistencia necesarias para que los recipientes mantengan su forma y funcionalidad (**Klemm et al., 2005**). Además, la celulosa tiene la capacidad de biodegradarse rápidamente en el suelo mediante la acción de microorganismos, convirtiéndose en agua y dióxido de carbono, sin dejar residuos contaminantes. Esto la convierte en un material ideal para sustituir productos plásticos, que tardan siglos en descomponerse y contribuyen significativamente a la contaminación ambiental.

Por su parte, la hemicelulosa tiene una estructura más ramificada y compleja en comparación con la celulosa. Este polisacárido aporta flexibilidad y elasticidad a los recipientes biodegradables, lo que mejora su resistencia a la rotura y les da una textura más suave. Al igual que la celulosa, la hemicelulosa es biodegradable y se descompone fácilmente en el medio ambiente (**Lorna, 2012**). Su tasa de descomposición es generalmente más rápida que la celulosa, lo que facilita una descomposición eficiente de los productos en el suelo. Gracias a estas propiedades, la hemicelulosa ayuda a crear recipientes más prácticos y funcionales, sin comprometer la biodegradabilidad del material. Según **Maceda et al., (2021)** definen que, la lignina es un biopolímero fundamental en la estructura y funcionalidad de las plantas, y se encuentra ampliamente distribuida en las paredes celulares de los tejidos vegetales. En el caso específico del maíz, la lignina cumple un papel clave en las hojas y fibras, aportando rigidez y resistencia, lo cual permite a la planta soportar tensiones mecánicas y protegerse frente a diversos factores ambientales (**Maceda et al., 2021**).

La celulosa, hemicelulosa y lignina presentes en las hojas de maíz juegan un papel fundamental en la creación de recipientes biodegradables. Mientras que, la celulosa proporciona la rigidez estructural y la capacidad de biodegradarse rápidamente, la hemicelulosa mejora la flexibilidad y la resistencia de los productos. La lignina, aunque ralentiza la biodegradación, puede ser tratada para optimizar el proceso. En conjunto, estos componentes hacen que los recipientes biodegradables de maíz sean una alternativa sostenible a los plásticos, contribuyendo a la reducción de la contaminación y promoviendo el uso de materiales naturales renovables que se descomponen de manera segura en el ambiente (**Klemm et al., 2005**).

Al emplear la fibra de hoja de maíz para crear platos biodegradables se crea un entorno propicio para la germinación y el crecimiento de semillas seleccionadas por sus características de rápida germinación y adaptación local (**Chilton, 2016**). La fibra de hoja de maíz se desintegra en el suelo, liberando gradualmente las semillas incorporadas (**Aristizábal et al., 2007**). Este proceso no solo asegura que las semillas encuentren un medio enriquecido para su desarrollo inicial, sino que también promueve una gestión eficiente de residuos agrícolas al reutilizar subproductos de la cosecha de maíz (**Fonseca et al., 2021**). Al integrar semillas comestibles, de hierbas aromáticas, flores y vegetales de rápido crecimiento, se facilita la regeneración de recursos naturales, aportando beneficios tanto ambientales como económicos (**Doria, 2009**). Además, la evaluación de parámetros como: humedad, espesor, solubilidad, color, resistencia, permeabilidad al vapor de agua y biodegradabilidad del material, permite asegurar la viabilidad y efectividad de los platos biodegradables, garantizando su funcionalidad y aceptación en el mercado (**Mestres, 2013**).

1.1.5 Semillas de rábano y lechuga

Las semillas de rábano (*Raphanus sativus*) son ampliamente reconocidas por su capacidad de germinación rápida, lo que las convierte en una opción ideal para investigaciones agrícolas, estudios educativos y proyectos que requieren resultados acelerados. Este cultivo pertenece a la familia *Brassicaceae* y se caracteriza por su ciclo de vida corto, ya que la germinación puede ocurrir en 2 a 5 días bajo condiciones óptimas de temperatura (entre 10 y 20 °C) y 60% y el 80% de humedad relativa del suelo (**Martínez et al., 2003**). Además, el rábano es una planta que se adapta a diversos tipos de suelos, siempre que estos posean buen drenaje, lo que facilita su manejo en diferentes entornos agrícolas. Desde el punto de vista agronómico, las semillas de rábano destacan por ser de fácil manejo y por permitir cosechas rápidas, generalmente en 25-30 días después de la siembra. Esto las hace particularmente útiles para sistemas de rotación de cultivos y prácticas agrícolas sostenibles. Además, el cultivo del rábano contribuye a la nutrición humana, ya que sus raíces comestibles son ricas en vitamina C, antioxidantes y glucosinolatos, compuestos bioactivos que poseen propiedades anticancerígenas y desintoxicantes (**Gheno et al., 2023**).

Por otra parte, las semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) son esenciales en la horticultura mundial debido a su germinación relativamente rápida, que se produce entre 3 y 7 días, con temperaturas ideales entre 15 °C y 28 °C (**Neto & Filho, 2018**). Este cultivo, perteneciente a la familia *Asteraceae*, se adapta tanto a sistemas tradicionales como hidropónicos, y su ciclo de crecimiento es relativamente corto, con cosechas que pueden realizarse en 30-60 días (**Lei & Engeseth, 2021**). La lechuga es conocida no solo por su facilidad de cultivo, sino también por su importancia nutricional. Sus hojas son una fuente importante de vitaminas A, K y folatos, así como de minerales esenciales como: potasio y el hierro. Además, su alto contenido de agua (aproximadamente 95%) y fibra dietética contribuyen a la

hidratación y salud digestiva de los consumidores **(Kopsell & Kopsell, 2006)**. Estas características hacen de la lechuga un cultivo de alta demanda y utilidad en proyectos agrícolas sostenibles.

Para proceder a la correcta elección de semillas de rábano (*Raphanus sativus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) para la elaboración de platos biodegradables germinables a partir de materiales agroindustriales como hojas de maíz y papel Kraft sin procesos de blanqueo ni tinta, se fundamenta en sus características por su rápida germinación, que oscilan entre 2 y 5 días para el rábano y entre 3 y 7 días para la lechuga, siempre bajo condiciones óptimas de temperatura y humedad **(Martínez et al., 2003); (Neto & Filho, 2018)**. Esta rapidez es crucial para evaluar la funcionalidad germinativa de los platos biodegradables, permitiendo obtener resultados confiables en un período corto de tiempo, lo que es fundamental en estudios experimentales. Además, estas semillas presentan una gran adaptabilidad a diversos tipos de sustratos, incluidos aquellos fabricados con materiales biodegradables como hojas de maíz y papel Kraft de segundo uso (sin tinta, no blanqueado).

Desde una perspectiva agrícola, tanto el rábano como la lechuga son cultivos de ciclo corto, lo que los hace ideales para sistemas sostenibles. Además, ofrecen importantes beneficios nutricionales: el rábano es rico en vitamina C y antioxidantes, mientras que la lechuga aporta vitaminas A y K, fibra y minerales esenciales como potasio y hierro **(Kopsell & Kopsell, 2006)**. Estas propiedades no solo los posicionan como cultivos clave en la investigación científica, sino también como alimentos de gran importancia en sistemas agrícolas sostenibles y prácticas alimentarias saludables. La incorporación de estas semillas en platos biodegradables germinables no solo demuestra el potencial de innovación en materiales ecológicos, sino que también resalta su contribución a la sostenibilidad ambiental. Estos productos combinan biodegradabilidad con funcionalidad germinativa, ofreciendo una solución práctica para reducir el impacto ambiental de los platos desechables. Además, representan un paso significativo hacia la integración de prácticas agrícolas sostenibles en la vida cotidiana, promoviendo el uso responsable de recursos y fomentando una economía circular.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Elaborar platos biodegradables germinables a partir de materiales agroindustriales.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Definir formulaciones de platos biodegradables germinables, utilizando hojas de maíz (*Zea mays*), papel Kraft de segundo uso (sin tinta, no blanqueado) y semillas de especies comestibles.
- Identificar las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas de platos biodegradables germinables obtenidos.
- Estimar el tiempo de biodegradación y la capacidad de germinación de los platos en el suelo.

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1 Materiales

El presente trabajo de titulación fue de tipo experimental y se llevó a cabo en los laboratorios académicos y de investigación UODIDE de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato. En la Tabla 1, se enlistan los reactivos, material fungible y equipos que se utilizaron en la investigación:

Tabla1. Reactivos, material fungible y equipos

Reactivos	
Reactivo	Cantidad
Hipoclorito de sodio	4,5 ml
Materiales	
Material	Cantidad
Hojas de maíz	4kg
Papel Kraft de segundo uso (sin tinta, no blanqueado)	1kg
Semillas: rábano y lechuga	30g
Almidón de arroz	50 g
Barniz comercial grado alimenticio (KLARLACK Barniz Grado Alimenticio)	50 ml
Materiales fungibles	
Vasos de precipitación	27
Papel aluminio	1
Pinzas	1
Cajas petri	27
Celdas de cuarzo	4
Cápsulas	4

Embudos	10
Frascos de vidrio con tapa	27
Varilla de agitación	1
Guates	10
Tijeras	1
Papel aluminio	1
Papel filtro	18
Equipos	
Espectrofotómetro de UV/Vis Thermo Scientific	1
Micrómetro (Whale Brand, USA)	1
Colorímetro Lovibond LC 100	1
Deshidratador por convección Gander MTN	1
Licuada industrial	1
Balanza analítica Mettler Toledo	1
Estufa (Germico, Gemmy Industrial Corp., EE. UU)	1

2.2 Métodos

Se utilizó como materia prima en la mezcla: hojas de maíz (*Zea mays*), papel Kraft de segundo uso (sin tinta, no blanqueado) y semillas de especies comestibles: rábano (*Raphanus sativus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) según las concentraciones como se muestra en la Tabla 2. Dichos componentes recibieron tratamientos previos a su utilización en la formulación de platos biodegradables germinables a partir de materiales agroindustriales. Además, se realizó un diseño factorial completo 2^3 en donde se ejecutó un total de 8 combinaciones, este proceso se realizó por triplicado para todos los análisis fisicoquímicos, mecánicos y ópticos. Además, la elección del tipo de semillas de especies comestibles: rábano (*Raphanus sativus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) se dio de acuerdo a su tiempo de germinación y su adaptabilidad. En el caso del rábano, la planta es de rápida germinación aproximadamente de 2 a 5 días a temperaturas óptimas de 14 y 30 °C. Por otro lado, la germinación de la lechuga suele ocurrir

aproximadamente 3 a 7 días; además, la temperatura óptima para su germinación es 25°C y 30 °C (**Neto & Filho, 2018**).

Diseño experimental

Es importante indicar que se aplicó un diseño factorial completo 2ⁿ donde los factores son: Factor A Porcentaje de materia prima fibra de maíz (*Zea mays*); Factor B (Tipos de semilla de especies comestibles) y Factor C (Porcentaje de papel Kraft de segundo uso), cada factor tiene 2 niveles respectivamente, por tal motivo, este diseño es el más adecuado ya que permite analizar de manera integral los efectos individuales y combinados de tres factores clave. A continuación, se representa las 8 combinaciones obtenidas de acuerdo al diseño experimental 2³ y el tratamiento control que hace referencia a un Plato desechable P 17 de poliestireno (Tabla 2):

Tabla2. Combinaciones del diseño

$a_0b_1c_0$	$a_0b_2c_0$
$a_0b_1c_1$	$a_0b_2c_1$
$a_1b_1c_0$	$a_1b_2c_0$
$a_1b_1c_1$	$a_1b_2c_1$

Donde:

Factor A

a =Porcentaje de materia prima (fibra de maíz)

$a_0 = 40\%$ $a_1 = 25\%$

Factor B

b=Tipos de semilla de especies comestibles

b_1 = Rábano (*Raphanus sativus*) 1 % b_2 = Lechuga (*Lactuca sativa*) 1%

Factor C

c= Porcentaje de papel Kraft de segundo uso (sin tinta, no blanqueado)

$c_0 = 30\%$ $c_1 = 50\%$

Por otro lado, las variables respuesta para este diseño experimental fueron:

- **Propiedades Fisicoquímicas:** determinación de humedad (%H), determinación de espesor (mm)
- **Propiedades Mecánicas:** permeabilidad al vapor de agua (PVA), determinación de solubilidad (%SP)
- **Propiedades Ópticas:** determinación del color, transparencia (UV-VIS)

Cabe destacar que para elegir el mejor tratamiento se tomó en cuenta los resultados que se obtuvieron en la identificación de las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas de platos biodegradables germinables obtenidos.

2.2.1 Métodos de obtención, preparación y formulación de muestras

2.2.1.1 Obtención y preparación de materias primas

Hojas de maíz (Zea mays)

Se recolectó las hojas de maíz (*Zea mays*) provenientes de terrenos del norte de la ciudad de Ambato, siguiendo la metodología establecida por **Flores et al., (2021)**, durante este proceso se identificó y seleccionó hojas de maíz (*Zea mays*) en buen estado (sin roturas, ni alteraciones en su estructura). A continuación, se presenta un diagrama de flujo de proceso (Figura 2), que ilustra el proceso para la preparación de la materia prima.

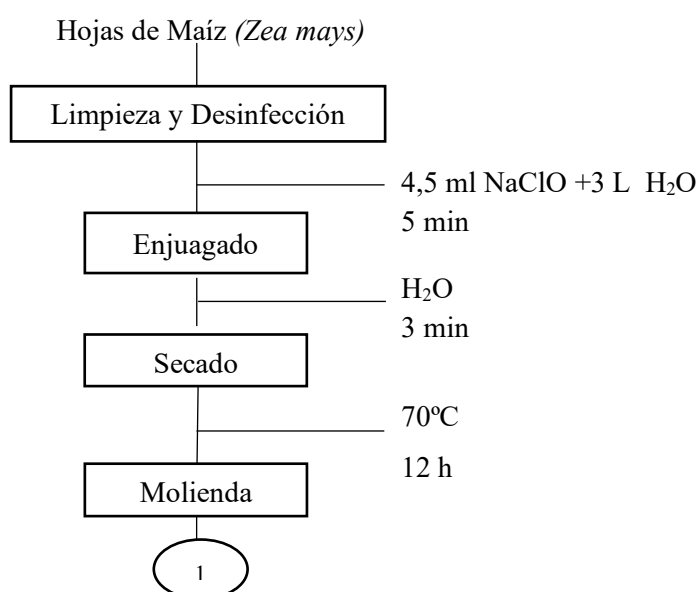


Figura 2. Diagrama del proceso de obtención y preparación de materia prima hojas de maíz (*Zea mays*).

Se realizó la limpieza con abundante agua para eliminar impurezas y residuos, se cortó las hojas en forma horizontal con la finalidad que se adapte mejor a la mezcla *a posteriori* (**Toaquiza, 2022**). El material vegetal se sometió al proceso de desinfección que se realizó según el protocolo establecido por AECOSAN (*Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición*). Se diluyó 4,5 ml de hipoclorito de sodio (NaClO) en 3 litros de agua potable y se mezcló de forma homogénea (**Malambo et al., 2022**). A continuación, se sumergió el material vegetal en la solución desinfectante durante 5 minutos, posteriormente se realizó un enjuague con agua pura durante 3 minutos (**Avalos & Torres, 2018**). El material vegetal se secó a 70 °C por 12 horas utilizando el deshidratador por convección Gander MTN. Finalmente, se extrajo el material vegetal del deshidratador y se molió.

Papel Kraft de segundo uso (sin tinta, no blanqueado)

El papel Kraft de segundo uso (sin tinta y no blanqueado) es un material reciclado que mantiene las características esenciales del papel Kraft original, pero con un enfoque más respetuoso con el medio ambiente. Este papel se elabora a partir de fibras de madera recicladas, sin la adición de agentes blanqueadores ni tintas, lo que lo convierte en una opción ecológica y segura al no estar sometido a tratamientos químicos agresivos (**Vega, 2017**). Para garantizar su reutilización en la elaboración de platos biodegradables germinables, es esencial que el papel Kraft de segundo uso (sin tinta, no blanqueado) esté completamente desinfectado. A continuación, se presenta un diagrama de flujo (Figura 3) que ilustra el proceso de desinfección del papel Kraft, preparándolo para su posterior uso como materia prima.

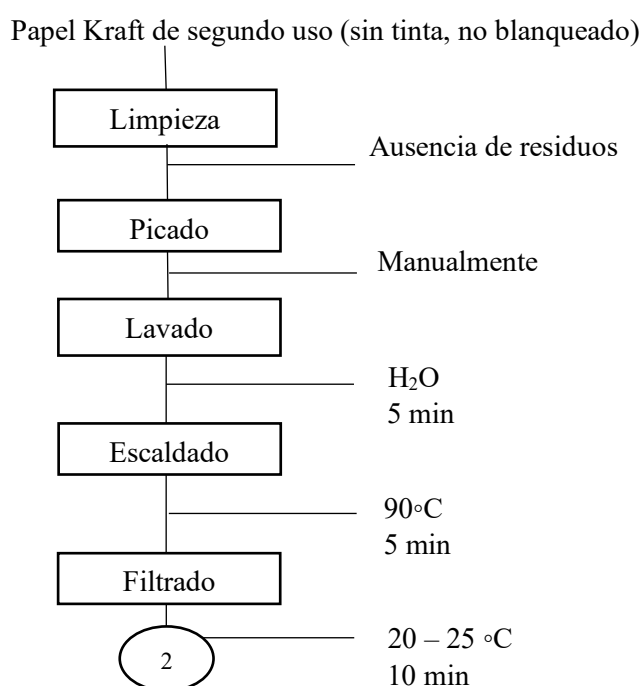


Figura 3. Diagrama del proceso de papel Kraft de segundo uso

Se recolectó papel Kraft de segundo uso (sin tinta, no blanqueado) del centro de la ciudad de Ambato, se revisó que no haya residuos de alimentos o partículas visibles y se quitó antes de proceder. Se trituró manualmente hasta obtener partículas más pequeñas que agilicen su manipulación y se realizó un lavado con agua durante 5 minutos. Seguidamente, se llevó a cabo el método físico de desinfección térmica según la metodología descrita por **World Health Organization, (2008)** detallando que, se realiza un escaldado a 90°C durante 5 minutos. Finalmente, se filtró el agua hasta obtener la pulpa del papel a temperatura ambiente durante 10 minutos (**Theander & Pugh, 2004**).

Formulación de platos biodegradables germinables

Se mezcló todas las materias primas obtenidas: hojas de maíz (*Zea mays*), papel Kraft de segundo uso (sin tinta, no blanqueado) y semillas de especies comestibles: rábano (*Raphanus sativus*), lechuga (*Lactuca sativa*) de acuerdo al diseño experimental propuesto en la Tabla 2. A continuación se muestra un diagrama del proceso de elaboración de los platos biodegradables germinables (Figura 4):

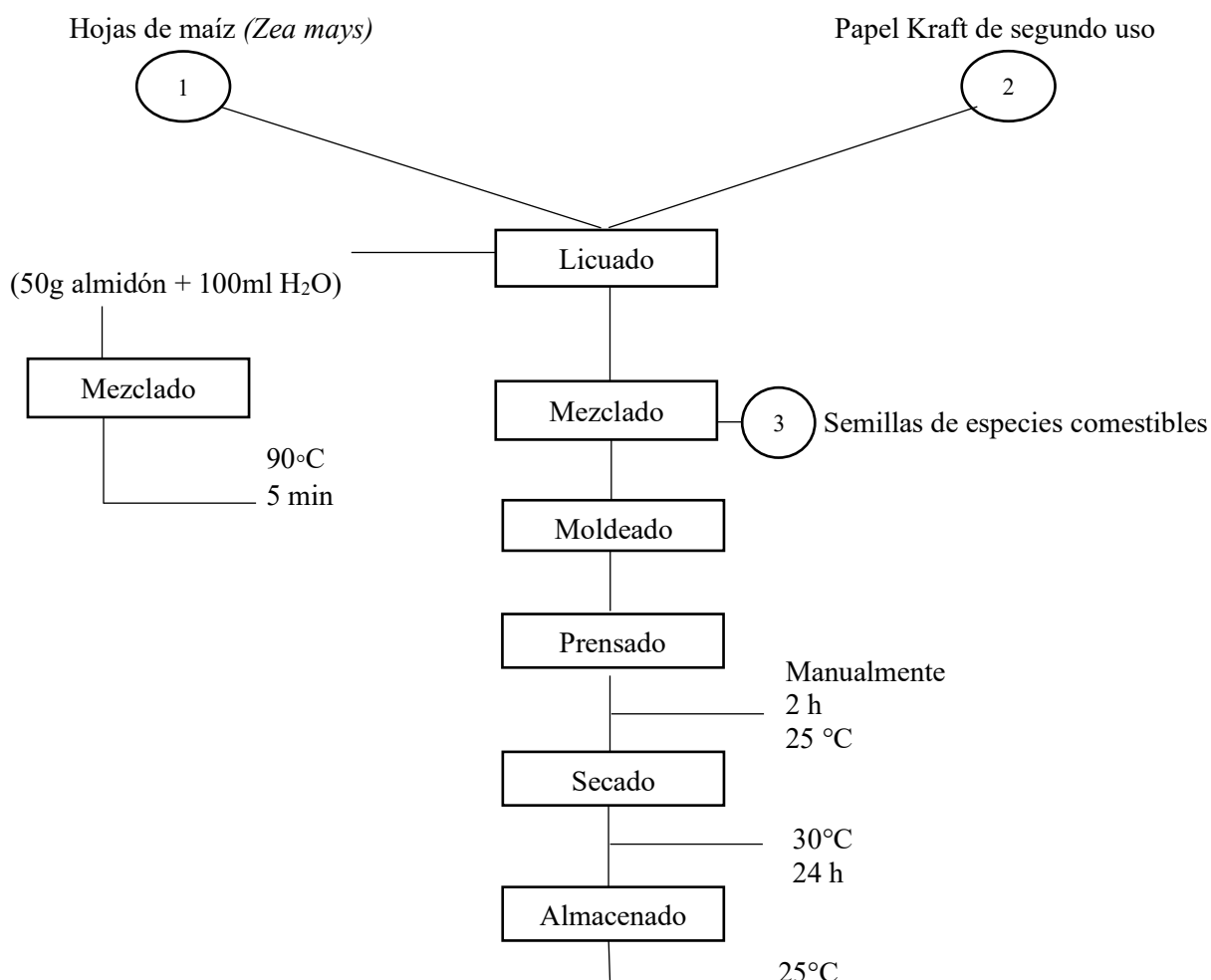


Figura 4. Diagrama del proceso de elaboración de platos biodegradables germinables

Para la elaboración de platos se utilizó la metodología descrita por **Avalos & Torres, (2018)** dónde se realizó un licuado de las hojas de maíz (*Zea mays*) y papel Kraft de segundo uso (sin tinta y no blanqueado). Luego, se preparó una mezcla adicional que actuó como adhesivo en la matriz, donde se utilizó almidón de arroz como aglutinante. Se pesó 50g de almidón de arroz y se mezcló en 100 ml de agua destilada, hasta obtener una mezcla homogénea que hirvió durante 5 minutos hasta tener una mezcla de solución viscosa propia almidón gelatinizado. A continuación, se enfrió a temperatura ambiente para posteriormente ser incluida en la matriz central y se agregó las semillas de especies comestibles. Adicional se utilizó moldes plásticos y se aplicó un prensado manual para formarlos durante 2 horas a temperatura ambiente. Por último, los platos biodegradables germinables obtenidos

se secaron por 24 horas a 30 °C en el deshidratador por convección (Gander MTN). Según **Ramírez & Pérez, (2006)** la temperatura máxima que soportan las semillas de rábano y lechuga para germinar es 28- 30 °C (**Neto & Filho, 2018**).

No existe una normativa internacional o nacional que exija de manera explícita la evaluación conjunta de propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas para productos biodegradables. Normas como ASTM D 6400, ISO 17088 y EN 13432 se enfocan en los requisitos de biodegradabilidad, desintegración y ecotoxicidad, sin detallar la medición de parámetros como humedad, espesor, permeabilidad, solubilidad, color y transparencia.

Para que los platos biodegradables germinables, fabricados a partir de materiales agroindustriales sean reconocidos como biodegradables y compostables, deben cumplir con los requisitos de la norma UNE-EN 13432:2000. Esta normativa establece que el producto debe desintegrarse en fragmentos suficientemente pequeños para no ser visible en el compost final, dentro de un período de compostaje industrial que suele ser de 12 a 16 semanas. Además, al menos el 90% del carbono del material debe convertirse en dióxido de carbono (CO₂) en un plazo de 6 meses, asegurando una biodegradación completa y efectiva (**Paniagua, 2015**). El compost resultante debe estar libre de sustancias tóxicas que puedan afectar el crecimiento de las plantas, lo que es crucial para garantizar que las semillas contenidas en el plato germinen adecuadamente después de su descomposición. Cumplir con estos requisitos no solo garantiza que el plato se descomponga de manera segura, sino que también asegura positivamente al ciclo de compostaje y a la sostenibilidad ambiental (**Guamanquispe & Pardo, 2023**). Adicionalmente, se puede aseverar que los platos biodegradables germinables obtenidos son una solución sostenible contribuyendo a la reducción de residuos y promoviendo un ciclo de vida del producto más ecológico y seguro, reutilizando materiales agroindustriales.

Finalmente, para que los platos biodegradables germinables a partir de materiales agroindustriales sean adecuados para el contacto con alimentos, se aplicó internamente un barniz comercial grado alimenticio (KLARLACK Barniz Grado Alimenticio) y asegurar de esta manera la no migración de microcomponentes a los alimentos. Según el Reglamento (CE) No 1935/2004 en Europa y el Código de Regulaciones Federales Título 21 de la FDA en Estados Unidos, el material del plato debe ser seguro, sin liberar sustancias nocivas a los alimentos.

2.2.2 Métodos de identificación de las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas de platos biodegradables germinables

2.2.2.1 Propiedades Fisicoquímicas

Determinación de humedad (%H)

Para la determinación gravimétrica de humedad de los platos biodegradables germinables se utilizó la metodología establecida por el método de secado por la A.O.A.C. (*Asociación Oficial de Químicos Analistas*). El cual se fundamenta en la pérdida de peso por secado. Para ello, se empleó la estufa en donde se secó previamente los crisoles, además se empleó una balanza analítica (Mettler Toledo) en donde se pesó de 1.5 - 2.0 g, a 110°C durante 24 horas, donde el contenido de agua obtenido se representó como el porcentaje del peso total, esta determinación se efectuó por triplicado para generar una mayor precisión en resultados (**Crespo, 2002**).

Determinación de espesor (mm)

El espesor de los platos biodegradables germinables se midió con un micrómetro (Whale Brand, USA) en 15 localizaciones elegidas al azar siguiendo la metodología de **Prat, (2010)**.

2.2.2.2 Propiedades Mecánicas

Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

Se determinó la permeabilidad al vapor de agua (PVA) de los platos biodegradables germinables de acuerdo al método descrito por **Moreno, (2015)** donde a temperatura ambiente (25°C) se llenó un desecador con agua destilada, para alcanzar el 100% HR (Humedad Relativa) en el sistema. Posteriormente, se llenó frascos de vidrio con 50 g de gel de sílice y en la parte superior del frasco un orificio de 3 cm diámetro; se colocó un fragmento circular del plato y se ajustó entre el recipiente de cristal y la parte superior con el orificio. Posteriormente, cada sistema se pesó en una balanza analítica (Mettler Toledo) cada 10 minutos, por al menos 2 horas, el paso del vapor de agua a través de los platos biodegradables será por atracción del gel de sílice (higroscopicidad); de esta manera se calculó la permeabilidad al vapor de agua siguiendo la ecuación: $PVA = w \cdot x \cdot t^{-1} \cdot A^{-1} \cdot \Delta P^{-1}$, donde w es el peso ganado (g), x es el espesor del plato (mm), t es el tiempo (h), A es el área del plato expuesto (cm²) y ΔP es la diferencia de presión parcial de vapor entre la atmósfera y el gel de sílice (2642 Pa a 22 °C).

Determinación de solubilidad (%SP)

La determinación de la solubilidad de platos biodegradables germinables se realizó siguiendo la metodología descrita por **Arancibia et al., (2014)**, donde los platos se cortaron en forma de un cuadrado de 4 cm^2 y se colocaron en recipientes con 50 ml de agua destilada a $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas (**Moreno, 2015**). Posteriormente, con la ayuda de un papel filtro se recuperó el residuo de los platos biodegradables germinables a través de un filtrado. Adicionalmente, se secó este residuo a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, el análisis se realizó al menos por triplicado (**Viteri, 2020**). Finalmente, la solubilidad de los platos se expresó con la siguiente ecuación.

$$SP (\%) = \left[\frac{W_o - W_f}{W_o} \right] \times 100$$

Donde:

SP = Porcentaje de solubilidad de platos [%]

W_o = Peso inicial del plato como materia seca [g]

W_f = Peso final del residuo desecado sin disolver el plato [g]

2.2.2.3 Propiedades Ópticas

Determinación del color

Para la determinación del color de los platos biodegradables germinables se siguió la metodología establecida por **Moreno, (2015)** por triplicado, donde se utilizó un colorímetro (Lovibond LC 100). Este equipo proporciona mediciones precisas y objetivas de parámetros como: L^* (luminosidad), a^* (rojo/verde) y b^* (amarillo/azul). Estas mediciones son fundamentales para asegurar que los platos mantengan una apariencia visual consistente y atractiva, cumpliendo con estándares de calidad estética en diversos entornos de uso. Además, el colorímetro permite monitorear la degradación del material biodegradable a lo largo del tiempo, evaluando la estabilidad del color bajo condiciones ambientales variables y optimizando así el diseño y la formulación de los platos para mejorar su resistencia y durabilidad.

Transparencia (UV-VIS) de los platos biodegradables germinables

Para la transparencia de los platos obtenidos se determinó mediante la metodología establecida por **Moreno, (2015)** este método permite medir la luz que atraviesa un material en función de la longitud de onda. Se utilizó un espectrofotómetro *UV-VIS* (Fisher Scientific), para registrar la absorbancia en longitud de onda de 200 a 800 nm. Los platos serán cortados de forma rectangular y se colocaron

directamente en el interior de una celda de cuarzo de espectrofotómetro, utilizando una celda vacía como referencia. Cuanto menor sea la absorbancia registrada, mayor será la transparencia del material (Pérez et al., 2013). El %T se calculará con los valores de absorbancia aplicando la ecuación:

$$\%T=[10^{-(\text{absorbancia})}]*100\%$$

2.2.3 Métodos de estimación del tiempo de biodegradación y la capacidad de germinación de los platos en el suelo

2.2.3.1 Tiempo de biodegradación

El ensayo de biodegradación (*ensayo de enterrado*) se llevó a cabo en suelos agrícolas de acuerdo con metodología establecida por Moreno, (2015), donde los platos biodegradables fueron colocados en el suelo y enterrados en condiciones ambientales naturales (4 a 5 cm de profundidad). Los platos biodegradables sembrados fueron regados cada 3 días simulando condiciones de llovizna; en los días: 3, 8, 15, 20,30 y 45, se recuperó, limpió y secó a 60 °C en estufa (Germmyco, Gemmy Industrial Corp., EE.UU) aproximadamente por 24 horas hasta obtener un peso constante para determinar la disminución de materia seca de los platos con el transcurso del tiempo.

2.2.3.2 Materia seca (%MS)

El % MS se determinó por secado, donde se pesó 1,5 - 2 g de muestra a 110°C por 24 horas, utilizando el método descrito por la Asociación Oficial de Químicos Analíticos (A.O.A.C, 1995). El contenido de materia seca se expresó como porcentaje del peso total y se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$MS [\%] = \frac{P(\text{muestra } 105^{\circ}\text{C incl. cápsula}) - P(\text{cápsula})}{P(\text{muestra húmeda})}$$

Donde:

MS: Porcentaje de materia seca [%]

P: Peso [g]

2.2.3.3 Capacidad de germinación platos biodegradables

Para determinar la capacidad de tasa de germinación de los platos, se llevó un control diario durante 45 días, según Ramírez & Pérez, (2006) las semillas rábano (*Raphanus sativus*) se colocaron a una profundidad de 1 –2 cm y su tiempo germinativo ocurrirá de 2-5 días. Mientras que, para la lechuga

(*Lactuca sativa*) a 0.5 – 1 cm de profundidad y las semillas germinarán aproximadamente de 3-7 días.

La tasa de germinación se calculará a través de la siguiente ecuación descrita por **Villacis, (2019)**

$$TG(\%) = \frac{\text{Número de semillas germinadas}}{\text{Número total de semillas plantadas}} \times 100$$

Donde:

TG: Tasa de germinación (%)

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

3.1.1 Platos biodegradables a partir de materiales agroindustriales

En este trabajo, se identificó las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas de platos biodegradables germinables, elaborados a partir de materiales agroindustriales a diferentes concentraciones como: factor A: 40% y 25% de hojas de maíz (*Zea mays*); Factor B: 30% y 50 % de papel Kraft reciclado (sin tinta ni procesos de blanqueo) y Factor C: 1% semillas de especies comestibles (Rábano y Lechuga). Además, se utilizó como control (plato desechable convencional P 17). Los platos biodegradables germinables se desarrollaron siguiendo la metodología descrita por **Avalos & Torres, (2018)**. En cuanto a sus características presentaron una superficie homogénea uniforme en su textura, sin presencia de grietas y color uniforme (Figura 5).

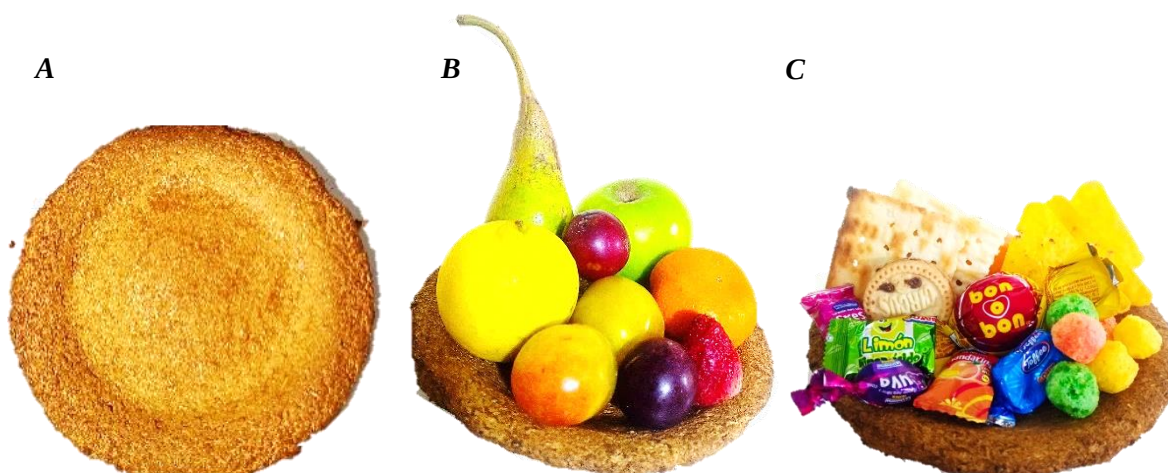


Figura 5. Platos biodegradables germinables a partir de materiales agroindustriales. **A:** Plato biodegradable germinable T7 (25% Maíz 30% papel); **B, C:** Aplicación de plato biodegradable germinable.

En los resultados obtenidos por **Razzaq et al., (2024)**, se destaca el potencial de algunas fibras de origen vegetal natural que son completamente biodegradables, como las fibras de bambú (*BF*) y las fibras de plátano que son utilizadas para la fabricación de platos biodegradables. Bajo este contexto, las hojas de maíz al ser de origen vegetal y estar compuestas por celulosa, hemicelulosa y lignina se convirtieron en una excelente opción para la fabricación de platos biodegradables germinables (**Klemm et al., 2005**). Esta propuesta se posiciona como un avance único e innovador en el ámbito de los materiales biodegradables, no solo al ofrecer un recipiente atractivo, funcional y sostenible, sino también al permitir la regeneración natural una vez que ha cumplido su propósito. Los platos biodegradables están

cuidadosamente elaborados con semillas de rábano y lechuga, seleccionadas por su rápido tiempo de germinación, lo que posibilita el crecimiento de brotes en pocos días, brindando una experiencia directa de transformación ambiental (**Spanevello et al., 2013**). Lo que realmente distingue a estos platos es su capacidad para convertir un artículo desechable en una herramienta activa en la regeneración ecológica. Al emplear materiales agroindustriales como las hojas de maíz y el papel Kraft reciclado, se aprovechan recursos que, de otro modo, quedarían como desecho, reduciendo significativamente el impacto ambiental de su producción vegetales (**Fonseca et al., 2021**). Estos materiales no solo garantizan la biodegradabilidad del producto, sino que también son un soporte perfecto para la germinación, completando un ciclo de vida y convirtiéndose en un nuevo ser vivo. Esta propuesta no solo ayuda a mitigar la acumulación de residuos plásticos, sino que promueve un modelo de economía circular, apoyando activamente la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente

3.1.2 Propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas de los platos biodegradables germinables

3.1.2.1 Propiedades Fisicoquímicas

Humedad

El contenido de Humedad de los platos biodegradables germinables se obtuvo mediante la aplicación del método A.O.A.C estos valores se encontraron entre 6,27 y 8,65 %H, respectivamente. Este análisis permite conocer la estabilidad y durabilidad de los platos. En la investigación se demostró que la presencia de un alto porcentaje de fibra provocó un aumento significativo en el contenido de agua ya que este tiene la capacidad de atraer agua presente en el ambiente debido a grupos hidroxilo los cuales forman enlaces de hidrógeno (**Vázquez et al., 2019**). Este comportamiento se debe a la naturaleza higroscópica de la celulosa que compone la fibra de maíz, lo cual coincide con lo reportado por **Micán et al., (2020)** quienes encontraron que, la cáscara de mango presenta un contenido de humedad de 5,28%, mientras que la cascarilla de arroz registra un 3,5%, lo que refleja la capacidad de las fibras naturales para absorber y liberar agua debido a su naturaleza higroscópica y estructura porosa. Estas características son fundamentales en materiales biodegradables, ya que facilitan la regulación de la humedad en el material y promueven su biodegradación en condiciones controladas (**Vázquez et al., 2019**).

Los niveles de humedad bajos observados en la Tabla 3 son favorables para la germinación de semillas incorporadas en los platos, ya que proporcionan la humedad necesaria para activar los procesos metabólicos esenciales para el desarrollo de las plántulas. **Laredo et al., (2023)** concluyeron que, una adecuada retención de humedad crea un entorno ideal para promover la germinación de semillas, como se demostró en hidrogeles biodegradables que favorecieron el desarrollo de plántulas de alfalfa. Por su parte, **Gaitán et al., (2016)** recomendaron un rango de humedad de 7-8%, para productos germinables

como los platos biodegradables, con el objetivo de evitar la activación prematura de las semillas durante el almacenamiento. Adicionalmente, un estudio realizado Vázquez et al., (2019) indicaron que, niveles de humedad superiores al 15% favorecen el crecimiento de microorganismos, afectando directamente la durabilidad y funcionalidad de películas biodegradables a base de almidón. Por lo tanto, ajustar el contenido de humedad en productos biodegradables germinables es crucial para balancear la viabilidad de las semillas, estabilidad estructural y funcionalidad del material, manteniéndolo en un rango óptimo de acuerdo con la aplicación final.

Tabla3. Resultados obtenidos de las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas (transparencia) de los platos biodegradables germinables a partir de materiales agroindustriales y control (Plato desechable P 17 de poliestireno).

Tratamientos	Humedad (%H)	Espesor (mm)	PVA E ⁻⁰⁶ g.mm.h ⁻¹ .Pa ⁻¹ .cm ⁻²	Solubilidad (%S)	Transparencia (%T)
T1	7,43±0,15 a	4,57± 0,37 b	4,54±0,02 b	18,43±0,15 b	0,019±0,000 c
T2	8,66±0,12 a	5,33±0,30 a	3,15±0,02 d	10,62±0,00 c	0,023±0,007 b
T3	8,65±0,19 a	4,88±0,16 ab	4,55±0,04 b	18,55±0,12 b	0,021±0,005 b
T4	6,74±0,08 c	5,00±0,14 ab	3,16±0,03 d	10,63±0,00 c	0,022±0,003 b
T5	6,65±0,07 c	3,07±0,19 c	5,06±0,03 a	25,77±0,11 a	0,016±0,006 c
T6	6,47±0,07 c	4,70±0,41 ab	3,41±0,04 c	17,55±0,02 b	0,024±0,002 b
T7	6,27±0,22 c	3,03±0,38 c	5,05±0,02 a	25,61±0,07 a	0,015±0,004 c
T8	6,38±0,05 c	4,72±0,29 ab	3,44±0,03 c	17,61±0,02 b	0,024±0,003 b
Control	1,13±0,12 d	3,50±0,00 d	2,18±0,01 e	1,82±0,12 d	0,112±0,007 a

Nota: Los resultados son la media ± desviación estándar. Letras diferentes (a, b, c, d, e) en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos (P≤0,05)

Los resultados de la Tabla 3 muestran diferencias significativas en la humedad de los tratamientos debido a las proporciones de hojas de maíz (*Zea mays*) y papel Kraft reciclado (sin tinta no, blanqueado), además, se debe a las condiciones del proceso de prensado y secado. Según la prueba de Tukey (p<0,05), los tratamientos T1, T2 y T3 destacaron por presentar los valores de humedad más altos, atribuibles al alto contenido de hojas de maíz, cuya fibra natural retiene agua de manera eficiente Micán et al., 2020). En contraste, los tratamientos T5, T6, T7 y T8, con menor proporción de hojas de maíz y mayor cantidad de papel Kraft, registraron valores de humedad más bajos. La mayor presión aplicada durante el prensado incrementó la compactación de las fibras, reduciendo la capacidad de retención de agua. Finalmente, el control (Plato desechable P17 de poliestireno) presentó el menor valor de humedad (1,13%H), lo que se explica por su composición química, que carece de materiales con propiedades de

retención de agua por ende, no se atribuye al aumento de humedad ya que el poliestireno al ser un polímero sintético no retiene humedad, debido a su proceso industrializado (López et al., 2017).

Espesor (mm)

Para realizar el análisis de espesor (mm), se tomó en 15 secciones diferentes de los platos biodegradables germinables a través de un micrómetro manual (0-25mm) (Figura 6), este tipo de prueba es un factor clave para asegurar su funcionalidad y desempeño del plato. Un espesor adecuado no solo garantiza una buena resistencia mecánica y estabilidad estructural, sino que también permite que los platos soporten peso sin deformarse ni romperse. Además, influye directamente en la percepción de calidad del producto final y en su capacidad para cumplir con los estándares industriales. Por ello, controlar el espesor durante el proceso de fabricación es esencial para lograr un producto que satisfaga las necesidades de los consumidores y las exigencias del mercado. Como se muestra en la Tabla 3, se obtuvieron valores que oscilaron entre 3,03 mm y 5,33 mm. Estos valores varían dependiendo la cantidad de fibras que se aumente y el prensado que se aplique, por tal motivo existen diferencias significativas entre tratamientos.

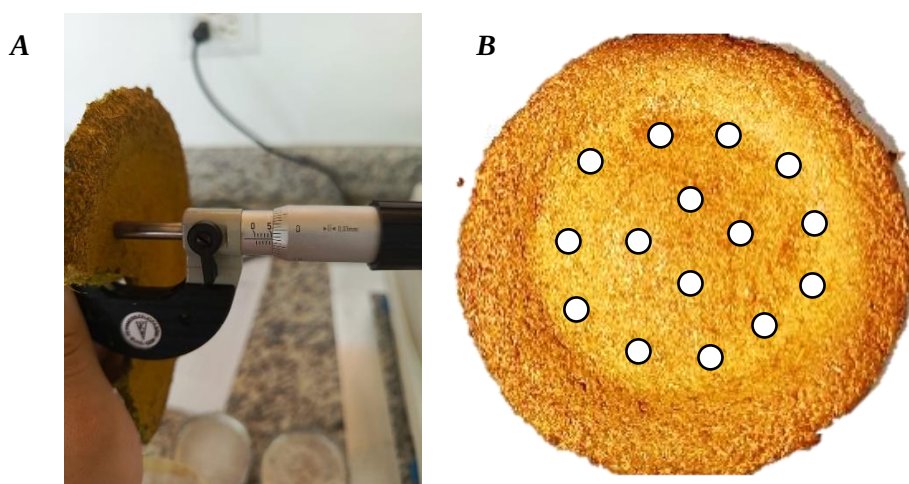


Figura 6. Análisis de espesor en platos biodegradables germinables obtenidos a partir materiales agroindustriales. **A:** micrómetro manual (0-25 mm); **B:** 15 mediciones en platos biodegradables germinables.

De acuerdo a **Díaz, en el (2017)**, quien desarrolló bandejas biodegradables a partir de rastrojo de maíz, fibra de soya, almidón de papa y glicerol mediante prensado, obtuvo valores de espesor similares a esta investigación, esto hace referencia que se atribuye a la presión ejercida durante el proceso de prensado y el porcentaje de materia prima agregada en la formulación. En otro estudio, **García et al., (2019)**

diseñaron un proceso para fabricar bandejas biodegradables a partir de fécula de maíz, enfocándose en la reducción del impacto ambiental y la sustitución de plásticos convencionales. Aunque no se especifican los espesores obtenidos, se destaca la importancia de controlar parámetros como la presión durante el moldeado para asegurar la calidad del producto final. Según, **Cedano, en el (2020)** evaluó las características físicas y mecánicas de bandejas elaboradas a partir de fibras de residuos agroindustriales y almidón de especies vegetales, encontrando que el espesor de las bandejas influye directamente en sus propiedades mecánicas y en el porcentaje de biodegradación. Mantener un espesor uniforme es esencial para asegurar la calidad, funcionalidad y biodegradabilidad de los platos, siendo el control de los parámetros de procesamiento un factor clave en su fabricación. Por otro lado, de acuerdo a la tabla 3, se determinó que si existe diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre tratamientos debido a las condiciones de fabricación y al porcentaje de composición de los materiales agroindustriales (hojas de maíz y papel Kraft). Los tratamientos T2 y T4, son aquellos que presentan valores de espesor más altos con diferencias significativas en comparación los otros tratamientos esto se debe al alto porcentaje de fibra de maíz y papel Kraft de segundo uso (sin tinta, no blanqueado), utilizados en su formulación. Estos factores afectan la estructura final del plato y a su vez tuvieron una menor compactación. Además, la relación del control (3,50 mm) con los demás tratamientos muestra significancia, esto debido a que es un plástico sintético expuesto a distintos procedimientos industriales estandarizados de calidad, aun así los tratamientos T5 y T7 muestran valores muy cercanos al control.

3.1.2.2 Propiedades mecánicas

Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

En el análisis de permeabilidad al vapor de agua se desarrolló siguiendo la metodología descrita por **Moreno, (2015)** como se visualiza en la figura 7. Esta propiedad es muy importante en materiales biodegradables, porque mide la capacidad de un material para permitir el paso de vapor de agua a través de su estructura. En los platos biodegradables la PVA regula el movimiento de agua y oxígeno entre el ambiente y el interior del plato. Este intercambio es fundamental para mantener condiciones óptimas para la germinación de las semillas, como niveles adecuados de humedad y ventilación. Durante esta investigación se obtuvo valores que oscilaron entre 3,15 y 5,06 $E^{-06} \text{ g.mm.h}^{-1}.\text{Pa}^{-1}.\text{cm}^{-2}$, respectivamente (Tabla 3).

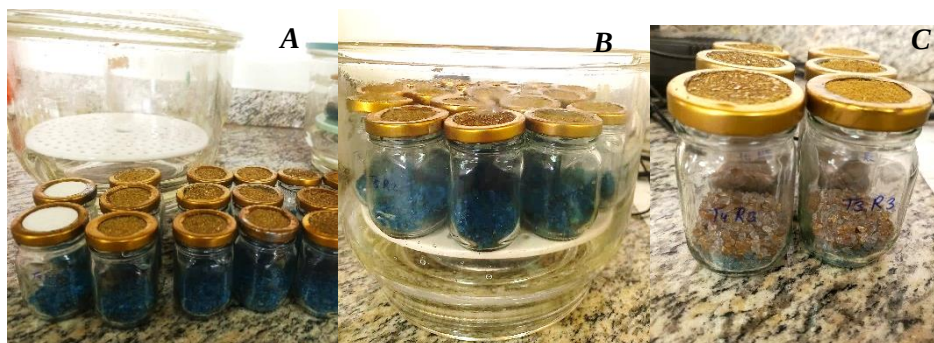


Figura 7. Análisis de permeabilidad al vapor de agua (PVA). **A:** Recipientes (plato + gel de sílice). **B:** Sistema completo en desecador con agua destilada (100 % HR). **C:** PVA después de 24 horas.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran diferencias significativas en la permeabilidad al vapor de agua (PVA) entre los diferentes tratamientos, lo cual está alineado con estudios previos que analizan cómo el contenido de fibra en biopelículas afecta su capacidad para resistir la humedad. Según investigaciones previas, como las descritas por **Zhang et al., (2014)** ; **Alata et al., (2019)**, la incorporación de fibras lignocelulósicas puede influir de manera importante en la permeabilidad al vapor de agua. Estos estudios indican que, a medida que aumenta la cantidad de fibra celulósica, la estructura de la biopelícula tiende a densificarse, reduciendo la PVA debido a que las fibras actúan como barreras que dificultan el paso de la humedad. Sin embargo, este comportamiento no siempre es lineal y depende del tipo de fibra utilizada y las condiciones de fabricación de la biopelícula (**Long et al., 2023**).

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$) revela que si existe una diferencia significativa en la PVA entre los tratamientos y el control. Los tratamientos T5 y T7 presentaron los valores más altos de PVA, lo que sugiere que estos tratamientos son más permeables al vapor de agua, probablemente debido a una estructura más porosa o menos compactada. Esto podría deberse a que el contenido de fibra de maíz es más bajo en estos tratamientos, lo que hace que los platos sean más susceptibles al paso del vapor de agua. Este comportamiento es consistente con estudios previos que indican que una menor proporción de fibra puede generar mayor porosidad, lo que aumenta la permeabilidad (**Zhang et al., 2014**). El control (plato plástico desechable convencional), presentó la menor permeabilidad esto se debe a la estructura densa y homogénea del material sintético (*poliestireno*), que tiene poca porosidad y ofrece una barrera más efectiva contra el vapor de agua, como se observa en estudios previos sobre plásticos sintéticos que muestran baja permeabilidad debido a su alta densidad y falta de porosidad (**Long et al., 2023**).

Solubilidad (%SP)

La solubilidad de los platos biodegradables es necesaria para asegurar que el producto pueda mantener su funcionalidad mientras está en uso y degradarse eficientemente al final de su vida útil. Se determinó siguiendo la metodología descrita por **Arancibia et al., (2014)** como se observa en la figura 8, donde hay una pérdida de peso y su vez su estructura se reduce.



Figura 8. Solubilidad de platos biodegradables germinables a partir de materiales agroindustriales. **A:** Obtención de muestras; **B:** Proceso de solubilidad de cada tratamiento; **C,D:** Secado de las muestras luego del filtrado mediante la metodología descrita por **Arancibia et al., (2014)**.

En un estudio efectuado por **Espina et al., (2016)** reportaron que para platos elaborados con almidón y fibras lignocelulósicas presentaron una solubilidad promedio de 15 a 18%S, dependiendo del tipo de fibra utilizada estos resultados coinciden con los resultados obtenidos en este estudio. En la Tabla 3, se obtuvo valores entre 10,62 a 25,77%SP, respectivamente. Se desarrolló un análisis estadístico basado en la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), demostrando que si existe diferencia significativa entre los tratamientos con respecto al control, los cuales varían su porcentaje de acuerdo a sus componentes incorporados en su matriz principal. Del mismo modo, **Cabrera et al., (2023)** evaluaron bandejas con almidón de papa y tusa de maíz, observando que la incorporación de fibras, reduce la solubilidad a un 18%, optimizando la resistencia frente a líquidos por tal motivo, mientras más fibra se incorpore, la solubilidad será menor, estos resultados concuerdan con los tratamientos T2 y T4. Además, **Montoya et al., (2022)** definieron que al agregar fibras de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en almidón de maíz redujo la solubilidad del material a un 20%, debido al efecto de las fibras lignocelulósicas que aumentaron la resistencia del producto al agua.

En efecto, cuando existe un bajo porcentaje de solubilidad de los materiales evita que el plato se degrade prematuramente, asegurando su funcionalidad hasta que sea desechado. Sin embargo, según investigaciones realizadas en materiales biodegradables, las fibras de hojas de maíz (*Zea mays*) poseen una estructura lignocelulósica que ofrece resistencia al agua, haciéndolas ideales para aplicaciones donde se requiere durabilidad en contacto con productos secos (**Chokshi et al., 2024**). Por tal, motivo el plato biodegradable germinable a partir de materiales agroindustriales con menor porcentaje de

solubilidad, resultan ser más resistentes al agua como la muestra control (1,82%SP). Así mismo, de acuerdo a mantener una buena biodegradación en los platos para que estos generen una eficiente germinación de sus semillas que se encuentran distribuida por toda la superficie del plato, se debe elegir los tratamientos T5 y T7 debido a que presentan mayor solubilidad entre los tratamientos desarrollados, lo que genera características sustentables propias del producto eco amigable, reduciendo así el impacto ambiental por plásticos convencionales.

3.1.2.3 Propiedades ópticas

Color

El color cumple un papel crucial en la percepción del consumidor sobre la calidad y la sostenibilidad de los platos biodegradables germinables. Estudios han demostrado que colores uniformes y naturales, como tonos claros o marrones, son asociados con productos ecológicos y de alta calidad (**García, 2022**). Se analizó el color de los platos biodegradables germinables con un colorímetro (Lovibond LC 100). En la Figura 9 muestra el sistema CIE lab, las coordenadas L^* , a^* y b^* describen diferentes propiedades del color: L^* (luminosidad), con valores entre 0 (negro mate) y 100 (blanco puro), indicando el nivel de claridad u oscuridad del material; el parámetro a^* representa la variación entre rojo y verde, siendo positivo para tonos rojizos y negativo para tonos verdosos; mientras que el parámetro b^* evalúa la diferencia entre amarillo y azul, con valores positivos para tonos amarillos y negativos para tonos azulados.

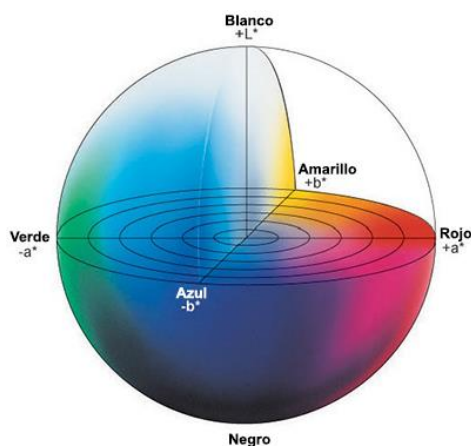


Figura 9. Modelo de color en la escala CIE lab tridimensional

Al efectuar un análisis de los valores obtenidos experimentalmente, los valores de luminosidad L^* , se ubicaron entre 42,40 y 48,27 para todas las muestras lo que refleja que estos rangos obtenidos son característicos de fibras lignocelulósicas no blanqueadas y materiales naturales agroindustriales. Así mismo, los valores del parámetro a^* oscilaron entre 4,03 y 8,40 lo que indica una tendencia ligeramente rojiza, característicos de hojas de maíz secas, que contienen lignina y compuestos fenólicos, los cuales se oxidan durante el secado o almacenamiento, aportando tonos rojizos. Mientras que, los valores del

parámetro b^* oscilaron de a 20,80 y 28,27 lo que indica tendencia al color amarillo. Según un estudio efectuado por **Navia & Bejarano, (2014)** analizaron bioplatos a partir de harina de yuca y fibra de fique, obteniendo valores similares en esta investigación ($L^* 64,84$; $a^* 7,41$; $b^* 27,65$), lo que indica que estos datos son típicos de fibras lignocelulósicas. Del mismo modo, **Sandoval et al., (2023)** analizaron otros bioproductos como bioplásticos elaborados con residuos agroindustriales de bagazo de caña y cáscara de plátano donde obtuvieron valores de color ($L^* 21,89 \pm 0,61$; $a^* 0,54 \pm 0,40$; $b^* 0,79 \pm 0,28$) lo que significa que fueron ligeramente claros, tendencia a verde y positivo para color amarillo. Así mismo, **Maniglia et al., (2017)** desarrollaron películas biodegradables a base de harina y almidón de mesocarpio de babasú obteniendo resultados ($L^* = 71-81$, $a^* = 3.82-15.38$, $b^* = 20.01-32.73$). Por otro lado comparando los resultados de luminosidad (L), estos son menores con los obtenidos experimentalmente, lo que puede atribuirse al mayor contenido de lignina y hemicelulosa en las fibras lignocelulósicas. Mientras que, los otros dos parámetros si están en los rangos obtenidos por tal motivo presentan tonos rojizos y amarillos cálidos. Finalmente, estos resultados obtenidos indican que los platos biodegradables germinables a partir materiales agroindustriales (hojas de maíz, papel Kraft de segundo uso (sin tinta, no blanqueado) y semillas vegetales, tienden a ser atractivos de manera visual al consumidor, asociándolo a un producto ecológico por sus tonalidades marrones (amarillentas) propias de sus materias primas. Mediante una prueba comparativa de Tukey para los parámetros L , a^* y b^* , se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre el control y los 8 tratamientos (Figura 10), el porcentaje de contenido de fibra de maíz (*Zea Mays*) y papel Kraft de segundo uso (sin tinta, no blanqueado) sí influyen en el color final de los platos biodegradables germinables en comparación con su control que tiene un color blanco propio del material sintético (poliestireno) del que está elaborado.

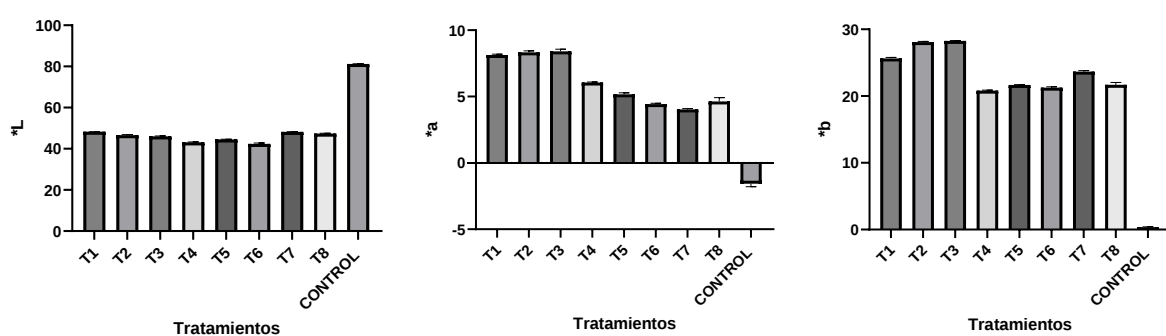


Figura 10. Parámetros de color escala CIE-Lab en platos biodegradables a partir de materiales agroindustriales. L^* : (Luminosidad); a^* : (rojo/verde); b^* : (amarillo/azul). **T1 a T8:** Tratamientos platos biodegradables germinables; **Control:** Plato desechable P 17 de poliestireno).

Transparencia (*UV-VIS*) de los platos biodegradables germinables

La transparencia se realizó utilizando un espectrofotómetro *UV-VIS* (Fisher Scientific) mediante el cual se obtuvieron valores de absorbancia utilizando un rango de longitud de onda de 200-800 nm. Los valores se encuentran entre 0,015 y 0,024%T, lo que indica que tuvieron una baja transparencia esto se debe a que las fibras naturales presentes en la composición del plato biodegradable germinable a partir, como la celulosa, poseen estructuras que dispersan la luz, reduciendo la transparencia del material final (Tabla 3). Según **Wang et al., (2023)** los valores bajos de transparencia indican que los platos son opacos. Esto se debe a que las fibras naturales de hojas de maíz (*Zea Mays*), como la celulosa y la lignina, dispersan y absorben la luz en lugar de permitir su paso. Del mismo modo, como los platos tienen la característica de ser germinables, estos deben tener una transparencia baja ya que promueven que las semillas estén protegidas y su vez no estén expuestas a la luz, conservándolas de mejor forma en la matriz del plato. Por último, mediante un análisis estadístico con la prueba de Tukey, se demostró que si existe diferencias significativas entre los tratamientos, con respecto al control, siendo este último más transparente ($0,112 \pm 0,007$ %T), esto se debe a que los materiales sintéticos, como el *poliestireno*, tienen una estructura densa y uniforme que permite una mayor transmisión de luz en comparación con los materiales naturales. Mientras que, cuanto más contenido de fibra de maíz existe en la matriz, más opaco se vuelve el material (Platos biodegradables germinables). Esto se debe a la dispersión de la luz causada por la estructura porosa de las fibras (**Zhang et al., 2014**) (**Alata et al., 2019**).

Elección del mejor tratamiento

Luego de determinar las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas se identificó el mejor tratamiento para posteriormente realizar las pruebas de biodegradación y germinación. Para ello, se basó en un análisis integral de los parámetros evaluados, considerando su relación con las propiedades físicas y funcionales del material. El tratamiento T7 (25% fibra de maíz y 30% papel Kraft) fue identificado como la opción más adecuada debido a su desempeño sobresaliente en múltiples aspectos. En cuanto a la humedad, el tratamiento T7 presentó un valor de 6,27%, lo cual está dentro del rango óptimo (**Gaitán et al., 2016**), además, en estudios previos de **Zhang et al., (2014)** ; **Alata et al., (2019)** corroboran que el bajo porcentaje de humedad es ideal para favorecer la biodegradación controlada del material y, al mismo tiempo, proporcionar condiciones adecuadas para la germinación, evitando problemas como descomposición temprana o excesiva sequedad que podría inhibir el crecimiento de las semillas vegetales incorporadas en la matriz de los platos. En contraste, tratamientos como T2 y T3, con niveles de humedad más altos (8,66% y 8,65%, respectivamente), podrían generar condiciones desfavorables para las semillas debido al exceso de agua retenida.

Así mismo, el espesor del material también resultó ser un factor determinante, ya que influye tanto en la tasa de biodegradación como en la facilidad para la penetración de raíces. T7 mostró un espesor de 3,03 mm, el más delgado entre los tratamientos reportados. El espesor favorece la interacción con el entorno biológico, permitiendo una descomposición eficiente y facilitando el crecimiento radicular (Long et al., 2023). Por el contrario, tratamientos como T2 y T4, con espesores superiores a 5 mm, podrían limitar la biodegradación y dificultar el proceso de germinación debido a la menor interacción con el medio. En términos de permeabilidad al vapor de agua (PVA), T7 presentó un valor de $5,05 \times 10^{-6} \text{ g.mm.h}^{-1}.\text{Pa}^{-1}.\text{cm}^{-2}$, ligeramente por encima del rango ideal ($4-5 \times 10^{-6}$) sugerido por Alata et al., (2019). Este valor asegura un adecuado intercambio gaseoso necesario para la germinación sin comprometer la funcionalidad del material como barrera frente al exceso de humedad. La solubilidad es otro parámetro crítico, ya que refleja la capacidad del material para biodegradarse tras cumplir su función. T7 mostró una solubilidad de 25,61%SP, en el límite superior del rango óptimo (15-25%) propuesto en la literatura. Este valor sugiere que el material tiene la resistencia necesaria durante el proceso de germinación, pero también se descompone de manera eficiente posteriormente. Por otro lado, tratamientos como T2 y T4, con solubilidades más bajas (10,62% y 10,63%, respectivamente), podrían retrasar la biodegradación, afectando el equilibrio del entorno germinativo. Así mismo, la transparencia es un indicador indirecto de la densidad y compactación del material. El tratamiento T7 mostró un valor de 0,015%T, el más bajo entre los tratamientos, lo que refleja una estructura altamente compacta y densa, ideal para resistir la descomposición prematura y proporcionar una barrera eficiente frente a agentes externos. En comparación, tratamientos como T2 y T4 presentaron niveles más altos de transparencia (0,023% y 0,022%, respectivamente), lo que sugiere menor compactación y, potencialmente, menor resistencia estructural. En resumen, el tratamiento T7 combina una humedad controlada, un espesor adecuado, una permeabilidad al vapor de agua equilibrada, una alta solubilidad y una baja transparencia, características que lo posicionan como la mejor opción para aplicaciones orientadas a la biodegradación y germinación (Long et al., 2023). Estos resultados concuerdan con estudios previos que destacan la importancia de optimizar tanto la composición como las propiedades físicas de los materiales biodegradables para garantizar su funcionalidad y sostenibilidad en aplicaciones prácticas (Zhang et al., 2014) ; (Alata et al., 2019).

Finalmente, para corroborar esta información se realizó una gráfica de Pareto estandarizado (Figura 11A), la cual permitió evaluar la significancia de los factores estudiados (A, B, C). Este análisis evidenció que el factor B, relacionado con el porcentaje de tipos de semilla de especies comestibles (1% de rábano y 1% de lechuga), no tuvo un efecto significativo en la elección del mejor tratamiento, ya que al emplear cualquiera de las dos semillas no se observaron diferencias relevantes en las propiedades analizadas. Para confirmar estos resultados, se generó una gráfica de interacción (Figura 11B), por lo tanto, se descartó este factor como determinante en la selección del tratamiento óptimo.

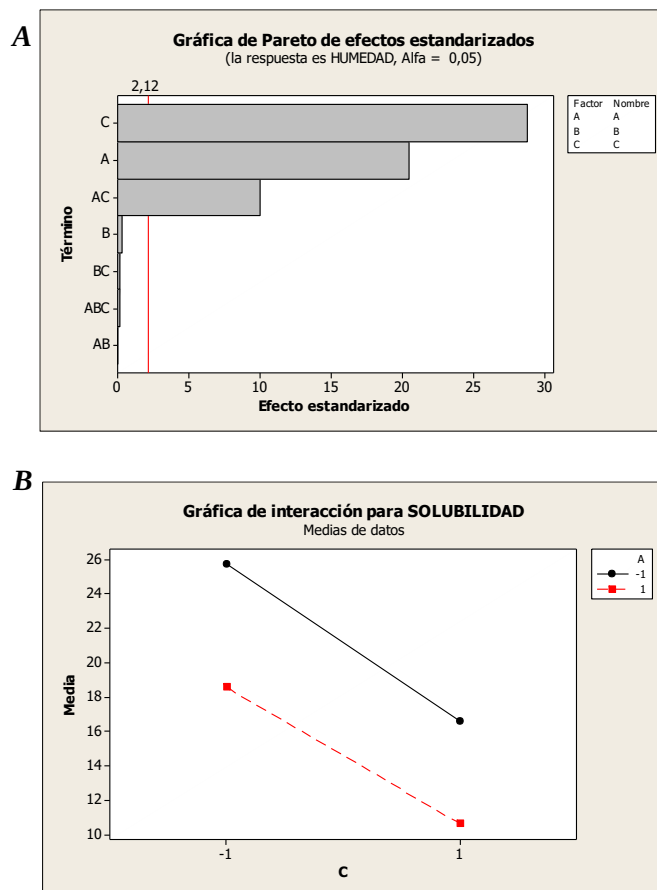


Figura 11. A: Gráfica de Pareto de efectos estandarizados de humedad. **B:** Gráfica de interacción de solubilidad del Factor A (Fibra de Maíz) vs el Factor C (papel reciclado tipo Kraft de segundo uso).

3.1.2.4 Estimación del tiempo de biodegradación y la capacidad de germinación de los platos en el suelo

Tiempo de biodegradación

La biodegradación es la capacidad de un elemento para transformarse y deteriorarse por la acción de microorganismos o enzimas en un determinado tiempo. El proceso del ensayo de biodegradación o enterrado de los platos biodegradables se llevó a cabo en macetas que estuvieron expuestas a condiciones ambientales controladas como luz y humedad, con un monitoreo cada 3 días regándolas con agua para simular condiciones de llovizna durante 45 días, para garantizar un correcto proceso de biodegradación (Figura 12). Adicionalmente, como control se utilizó Platos desechables P17 de poliestireno de un solo uso, con la finalidad de observar los cambios físicos atribuidos al proceso de biodegradación.



Figura 12. Ensayo de biodegradación de platos biodegradables germinables. **A:** Muestra de suelo + malla separadora; **B, C:** Enterrado de plato biodegradable y control (Platos desechables P17 de poliestireno); **D:** Proceso de biodegradación (45 días).

En la figura 13 se ilustra el proceso de biodegradación de los platos biodegradables germinables en intervalos de 0, 3, 8, 15, 20, 30 y 45 días. Un factor esencial en este proceso es la actividad de los microorganismos presentes en el suelo, que facilitan la descomposición de los platos mediante procesos microbiológicos. Esta actividad provoca cambios en el color de los platos y su desintegración progresiva en partículas más pequeñas. La temperatura y la humedad del entorno también juegan un papel crucial, ya que influyen en la actividad enzimática de los microorganismos. Estos factores combinados contribuyen a la eficacia del proceso de biodegradación, asegurando que los platos se desintegren adecuadamente y liberen nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.

Muestras		Tiempo de Biodegradación (días)						
T7	(25% Maíz +30% papel Kraft+1% Semilla)	Día 0	Día 3	Día 8	Día 15	Día 20	Día 30	Día 45
								
Control	(Platos desechables P17 de poliestireno)	Día 0	Día 3	Día 8	Día 15	Día 20	Día 30	Día 45
								

Figura 13. Proceso de biodegradación del mejor Tratamiento T7 (25% Maíz +30% papel Kraft+1% Semilla) a partir de materiales agroindustriales desde el día 0 hasta el día 45 y Control: plato desechable de poliestireno P17

Una de las principales razones por las que desarrollaron platos biodegradables a partir de materiales agroindustriales es por la ventaja de considerarse biodegradables porque ayuda significativamente a la reducción de utilización de platos desechables de un solo uso, convirtiéndose como una alternativa ecológica sostenible para el medio ambiente. Los platos biodegradables presentaron diferencias significativas en su apariencia física como se observa en la Figura 13, el proceso de biodegradación inicia a partir el día 3 donde ocurre los primeros signos de descomposición, como el cambio de su coloración en una parte del plato, a partir de día 8 se observa cambio de tonalidad y a su vez fisuras en toda la matriz. Según **Rabell et al., (2013)** el cambio de color y la formación de manchas en materiales biodegradables son señales visuales tempranas de descomposición microbiológica. En el día 8, el plato pierde rigidez y se ha fragmentado parte del mismo, además su tonalidad se ha hecho más oscura. Finalmente, en los días 15, 20, 30 y 45 el plato ha cambiado su tonalidad de color por completo, se ha fragmentado en porciones más pequeñas con presencia de moho. La aparición de estos microorganismos en los platos biodegradables de fibras celulósicas, como las hojas de maíz (*Zea Mays*), es un indicador positivo del inicio de la biodegradación. Según **Erazo, (2018)**, los hongos como *Aspergillus niger* y *Penicillium spp.* producen enzimas celulolíticas que descomponen la celulosa en moléculas simples, como glucosa, permitiendo su metabolización y liberación de CO₂ y agua como subproductos.

Estos resultados coinciden con **Rabell et al., (2013)**, en dónde mencionan que los materiales biodegradables sometidos a compostaje presentaron signos de descomposición, como la fragmentación, en tan solo 45 días, evidenciando la efectividad del método. Por todos los datos ya registrados bibliográficamente se considera que los platos biodegradables germinables a partir de materiales agroindustriales cumplen con los requisitos de la norma **UNE-EN 13432:2000**. Esta normativa establece que el producto debe desintegrarse en fragmentos suficientemente pequeños para no ser visible en el compost final, dentro de un período de compostaje industrial que suele ser de 12 a 16 semanas (**Paniagua, 2015**), es lo que se observó en esta investigación hasta la sexta semana (45 días).

Determinación del porcentaje de Materia seca (%MS)

El porcentaje de materia seca es un indicador clave para estimar la biodegradación de los platos biodegradables germinables. Como se observa en la Figura 14 desde el día cero hasta el día 45 se tuvo un descenso en la curva, esto hace referencia que, efectivamente los platos biodegradables están siendo activamente transformados por microorganismos, lo que confirma la biodegradabilidad de los platos elaborados a partir de materiales agroindustriales. La pérdida de peso de los platos durante el tiempo que duro el ensayo está relacionada con la pérdida de la materia seca. La pérdida de peso de los platos en contraste con la muestra control, demuestran que el T7 disminuye su peso de forma gradual y por esta razón al cabo de 45 días es notorio su decaimiento. En un estudio efectuado por **Erazo, en el (2018)**

para bioplásticos de almidón y cáscara de plátano se observó un 65% y 70% en platos biodegradables de hojas de palto (Malambo et al., 2022) alta biodegradabilidad de los platos puede atribuirse al contenido de celulosa y hemicelulosa en las hojas de maíz y el papel Kraft, lo que facilita la acción de microorganismos durante el proceso de descomposición.

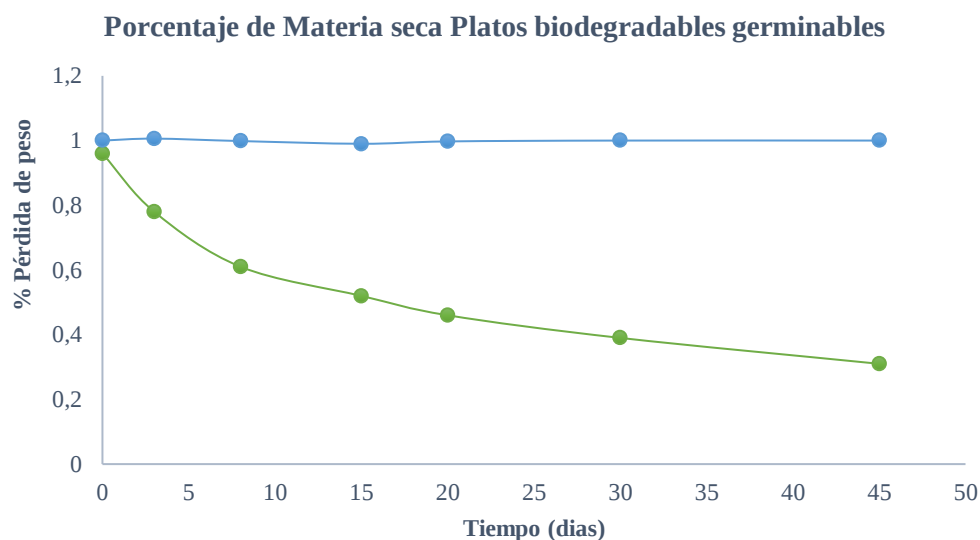


Figura 14. Pérdida de peso de los platos biodegradables a partir de materiales agroindustriales durante 45 días. **Color verde:** T7 (25% Maíz +30% papel Kraft+1% Semilla); **Color azul:** Control: plato desechable de poliestireno P17.

3.1.2.5 Tasa de germinación

Uno de los principales motivos para la fabricación de estos platos biodegradables germinables a partir de materiales agroindustriales, fue su capacidad germinativa, debido a que es una idea ecológica, atractiva e innovadora dentro del mercado. Estos platos no solo cumplen con su función de ser un recipiente biodegradable, sino que también ofrecen la posibilidad de dar origen a nueva vida generando sustentabilidad debido a la reducción del consumo de platos desechables plásticos de poliestireno. A su vez, aportando significativamente a la reducción de la contaminación ambiental ocasionada por el consumo excesivo de plásticos de un solo uso. Los resultados obtenidos durante el proceso de germinación del rábano y la lechuga como se observa en la Figura 15, se llevó un control diario brindándoles condiciones ambientales óptimas (luz y humedad), para que estas semillas comiencen a germinar desde los platos previamente enterrados en el suelo de acuerdo a su proceso de biodegradación las semillas son liberadas dando inicio a su proceso germinativo. El rábano (*Raphanus sativus*) demostró su rápida capacidad germinativa al día 3 se observó las primeras platas germinadas mientras que, la lechuga (*Lactuca sativa*) germinó al día 7, estos datos van de la mano con lo expuesto por Martínez et al., 2003); Neto & Filho, (2018).

Al día 30 germinaron un total de 85 % de semillas para el rábano (*Raphanus sativus*) mientras que, para la lechuga (*Lactuca sativa*) un 75%. Estos resultados fueron excelentes lo que significa que las fibras de hojas de maíz (*Zea Mays*) y el papel Kraft de segundo uso, demostraron ser materiales altamente porosos, con la capacidad de retener humedad y permitir un adecuado intercambio gaseoso, elementos esenciales para activar el metabolismo de las semillas en estado de latencia **(Bewley et al., 2013)**. Además, estos materiales, al ser biodegradables, favorecen su descomposición al contacto con el suelo, liberando compuestos orgánicos y estimulan el desarrollo inicial de las plantas **(Baudouin et al., 2022)**. Estos resultados no solo validan la funcionalidad germinativa del producto, sino que también subrayan su potencial para aplicaciones en sostenibilidad ambiental y economía circular. Finalmente, estos platos biodegradables germinables se integran perfectamente en un ciclo ecológico, donde no solo reemplazan productos desechables, sino que contribuyen activamente a la regeneración de los ecosistemas.

Muestras	Tasa de Germinación (días)					
	Día 0	Día 3	Día 7	Día 10	Día 30	Día 45
T7: 25% Maíz +30% papel Kraft+1% Semilla (Rábano)						
T7: 25% Maíz +30% papel Kraft+1% Semilla (Lechuga)						

Figura 15. Porcentaje de germinación de rábano (*Raphanus sativus*) y lechuga (*Lactuca sativa*). T7 (25% Maíz +30% papel Kraft+1% Semilla) a partir de materiales agroindustriales desde el día 0 hasta el día 45.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La elaboración de platos biodegradables germinables a partir de residuos agroindustriales, como hojas de maíz (*Zea Mays*) en combinación con papel Kraft de segundo uso (sin tinta, no blanqueado) resultó ser una alternativa sostenible para la reducción de residuos plásticos, ayudando significativamente a la contaminación del medio ambiente. Los platos al tener un carácter germinable tienen un valor único, porque una vez finalizada su vida útil, tienen la capacidad de ser devueltos a la tierra para descomponerse de manera natural por la acción de microorganismos presentes en el suelo y se convierten en un aporte directo a la naturaleza transformándose en una excelente alternativa ecológica para el ser humano, dando origen al crecimiento de plantas de especies comestibles que satisfacen las necesidades alimenticias.
- Se desarrolló ocho combinaciones con diferentes porcentajes de Maíz (*Zea Mays*), papel Kraft de segundo uso (sin tinta, no blanqueado) y semillas comestibles rábano (*Raphanus sativus*) y lechuga (*Lactuca sativa*). Los diferentes porcentajes utilizados fueron claves para determinar las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas. A su vez cabe destacar que, un alto porcentaje de maíz en las formulaciones es ideal favoreciendo la funcionalidad de los mismos. Al incorporar semillas de especies comestibles en su formulación agrega un elemento innovador y promueve el cultivo doméstico sostenible de platos.
- Las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas de los platos biodegradables germinables fueron evaluadas con el objetivo de garantizar su funcionalidad, estética, eficacia y sostenibilidad. A través de estos análisis, se logró identificar la mejor formulación, siendo el tratamiento T7 (25% fibra de maíz; 30% papel Kraft) el más destacado. Así mismo, al comparar los resultados con la literatura científica, se confirma que la fibra de maíz representa una excelente alternativa para el desarrollo de productos biodegradables innovadores. El tipo de semilla utilizada no ejerce un efecto significativo en las propiedades evaluadas.
- El proceso de biodegradación se llevó a cabo durante 6 semanas (45 días) y se observó la desintegración y presencia de mohos en el producto, por tal motivo se menciona que el plato biodegradable germinable a partir de materiales agroindustriales cumple con la norma UNE-EN 13432:2000, porque destaca que el material biodegradable debe desintegrarse dentro de 12 a 16 semanas y biodegradarse en un 90% aproximadamente en 6 meses. Además en cuanto, a la capacidad germinativa se puede concluir que las dos semillas comestibles tienen la capacidad de germinar rábano (*Raphanus sativus*) en un 85% mientras que, la lechuga (*Lactuca sativa*) en un 75%.

4.2 Recomendaciones

- El prensado de los platos biodegradables fue realizado mediante un método manual, lo que permitió una aproximación inicial al proceso de fabricación. Sin embargo, para su escalamiento industrial, es fundamental emplear una prensa mecánica o hidráulica, lo que no solo optimizará los tiempos de producción, sino también garantizará una mayor uniformidad en el grosor y la calidad de los platos. Adicionalmente, se recomienda evaluar las condiciones óptimas de presión, temperatura y tiempo durante el prensado mecánico, ya que estos factores influyen directamente en las propiedades físicas y mecánicas del producto final.
- En la incorporación de semillas germinables en los platos biodegradables, es crucial utilizar semillas certificadas que cuenten con un registro oficial y una fecha de caducidad vigente. Esto asegura su calidad, pureza genética, y un alto índice de germinación, reduciendo el riesgo de contaminación por semillas defectuosas o con baja viabilidad. Además, se sugiere realizar pruebas previas de germinación antes de incorporarlas a los platos, para garantizar su desempeño y compatibilidad con el material base, mejorando así la funcionalidad del producto.
- Durante el proceso de secado de los platos biodegradables, es esencial mantener un control riguroso de la temperatura y el tiempo. Variaciones en estos parámetros pueden afectar directamente las propiedades físicas de los platos, como su resistencia y elasticidad, así como comprometer el potencial germinativo de las semillas. Se recomienda trabajar con temperaturas moderadas para evitar daños en las semillas y asegurar una evaporación uniforme de la humedad. Además, se sugiere el uso de hornos con control automático para garantizar la reproducibilidad de los resultados.
- Para confirmar la biodegradabilidad de los platos elaborados con materiales agroindustriales, es necesario realizar un análisis detallado del impacto en el suelo. En particular, se recomienda evaluar el porcentaje de nitrógeno y otros nutrientes liberados durante el proceso de degradación. Esto no solo ayudará a verificar la integración de los platos al ciclo natural del suelo, sino también a medir su potencial como enmienda orgánica. Adicionalmente, se sugiere complementar este análisis con pruebas de descomposición controlada en condiciones de compostaje y campo abierto, para evaluar la degradación en diferentes ambientes.

Referencias Bibliográficas

- Alarcón, M., Berrocal, E., Canales, V., Ipanaqué, J., & Jaimes, R. (2019). *Producción y comercialización de platos descartables y biodegradables hechos a base de papel kraft y hojas de plátano* (Universidad San Ignacio De Loyola, Ed.). Universidad San Ignacio de Loyola. <https://hdl.handle.net/20.500.14005/9881>
- Alata, E., Cuadros, Y., Miranda, L., & Medina, E. (2019). Biopelículas producidas con cáscara de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana. *Revista de La Sociedad Química Del Perú, ISSN-e 2309-8740, ISSN 1810-634X, Vol. 85, Nº. 2, 2019, Págs. 231-241, 85(2), 231-241.* <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9550394&info=resumen&idioma=ENG>
- Arancibia, M., López, E., & Montero, P. (2014). *Recubrimientos activos procedentes de recursos infrutilizados y residuos de la industria para su aplicación en agroalimentación* [Universidad Complutense de Madrid]. <http://hdl.handle.net/20.500.14352/25962>
- Aristizábal, J., Sánchez, T., & Lorío, D. (2007b). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación.*
- Avalos, A., & Torres, I. (2018). “*Modelo de negocio para la producción y comercialización de envases biodegradables a base de cascarilla de arroz.*”
- Baudouin, E., Puyaubert, J., & Bailly, C. (2022). Physiological and Environmental Regulation of Seed Germination: From Signaling Events to Molecular Responses. *International Journal of Molecular Sciences 2022, Vol. 23, Page 4839, 23(9), 4839.* <https://doi.org/10.3390/IJMS23094839>
- Bewley, D., Bradford, K., Hilhorst, H., & Nonogaki, H. (2013). Synthesis of Storage Reserves -Síntesis de Reservas de Almacenamiento. In *Seeds* (pp. 85–131). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4_3
- Billmeyer, F. (2020). *Ciencia de los polímeros* (Rogelio Areal Guerra, Ed.; Reverte). https://books.google.com.ec/books?id=Fe0FEAAQBAJ&newbks=1&newbks_redir=0&dq=poliestireno&source=gbs_navlinks_s
- Buteler, M. (2019). El problema del plástico. *Desde La Patagonia Difundiendo Saberes, 16*, 56–60. https://desdelapatagonia.uncoma.edu.ar/wp-content/uploads/2019/12/13.-Buteler_Revista-28.pdf
- Cabrera, C., Diaz, Y., Diaz, E., & Gamboa, P. (2023). Características de las bandejas biodegradables de almidón de papa (*Solanum phureja*) reforzadas con maíz amarillo (*Zea mays* L.) y tocón de espárrago blanco (*Asparagus officinalis*). *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas, 2(1)*, 1–9. <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.e430>
- Cedano, K. (2020). Características físicas, mecánicas y porcentaje de biodegradación de bandejas elaboradas a partir de fibras de residuos agroindustriales y almidón de especies vegetales [Facultad De Ingeniería Y Arquitectura Escuela Profesional De Ingeniería Industrial]. In *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/119130>

- Cedeño, G., Crooks, K., Soto, M., Terán, N., & Walters, A. (2022). *Environmental awareness against the inappropriate handling of plastic by the human being. I*, 1–15. <https://doi.org/https://revistas.anep.org.pa/index.php/edh/article/view/35/16>
- Cedeño, I. (2023). *Evaluación de los cambios estructurales de plásticos de un solo uso, por efecto de la biodegradación* [Universidad Estatal de Milagro Vicerrectorado de investigación y posgrado]. <https://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/7017/1/CEDE%c3%91O%20CUELLAR%20ISIS.pdf>
- Chávez, A., Guillen, W., & Escobal, F. (2022). *Memorias de la XXIV Reunión Latinoamericana de Maíz*.
- Chilton. (2016). The Origin and Spread of Maize (*Zea mays*) in New England. *Histories of Maize*, 565–574. <https://doi.org/10.4324/9781315427331-50>
- Chokshi, S., Bambhaniya, S., & Mandot, A. (2024). Definición de áreas de aplicación de la fibra de cáscara de maíz mediante el estudio de sus características. *Environmental Science and Pollution Research*, 1–6. <https://doi.org/10.1007/S11356-024-33834-5/METRICS>
- Crespo, R. (2002). *Uso del horno microondas para la obtención del valor de materia seca en especies forrajeras*. https://www.researchgate.net/publication/267327330_Uso_del_horno_microondas_para_la_obtencion_del_valor_de_materia_seca_en_especies_forrajeras
- Cubilla, K., González, Y., Montezuma, G., & Samudio, M. (2019a). Coconut fiber and plantain banana peel as an alternative for the production of biodegradable material. *Licenciatura En Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de Panamá*, 5. <https://doi.org/https://doi.org/10.33412/rev-ric.v5.2.2496>
- Cubilla, K., González, Y., Montezuma, G., & Samudio, M. (2019b). Coconut fiber and plantain banana peel as an alternative for the production of biodegradable material. *Revista De Iniciación Científica*, 5. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2948/2903>
- Díaz, X. (2017). *Caracterización y optimización de una bandeja biodegradable a partir maíz, papa, soya y glicerol por el método de termopresado* [Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras]. https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/ace03aaa-72a1-4fae-bcec-68ac432dde20/content?utm_source
- Doria, Ma. del C. (2009). Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente. *Educación Química*, 20(4), 412–420. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30044-2](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30044-2)
- Erazo, M. (2018). “Evaluación del comportamiento de *aspergillus niger* y *penicillium spp* en la degradación de bioplástico elaborado a partir de almidón de cáscara de plátano” [Escuela Superior Politécnica De Chimborazo Facultad De Ciencias]. <https://doi.org/http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10554/1/236T0413.pdf>
- Espina, M., Cruz, J., & Siche, R. (2016). Propiedades mecánicas de bandejas elaboradas con almidón de especies vegetales nativas y

- fibras de residuos agroindustriales. *Scientia Agropecuaria*, 7(2), 133–143. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.02.06>
- Espinosa, A., & González, A. (2011). *La acumulación de basuras como material geotécnico II: Comportamiento de las basuras*. 3(Revista de Ingeniería), 1–5. <file:///C:/Users/DELL/Downloads/revinge.14.9.pdf>
- Flores, A., Laz Pavón, M., & Hernández, M. (2021). *Ecoplatos. Fabricacion de platos biodegradables a partir de residuos de la platanera*. Universidad de la Laguna.
- Fonseca, A., Jiménez, E., & Aguirre, R. (2021). Preparation of a novel biodegradable packaging film based on corn starch-chitosan and poloxamers. *Carbohydrate Polymers*, 251, 117009. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2020.117009>
- Fournier, L. (1993). *Recursos naturales*. Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Frank, B. ., Goodwin, D., Bohutskyi, P., Phan, D., Lu, X., Kuwama, L., Bouwer, E., & Fairbrother, H. (2020). Influence of polymer type and carbon nanotube properties on carbon nanotube/polymer nanocomposite biodegradation. *Science of The Total Environment*, 742, 140512. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.140512>
- Gaitán, A., Fonthal, G., & Calderón, H. (2016). Fabricación y propiedades físicas de aglomerados de *Pennisetum purpureum* schum, *Philodendron longirrhizum* y *Musa acuminata* (Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez, Trans.). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25. <https://www.redalyc.org/journal/932/93242698001/html/>
- Galapagos Conservation Trust. (2020). *Plastic Pollution in Galápagos*. <https://galapagosconservation.org.uk/>
- Gañán, P., Zuluaga, R., Castro, C., Restrepo, A., Cock, J., Osorio, M., Montoya, Ú., Vélez, L., Álvarez, C., Correa, C., & Molina, C. (2017). Celulosa: un polímero de siempre con mucho futuro (Edición Especial, Trans.). *Revista Colombiana de Materiales*, 01–04. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/9284/1/GananPiedad_2017_Celulosapolimero.pdf?utm_source
- García, L., García, A., Olaya, P., Rosas, G., & Vignolo, D. (2019). *Diseño del proceso productivo de bandejas biodegradables a partir de fécula de maíz* [Universidad de Piura]. https://siar.regionpiura.gob.pe/documentos/repositorio/phpsd5Whe.PDF?utm_source
- García, M. (2022). Influencia del color del empaque biodegradable en la intención de compra en jóvenes guatemaltecos de la Generación Z. *Revista Científica Del Sistema de Estudios de Postgrado de La Universidad de San Carlos de Guatemala*, 5(2), 63–76. <https://doi.org/10.36958/sep.v5i2.106>
- Gheno, Y., Navarro, A., Zilli, N., Pérez, A., & López, L. (2023). Producción orgánica de Rábano (*Raphanus sativus* L.) y Lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 11(1), 131–142. <https://doi.org/10.47808/REVISTABIOAGRO.V11I1.468>
- Gobierno de Galápagos. (2023). “Galápagos sin plásticos de un solo uso.” <https://www.gobiernogalapagos.gob.ec/galapagos-sin-plasticos-de-un-solo-uso/>

- Guamanquispe, P., & Pardo, A. (2023). *Diseño y construcción de una máquina para producir platos con material biodegradable para el laboratorio de materiales de la FICM-UTA* [Universidad Técnica de Ambato]. file:///C:/Users/DELL/Downloads/Tesis%20I.M.%20756%20-%20Pardo%20Dom%C3%ADnguez%20Alex%20Fabricio%20-%20Guamanquispe%20Salas%20Pa%C3%BA1%20An%C3%ADbal%20(2).pdf
- Incio, P., Quinteros, B., Cañeda, C., Lizarzaburu, D., & Benites, E. (2021). Biodegradable Banana Leaf Dishes as an Ecological Alternative to Single-use Products. *Una Mirada a La Investigación y La Responsabilidad Social*, 2. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.5217587>
- INEN. (2022). *Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales Gestión de Residuos Sólidos 2021*.
- Jiang, B., Kauffman, Alexandra., Li, L., McFee, W., Cai, B., Weinstein, J., Lead, J., Chatterjee, S., Scott, G. I., & Xiao, S. (2020). Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review. *Environmental Health and Preventive Medicine* 2020 25:1, 25(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/S12199-020-00870-9>
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., & Bohn, A. (2005). Cellulose: Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material. *Angewandte Chemie International Edition*, 44(22), 3358–3393. <https://doi.org/10.1002/ANIE.200460587>
- Kopsell, D., & Kopsell, D. (2006). Accumulation and bioavailability of dietary carotenoids in vegetable crops. *Trends in Plant Science*, 11(10), 499–507. <https://doi.org/10.1016/J.TPLANTS.2006.08.006>
- Laita, A. D., Mambrilla, M. R., & Castrillón, J. L. P. (2018). Enfermedades por tóxicos: intoxicaciones por gases y metales. *Medicine - Programa de Formación Médica Continuada Acreditado*, 12(69), 4027–4042. <https://doi.org/10.1016/J.MED.2018.11.020>
- Laredo, E., Salinas, A., Chávez, M., Meléndez, N., Barrera, C., Salinas, T., & De León, M. (2023). Efecto de hidrogeles biodegradables sobre la retención de humedad y la germinación de alfalfa. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(2). <https://doi.org/10.19136/ERA.A10N2.3133>
- Laureano, B., & Corrales, J. (2019). “*Elaboración y caracterización de películas biodegradables a base de mucílago de nopal (opuntia spp.) En combinación con otros polímeros y adicionadas con un extracto antifúngico.*” Universidad Autónoma Chapingo.
- Lei, C., & Engeseth, N. (2021). Comparison of growth characteristics, functional qualities, and texture of hydroponically grown and soil-grown lettuce. *LWT*, 150, 111931. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111931>
- Long, J., Zhang, W., Zhao, M., & Ruan, C. Q. (2023). The reduce of water vapor permeability of polysaccharide-based films in food packaging: A comprehensive review. *Carbohydrate Polymers*, 321, 121267. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2023.121267>

- López, Cerón, Osorio, Checa, & Villada. (2017). Evaluación de propiedades mecánicas de películas biodegradables a base de almidón de papa, almidón de yuca y proteína de suero de leche. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2, 582–587.
- López, F., Pomaquero, J., & López, J. (2020). Analysis of environmental pollution by plastics in the city of Riobamba. *Polo Del Conocimiento*, 5, 725–742. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i12.2139>
- Lorna, G. (2012). The hierarchical structure and mechanics of plant materials. *Journal of The Royal Society Interface*, 9(76), 2749–2766. <https://doi.org/10.1098/RSIF.2012.0341>
- Luna, M., Oliveros, G., López, A., Maza, S., & Olivos, M. (2018). Elaboración de papel biodegradable a partir de hojas de maíz blanco (*Zea mays* L.). *YACHAQ*, 1(1), 47–56. <https://doi.org/10.46363/YACHAQ.V1I1.46>
- Maceda, A., Soto, M., Peña, C., Trejo, C., & Terrazas, T. (2021). Lignin: composition, synthesis and evolution. *Madera y Bosques*, 27(2). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722137>
- Malambo, L., Arias, L., & Moscoso, A. (2022). *Elaboración de platos biodegradables a base de hoja de la planta de plátano-cachaco para mejorar la economía del resguardo indígena de palonegro (tolima)* [Universidad Ecci Facultad Ingeniería]. <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/2982/Trabajo%20de%20grado.pdf>
- Maniglia, B., Tessaro, L., Lucas, A., & Tapia, D. (2017). Bioactive films based on babassu mesocarp flour and starch. *Food Hydrocolloids*, 70, 383–391. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2017.04.022>
- Mariscal, Z., Esparza, A., & Coello, E. (2023). Environmental Contamination by Plastic Waste in the City of Babahoyo, Ecuador. *Estudios Del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 11, 43–51. <https://doi.org/https://revistas.uh.cu/revflacso/article/view/7307/6232>
- Martínez, A., Lee, R., Chaparro, D., & Páramo, S. (2003). *Postcosecha y mercadeo de hortalizas de clima frío bajo prácticas de producción sostenible* (Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano., Ed.). <http://books.google.com.co/books?id=2aL2xUPJdYMC>
- Mestres, R. (2013). Química Sostenible: Naturaleza, fines y ámbito. *Educación Química*, 24(SPL.ISSUE1), 103–112. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72503-5](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72503-5)
- Micán, M., Velásquez, L., & García, W. (2020). Evaluación del uso de fibras lignocelulósicas para el reforzamiento de espumas rígidas de poliuretano. *Inge CuC*, 16(1), 116–128. <https://doi.org/10.17981/INGECUC.16.1.2020.08>
- Montoya, M., Espinal, M., Bello, I., López, C., Mendoza, E., Bravo, C., & López, P. (2022). Elaboración de bioplásticos a base de cáscara de plátano (*musa paradisiaca*) y almidón de maíz (*zea mays*). *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 2385–2401. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2763
- Moreno, A. (2022). *Plan de negocio para la creación de una empresa dedicada a la fabricación de platos biodegradables a base de hoja de plátano* [Universidad Santo Tomas].

- https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/44153/2022angiemoreno.pdf?sequence=6&utm_source
- Moreno, G. (2015). *Utilización de harina de plátano (musa balbisiana), en el desarrollo de películas biodegradables activas*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería en Alimentos.
- Muñoz, D. (2022). *Obtención de celulosa microcristalina aplicando hidrólisis ácida a partir del bagazo de la caña de azúcar (saccharum officinarum) proveniente de la parroquia Balsapamba-Bolívar*. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo Facultad De Ciencias.
- Navia, D., & Bejarano, N. (2014). Evaluación de propiedades físicas de bioplásticos termo-comprimidos elaborados con harina de yuca. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 40–48. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/346>
- Neto, L., & Filho, M. (2018). Germination and emergence of lettuce at elevated temperatures. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12, 677–684. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i3.7720>
- Nutsch, W. (1996). Tecnología de la madera y del mueble. In *Editorial Reverté, S.A.* https://books.google.com/books/about/Tecnolog%C3%ADa_de_la_madera_y_del_mueble.html?id=ii1i7ZCDDuYC
- OCE. (2023). *Maíz en Ecuador: Observatorio de Complejidad Económica*. <https://oec.world/es/profile/bilateral-product/corn/reporter/ecu>
- ONU. (2023, June). *Un “maremoto tóxico” de plásticos amenaza los derechos humanos*. <https://news.un.org/es/story/2023/06/1521612>
- Palacios, Í. del C., & Moreno, D. (2022). Contaminación ambiental. *RECIMUNDO*, 6, 93–103. [https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(2\).abr.2022.93-103](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(2).abr.2022.93-103)
- Paniagua, M. (2015). *Compostabilidad de envases de bolsas de PBAT + PLA y envases rígidos de PLA mediante tecnologías de pila y túnel*. https://oa.upm.es/39602/1/MERCEDES_GOMEZ_PANIAGUA_SIN_ANEXO2.pdf
- Pérez, I., Aguilera, I., Casals, M., Ábalos, A., & Pérez, R. (2013). Evaluación mediante espectrofotometría UV-VIS derivativa de la degradación del 2-clorofenol. *Revista Cubana de Química*, XXV, 3, 318-327.
- Pluas, Alejandro, & Zambrano. (2020). *Bioplastics: an ecological alternative*. 5, 274–282. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i10.1805>
- Prado, M., Hernández, J., Aguilar, B., Palacios, B., Juárez, H., Radillo, J., & Rentería, M. (2012). Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta. *Madera y Bosques*, 18(3), 37-51. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712012000300004
- Prat, L. (2010). *Dispositivos electrónicos y fotónicos : fundamentos* (S. L. Edicions de la UPC, Ed.).

- Prieto, R. (2023). Contaminación ambiental por plásticos durante la pandemia y sus efectos en la salud humana. *Revista Colombiana de Cirugía*, 38(1), 22–29. <https://doi.org/10.30944/20117582.2203>
- Rabell, M., Vázquez, A., Espinosa, R., Beltrán, M., Osada, M., & González, J. (2013). Propuesta metodológica para la evaluación de la degradabilidad de plásticos mediante composteo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29, 127–133. <https://www.redalyc.org/pdf/370/37029665015.pdf>
- Ramírez, R., & Pérez, M. (2006). Evaluación del potencial de biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales para uso agrícola y su efecto sobre el cultivo (rábano rojo (*raphanus sativus* l.). *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*, 59, 3543–3556.
- Razzaq, S., Shahid, S., & Nawab, Y. (2024). Applications and environmental impact of biodegradable polymers in textile industry: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 136791. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIMAC.2024.136791>
- Riofrio, C., Oviedo, C., & Navarro, D. (2019). Importancia de productos biodegradables en Ecuador. *Observatorio de La Economía Latinoamericana*, ISSN-e 1696-8352, Nº. 6, 2019 (Ejemplar Dedicado a: Junio), 6, 75. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9003995&info=resumen&idioma=SPA>
- Roldán, V. (2021). *Preparación de materiales y maquinaria según documentación técnica* (S. A. Ediciones Paraninfo, Ed.).
- Sandoval, D., Camarillo, D., Amaro, A., García, M., Campos, R., & Regalado, C. (2023). Empaque bioplástico para alimentos con propiedades antifúngicas elaborado a partir de residuos agroindustriales. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8, 802–807.
- Sarria, R., & Gallo, J. (2016, August). The big environmental problem of the plastic waste: Microplastics. *Investigacion - Ingenieria Quimica*, 8, 21–27. <https://doi.org/https://www.labamex.com/newsletter/news18/Microplasticos.pdf>
- Schmidt, P., Cioffi, M., Voorwald, H., & Silveira, J. (2011). Flexural Test On Recycled Polystyrene. *Procedia Engineering*, 10, 930–935. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2011.04.153>
- Spanevello, R., Suárez, A., & Sarotti, A. (2013). Fuentes alternativas de materia prima. *Educación Química*, 24(SPL.ISSUE1), 124–131. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72505-9](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72505-9)
- Staller, J. (2009). *Maize Cobs and Cultures: History of Zea mays L.* (Springer Science & Business Media, Ed.). https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=jHL1dry3W_oC&oi=fnd&pg=PP2&dq=zea+mays+book&ots=hJSIcLCRDh&sig=oLQMoH9xvLy_VtacFBey7YcrDeI#v=onepage&q=zea%20mays%20book&f=false
- Theander, K., & Pugh, R. J. (2004). Surface chemicals concepts of flotation de-inking. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 240(1–3), 111–130. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2003.12.014>

- Toaquiza, B. (2022). *Diseño y desarrollo de prototipo de platos desechables biodegradables a base de residuos de cosecha y descascarado del arroz* [Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Central del Ecuador Carrera de Ingeniería en Diseño Industrial]. <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/f6ad5e49-21e6-451f-aa24-edff02b83594/content>
- Vázquez, A., Santiago, M., Rivadeneyra, E., & Díaz, R. (2019). Películas comestibles a base de almidón nanoestructurado como material de barrera a la humedad. *CienciaUAT*, 13(2), 152. <https://doi.org/10.29059/CIENCIAUAT.V13I2.1105>
- Vázquez, Manual. (2001). *Avances en seguridad alimentaria*. ALTAGA. https://books.google.com/books/about/Avances_en_seguridad_alimentaria.html?id=MxtaqbHu6WwC
- Vega, A. (2017). Estandarización del proceso de fabricación de papel kraft en la máquina papelera N° 2 de la empresa Trupal. *Universidad Tecnológica Del Perú*. <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/836>
- Villacis, J. (2019). *Evaluación de la germinación y crecimiento de Teca (Tentona grandes) de cuatro fuentes semilleras* [Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/ca93841b-767d-4d8a-abf3-293888e3c838/content>
- Villares, D. (2022). *Desarrollo de un plato biodegradable a base de harinas de fibra coco (Cocos nucifera), tusa de maíz (Zea mays) y arroz (Oryza sativa)*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Viteri, J. (2020). *Utilización de cáscara de plátano (Musa spp.), en el desarrollo de películas biodegradables*. Universidad Técnica de Ambato.
- Wang, D., Gu, Y., Feng, S., Yang, W., Dai, H., Xiao, H., & Han, J. (2023). Lignin-containing biodegradable UV-blocking films: a review. *Green Chemistry*, 25(22), 9020–9044. <https://doi.org/10.1039/D3GC02908E>
- Wang, M. H., He, Y., & Sen, B. (2019). Research and management of plastic pollution in coastal environments of China. *Environmental Pollution*, 248, 898–905. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2019.02.098>
- World Health Organization. (2008). *Guidelines for Drinking-water Quality* (4th Edition, Vol. 1). file:///C:/Users/DELL/Downloads/9789241547611_eng.pdf
- Zhang, Y., Rempel, C., & Liu, Q. (2014). Procesamiento y características del almidón termoplástico: una revisión. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(10), 1353–1370. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.636156>

Anexos



Figura 16. Proceso de elaboración de platos biodegradables germinables. **A, B, C:** Preparación de materia prima (Maíz); **D:** Papel Krab; **E:** Preparación del aglutinante; **F:** Secado de platos; **G:** Platos biodegradables germinables terminados y almacenados; **H,I:** Aplicación del plato biodegradable germinable.



Figura 17. Plato biodegradable germinable a partir de materiales agroindustriales terminado y almacenado. **A,B:** Aplicación de Barniz alimenticio, **C:** Almacenamiento.



Figura 18. Proceso de biodegradación del plato elaborado a partir de materiales agroindustriales al día 45 (6 semanas).

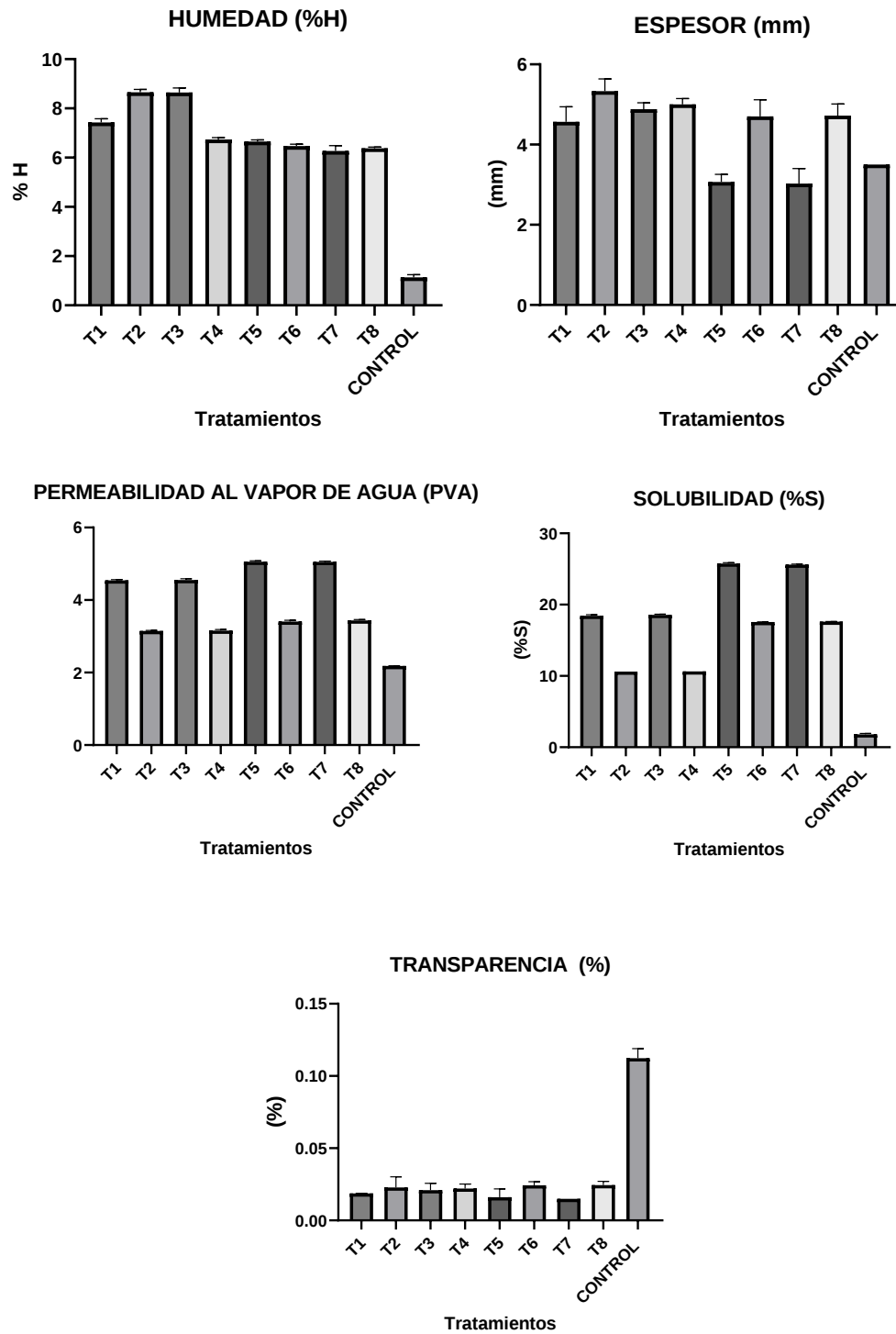


Figura 19. Gráficas de análisis de las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas de los platos biodegradables a partir de materiales agroindustriales.