

Aplicación De La Semilla De Aguacate En El Desarrollo De Cubertería Biodegradable Y Descartable

Avocado Seed Application In The Development Of Biodegradable And Disposable Cutlery



Marcos Javier Proaño Maigualca
Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador

mproano@pucesa.edu.ec
ORCID: 0009-0009-5104-5982

Yesenia Yomara Jiménez Sánchez
Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador

yjimenez@pucesa.edu.ec
ORCID: 0000-0003-0542-768X

Dolores Augusta Jiménez Sánchez
Universidad de Guayaquil, Ecuador

dolores.jimenezs@ug.edu.ec
ORCID: 0000-0003-2143-7263

Recibido: 12/08/2024
Aceptado: 18/11/2024

Resumen

Los residuos plásticos de un solo uso y parte de los residuos agrícolas aportan a la contaminación ecológica global que hoy se vive en el planeta. El objetivo de este trabajo es aplicar la semilla de aguacate en el desarrollo de cubertería biodegradable y descartable. La ruta metodológica inicia con un muestreo no probabilístico intencional de las semillas de aguacate, seguida por la preparación y molienda, y la inclusión del almidón de maíz termoplástico y bentonita en diferentes proporciones. Se plantea un diseño de mezclas con vértices extremos y punto central, para un total de cinco formulaciones con tres repeticiones. El material obtenido fue caracterizado en sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. En la parte proyectual, se aplica la metodología denominada Proyecto de Promoción y Estudio para un Diseño Industrial Competitivo; esta será de utilidad desde el boceto hasta el desarrollo final. La muestra con más tracción corresponde a la formulación 5% con bentonita de 2,05 Mpa, además con un módulo de Young de 52,07 Mpa, lo que significa que es un material con mayor rigidez. Finalmente, se indica que el tipo de artículo presentado a continuación es de investigación.

Palabras clave: biodegradable, biomateriales, diseño sustentable, diseño de productos, cubertería descartable.

Abstract

Single-use plastic waste and a portion of agricultural waste contribute to the global ecological contamination the planet is experiencing today. This work aims to apply avocado seeds in the development of biodegradable and disposable cutlery. The methodological route begins with an intentional non-probabilistic sampling of avocado seeds, followed by preparation and grinding, and including thermoplastic corn starch and bentonite in different proportions. A mixture design with extreme vertices and a central point is proposed for a total of 5 formulations with 3 repetitions. The obtained material was characterized by its physical, chemical, and mechanical properties. The methodology called Project for the Promotion and Study for a Competitive Industrial Design is applied in the project part, which will be useful from the sketch to the final development. The sample with the highest traction corresponds to the formulation 5% with bentonite of 2.05 MPa, in addition to Young's modulus of 52.07 MPa, which means that it is a material with greater rigidity. Finally, it is indicated that the type of article presented below is research.

Keywords: biodegradable, biomaterials, sustainable design, product design, disposable cutlery.

Introducción

El plástico es, actualmente, el material que más contamina los océanos. Inició su producción en 1950, con dos millones de toneladas; para el 2019, su producción alcanzaba los 381 millones de toneladas. De acuerdo con Greenpeace (2018), una botella plástica de polietileno se degrada aproximadamente en 400 años. La formación de micro plásticos contribuye a la contaminación y daño de generaciones de especies marinas y a la presencia de trastornos del desarrollo, cambios hormonales, anomalías a nivel reproductivo y cáncer (Organización de las Naciones Unidas, 2021).

La gran cantidad de residuos plásticos provocó una emisión de 1,7 gigatoneladas de CO₂ para el 2015; además, se prevé que, para el 2050, exista una alarmante cifra de 6,5 giga toneladas, lo cual contribuirá al calentamiento global. En Ecuador, se generan anualmente alrededor de 260.000 toneladas de residuos plásticos de un solo uso (INEC, 2018).

La cantidad de residuos podría considerarse como una materia prima de segundo uso y se pudiese reciclar; sin embargo, de acuerdo con Greenpeace (2018) solamente se recicla el 9% del total, lo cual significa que una alternativa para la disminución del plástico es sustituirlos por otras materias primas que sean amigables al medio ambiente o fomentar el uso de materiales biodegradables.

Otros residuos para gestionar son los residuos agroindustriales. Gran porcentaje de estos desechos son de origen orgánico, como: cáscaras, semillas, pulpa y todo derivado de frutas y verduras. Estos son desechados sin considerar el valor intrínseco de los mismos, por lo que podrían ser materia prima para nuevos materiales. En la investigación presentada por Lema et al. (2020) se muestra que es posible utilizar los residuos del cacao para poder desarrollar envases de bioplástico. Otras opciones son los platos orgánicos hechos de hoja de banano (Ramírez, 2019) y el uso de residuos de café para la producción de celulosa bacteriana aplicada al diseño de productos de calzado y bisutería (Jiménez-Sánchez, 2021). Estos trabajos dan una guía detallada de lo que se podría lograr si se considera a los biomateriales.

Ecuador es un país agrícola; esta actividad aporta al desarrollo del país. Uno de los cultivos importantes es el aguacate, con alrededor de 11 mil personas involucradas en su producción (MAG, 2023). Su consumo local, aproximadamente, corresponde a 1 kg/año (Flores et al., 2021). En 2021, se exportaron alrededor de 100 toneladas de aguacate tipo Hass, hacia Estados Unidos, Europa, Asia y Colombia (Yara, 2022). Por lo tanto, es una materia prima que merece atención para su producción y la utilización de sus residuos.

Del consumo del aguacate queda como subproducto la semilla y la cáscara, que actualmente se eliminan como desechos. La importancia de la semilla está relacionado con el contenido de almidón, que está alrededor del 60 al 70% (Teshfaye et al., 2018). De acuerdo con Maryam et al. (2016): "El almidón es un biopolímero que se compone de glucosa y se utiliza en una amplia gama de industrias como la de alimentos, papel, textil, plástico, farmacéutica, cosmética, pintura, bebidas, construcción e industrias cerámicas" (p.10). Teshfaye et al. (2018) complementan lo anterior al decir que: "Debido a la demanda, las industrias utilizan materias primas como maíz, papa, yuca, arroz y trigo entre otros, para la extracción de almidón, dichas materias primas al mismo tiempo son fuentes de alimento" (p.1).

Como consecuencia, se deben tener en cuenta los desafíos de la seguridad alimentaria. Este tema lleva a investigar nuevas fuentes naturales de almidón para la industria, como los subproductos agroindustriales. Entre estos productos, se puede mencionar a la semilla del aguacate, por su alto contenido de almidón. Además, como residuo, según afirman Correa et al. (2019), "representa aproximadamente el 40% del total de masa del fruto".

La creación de nuevos materiales de bajo costo, con buenas propiedades mecánicas y sostenibles en el medio ambiente, es el reto permanente para el diseño ecológico (Nava, 2016). En esta realidad, el diseñador usa materiales ecológicos y la aceptación del consumidor para la obtención de un impacto económico, industrial, social, entre otros (Ortíz, 2007).

Cientos de semillas de aguacate son desechadas diariamente en mercados y comedores de grandes centros comerciales. Parte de estas semillas han sido recolectadas y utilizadas para el proceso investigativo de este trabajo. En un solo día, en uno de los mercados centrales de la ciudad de Ambato, se han recolectado 104 semillas. Esta cifra se obtuvo tan solo de dos puestos de comida.

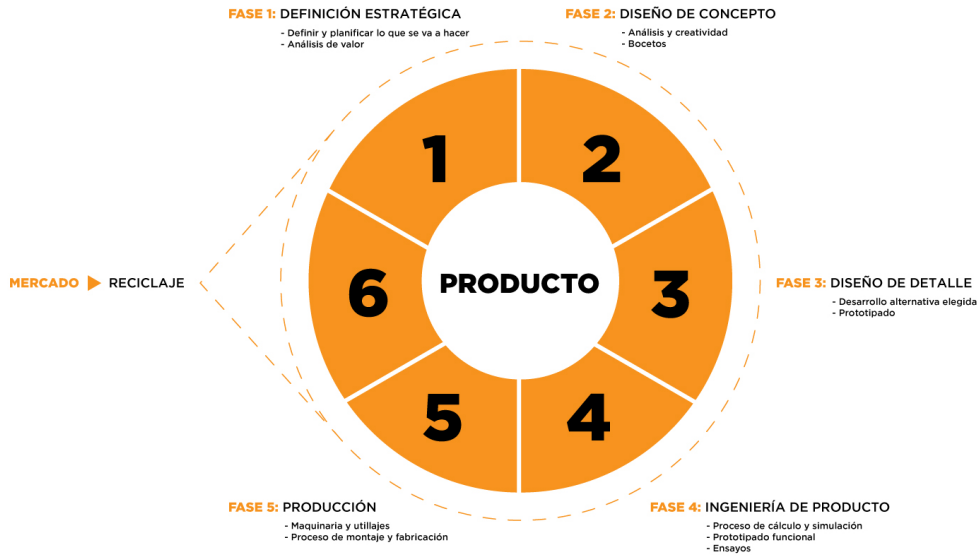
En promedio, se necesitan de 12 a 15 semillas para obtener 100g de almidón. Esto demuestra que la principal fuente de obtención de nuestra materia prima se encuentra siendo desechada por los mismos agentes de contaminación por plástico, en su mayoría.

El proceso de obtención del almidón de la semilla de aguacate se puede realizar de forma casera. El almidón y el bagazo de la propia semilla se utilizan para la creación del nuevo material, lo cual indica un aprovechamiento total en el proceso. Dicho proceso es escalable a nivel industrial.

Metodología

La investigación ha sido desarrollada con carácter experimental, puesto que se trabaja en el desarrollo de un nuevo material. Esto implica generar varias pruebas hasta llegar al material deseado. En cuanto a lo proyectual, se trabaja con la metodología del Proyecto de Promoción y Estudio para un Diseño Industrial Competitivo (PREDICA), de la Fundación PRODINTEC. Esta es la más adecuada para poder explicar de forma simple y práctica todas las fases a seguir. Desde el porqué del producto hasta la producción de este, la metodología se conduce por un ciclo estratégico, el cual permite el total entendimiento de sus dimensiones y brinda la posibilidad de ser replicado de forma integral. Para la presente investigación, se plantea hasta la fase cuatro de la metodología proyectual.

Figura 1
Metodología PREDICA (Ruta)



Nota. Tomado de PRODINTEC (2019).

Fase 1-Definición Estratégica. Desarrollo del nuevo material a través del uso de la semilla de aguacate como recurso principal, y la combinación de almidón termoplástico y bentonita.

La fórmula se planteó con la aplicación del almidón de maíz termoplástico (TPA), debido a la plasticidad que requiere el desarrollo del nuevo material, y de bentonita, debido a que se logra la dureza y mejora las propiedades mecánicas necesarias, así como la estabilidad requerida.

La elaboración del almidón termoplástico (TPA) fue realizada de acuerdo con la metodología expuesta por Luna et al. (2009) y Hernández-Gil et al. (2022). Para esto, el almidón nativo de maíz (El Sabor, Alimensabor, Cía.Ltda) se mezcló con glicerina (USP, Casa del Esparadrappo, Guayaquil, Ecuador) (30% m/m) durante diez minutos. Esta mezcla se guardó en una funda sellada y se colocó en un desecador durante 24 h. Después de eso, fue expuesta en un horno a 155 oC ± 2 oC durante quince minutos. La mezcla se enfrió y almacenó en un desecador a 25 oC y 50 % RH, hasta su caracterización y uso.

El material en desarrollo contó con almidón termoplástico (TPA), semillas de aguacate molidas (SMA) y bentonita como carga. Cada formulación se realizó por triplicado. Se usó el programa estadístico Minitab (v18), con el diseño de mezclas con vértices extremos y punto central (Tabla 1).

Tabla 1
Formulaciones planteadas

TPA (%)	SMA (%)	Bentonita (%)
40	50	10
60	30	10
52,5	42,5	5
40	50	10
70	30	0

TPA = Almidón termoplástico. SMA Semilla de aguacate molidas

Fase 2-Diseño de Concepto. Corresponde al desarrollo del producto en sus diferentes etapas, desde la funcionalidad y la relación con el usuario. Va desde la forma que debería tomar, con el uso de técnicas de representación como bocetos, pre maquetas, entre otros, hasta el diseño en 3D y el análisis del producto aplicado a su entorno. En este caso, se debe considerar que son utensilios de un solo uso.

Fase 3-Detalle del Producto. Se describen las características esenciales del producto que ha sido propuesto, desde sus especificaciones técnicas, medidas y el proceso constructivo para la fabricación del producto. En este caso, el desarrollo de cubtería desechable consistió en la elaboración de una lámina maleable para, seguidamente, termoformar a gusto. La lámina fue realizada de acuerdo con la metodología de Espina et al. (2016) y de Hernández-Gil et al (2022), con modificaciones. El TPA y SMA fueron mezclados con agua potable en relación de 1:2 y sometidas a calor a 80 oC durante seis minutos en constante agitación. La masa obtenida fue colocada en una prensa y en termo prensa a 40 oC durante treinta minutos. Se enfrió a temperatura ambiente y se guardó en el desecador, para proceder al termoformado. La lámina formada fue sometida a una prensa y luego fue secada en un horno a 50 oC por dos horas, para dar su forma final. Estas fueron guardadas en desecador, en condiciones controladas hasta su caracterización.

Fase 4-Ingeniería de Producto. Se prueban diferentes herramientas técnicas y de laboratorio que permiten verificar el cumplimiento de resultados y restricciones de su desarrollo. En esta fase, se propone el desarrollo de prototipos ágiles, virtuales y que permiten la visualización primaria de los productos, a través de la realización de pruebas. Estas entran a pruebas de resistencia del material; entre las pruebas, están la tracción, tensión y flexión. Esto se debe a que estas pruebas logran un perfil completo de las propiedades del material y su posible aplicación.

Fase 5-Producción. Si bien esta fase es importante, debido a que permite ya la aplicación de las fases anteriores, implicaría mayor tiempo, inversión económica y humana para una correcta aplicación. Por ello, se dejará para una segunda parte.

Fase 6-Mercado Reciclaje. Esta fase permite la evaluación del impacto medioambiental. Asimismo, se resalta la importancia de lograr materiales que disminuyan las afectaciones hacia el planeta, contrarias a lo que realiza el plástico. Esta fase se prueba a través de la demostración de los materiales que serán usados.

Caracterización de Materias Primas

Se realiza la caracterización, con el objetivo de garantizar la calidad y seguridad del producto final, de forma que se puedan optimizar procesos de producción y asegurar la toma de decisiones en el uso y aplicación del nuevo material.

Determinación de Humedad de Almidón de Maíz Nativo. La determinación de la humedad se realizó de acuerdo con la metodología de INEN 1666 (2014) en estufa Biobase (Modelo BOV-V230F). Esta se realizó por triplicado. Se usó la Ecuación 1:

$$\text{Ec. 1} \quad \text{Humedad (\%)} = \frac{M1-M2}{M1-M0} * 100$$

En dónde M1 es la masa de la cápsula con muestra húmeda; M2 es la masa de la cápsula con muestra seca; y M0 es la masa de la cápsula vacía.

Rendimiento de la Semilla de Aguacate. Se seleccionaron semillas de aguacate de la variedad Hass. Se separó el almidón según la metodología de Chel-Guerrero et al. (2016) y Wang et al. (2022), con ligeras modificaciones. Para esto, se rallaron las semillas, se separaron el almidón y los residuos. Se almacenó el almidón y los residuos de las semillas. El rendimiento del almidón y del residuo se obtuvo al aplicar la Ecuación 2:

Ec. 2
$$Yield (\%) = \frac{Mr,a}{Ms} * 100$$

Humedad. La humedad se determinó con la metodología de la NT INEN 518 (1980-12), que consistió en secar en estufa Biobase (Modelo BOV-V230F) dos gramos de muestra a 130 oC durante dos horas.

Cenizas. Las cenizas, o residuos minerales de SMA, se determinaron según la metodología de la NT. INEN 520 (2012), que consistió en la calcinación en mufla Termolyne (USA) de un gramo de muestra, a 450 oC durante cuatro horas o hasta obtener cenizas grisáceas. Se empleó la Ecuación 3. Se realizó este ejercicio por triplicado.

Ec.3
$$Cenizas (\%) = \frac{Mr - Mc}{Mm} * 100$$

Celulosa. La determinación de la cantidad de celulosa se llevó a cabo mediante el método de Kurschner y Hoffer (1929) usado por Belezaca et al. (2016). Para ello, se pesó un gramo de muestra, se añadió ácido nítrico 68% y etanol 96% (Laboratorio Cevallos) y se calentó a reflujo hasta ebullición durante treinta minutos. Se repitió dos veces la digestión. Se lavó y filtró para eliminar los residuos ácidos y, luego, la masa resultante se secó y pesó. El porcentaje de celulosa se calculó según la Ec. (4), terminación de celulosa.

Ec.4
$$Celulosa (\%) = \frac{Mf}{Mi} x 100$$

En donde Mf es masa final seca y Mi es la masa inicial de la muestra.

Fibra Cruda. El contenido de fibra cruda se elaboró de acuerdo con la normativa AOAC 978.10. Se usaron dos gramos de muestra y se hidrolizó, primero con ácido sulfúrico, y luego con hidróxido de sodio al 1,25% en peso. Se secó el remante en estufa Biobase (Modelo BOV-V230F). Se realizó esta prueba por triplicado y se usó Ecuación 5.

Ec. 5
$$Fibra\ cruda (\%) = \frac{(W1 - W2)}{Ws} * 100$$

Donde W1 es el peso del crisol más la muestra seca; W2 es el peso del crisol + ceniza; y Ws es el peso de la muestra inicial.

Elaboración de Formulaciones

Las diversas formulaciones elaboradas, según lo explicado en la Fase 1, fueron analizadas en diversas propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Caracterización de las Formulaciones.

Caracterización de Cucharas Biodegradables (probetas).

Tabla 2

Propiedades físicas y mecánicas

Determinación de humedad	Espesor	Dureza
Se determinó de acuerdo con la metodología de INEN 1666 (2014). Para esto, se trituró una muestra en molino eléctrico Nima (Japón) y se siguió la metodología expuesta.	El espesor de las probetas para las cucharas fue medido con un micrómetro digital genérico (0-12.7 mm con una sensibilidad de 0,001 mm). Se tomaron diez mediciones al azar (Hernandez-Gil et al., 2022)	La dureza fue determinada de acuerdo con la norma ASTM D2240.15 (2017) con el equipo durómetro Shore D (0-100HD, 0,5HD). Se tomaron diez mediciones a lo largo y ancho de la probeta.

Fuerza Tensil. La resistencia a la tracción se realizó con un medidor manual Mxmoonfree. Su funcionamiento fue validado con la medición de muestras patrones secundarias. Se siguió la metodología de la normativa ASTM D 3039M.14 (2014). Se realizó la medición por triplicado.

Resultados

Fase 1-Definición Estratégica-Obtención de Materia Prima

La muestra de las semillas de aguacate provino de un muestreo no probabilístico intencional. Las semillas fueron recogidas del patio de comidas del Mall de los Andes. Cada semilla de aguacate, variedad Hass, pesó aproximadamente 2,22 g. Se obtuvo aproximadamente el 7 % de almidón puro y el 67,5 % de fibras o residuos.

La figura 2 describe el proceso de la separación del almidón de la fibra en detalle.

Figura 2

Proceso de obtención del almidón de la semilla del aguacate



Figura 3
Semilla de aguacate rallada



Figura 4
Semillas molidas



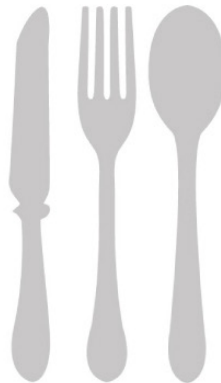
Las figuras 3 y 4 muestran la semilla molida, la cual presentó una coloración rojo amarillenta que corresponde a la denominación de color xyz : 25.7 ; 21.2 ; 3.4

Fase 2-Diseño de Concepto

Se realizan las propuestas de diseño de cubertería, en función a la relación de la ingesta de alimentos líquidos y sólidos. Para ello, lo característico es el diseño de un cuchillo, tenedor y cuchara. Los mangos de los cubiertos deben responder, de forma ergonómica, al agarre de la mano y la cazoleta, en relación a lo estandarizado, tanto en la forma y profundidad.

Figura 5
Desarrollo de concepto

Propuesta 1
Conjunto de 3 elementos
150 mm largo
24 mm ancho (promedio)



Propuesta 2
Conjunto de 2 elementos
150 mm largo
40 mm ancho (cuchara/tenedor)
18 mm ancho (cuchillo)



De acuerdo con las necesidades y el direccionamiento general del concepto, se han creado dos propuestas para el diseño del conjunto de cubertería. Esto se hizo de acuerdo a criterios de funcionalidad, optimización de material y practicidad; por esa razón, se ha elegido la segunda propuesta, ya que une, de forma estratégica, la función de la cuchara y el tenedor.

Se considera el cuello de los cubiertos como punto de mayor delicadeza. Esto se debe a que, al ejercer presión en diferentes alimentos por corte, es el lugar de mayor riesgo en la resistencia a la fuerza que se ejerce.

Una vez realizado el proceso de diseño, se establece la selección de material como parte de la consideración conceptual del producto a desarrollar. Para ello, se toma la guía de la rueda de valoración de ecodiseño.

Figura 6

Rueda de valoración de ecodiseño para cubertería plástica

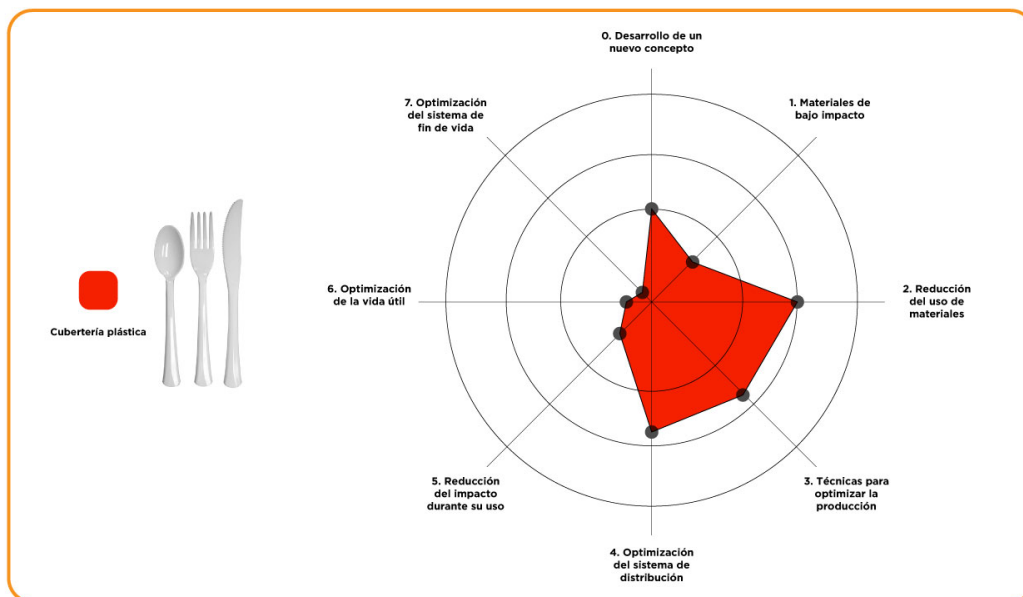
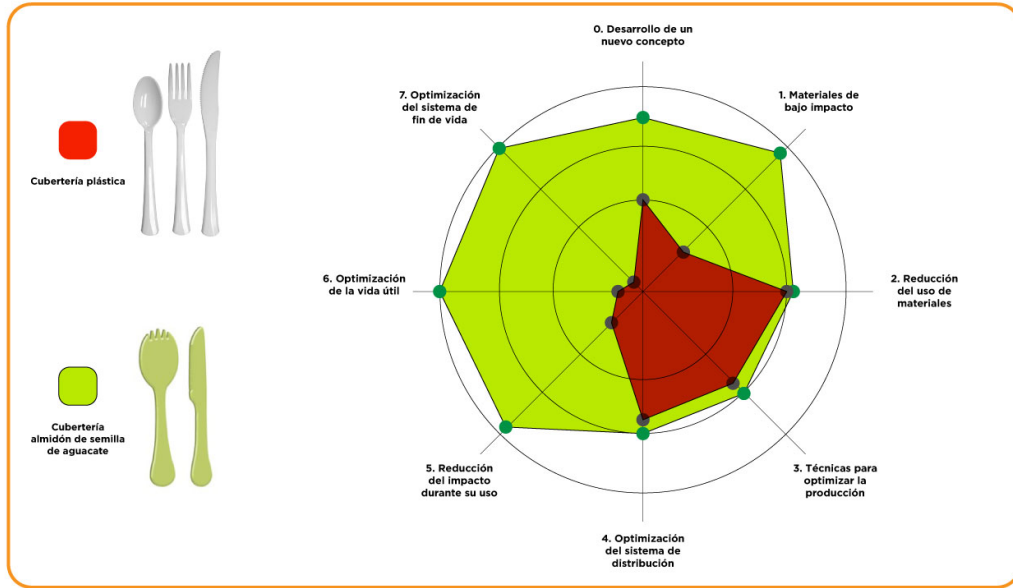


Figura 7

Rueda de valoración de ecodiseño para cubertería biodegradable



En la Figura 6 se observa que la cubertería plástica convencional (representada en color rojo) abarca una porción pequeña de la rueda ecológica, lo cual dice que está lejos de ser un producto ecológicamente responsable. En cambio, la propuesta (representada en color verde) se expande significativamente más por el área de la rueda. Esto es indicativo de que el producto se acerca a las expectativas ecológicas deseadas.

Fase 3-Diseño de Detalle

Elegida la propuesta, se realiza el prototipado en medidas reales del producto. Se consideran las propiedades mecánicas del nuevo material, que se presenta moldeable, flexible y con cierto nivel de dureza. Esto ocurre en función de la formulación planteada, puesto que la combinación del TPA y el SMA contribuye a la dureza del material. Así, se puede realizar las propuestas de cubertería desechable.

Figura 8

Desarrollo de concepto

Propuesta

Conjunto de
2 elementos

150 mm largo
40 mm ancho (cuchara/tenedor)
18 mm ancho (cuchillo)

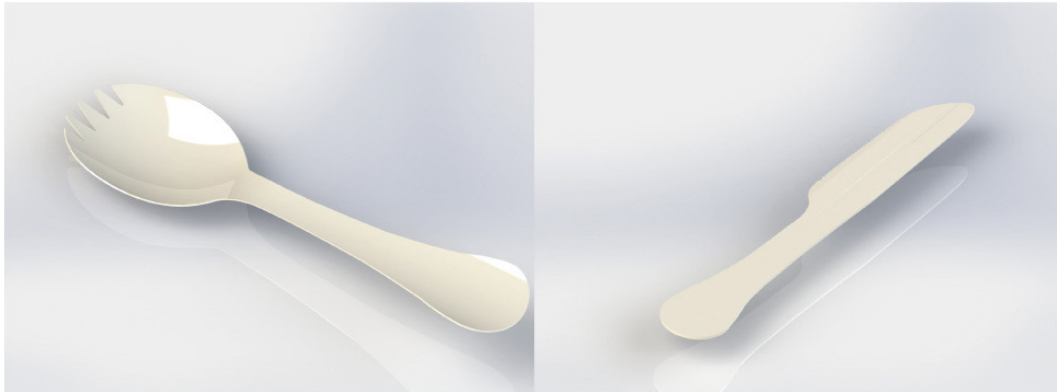


Figura 9

Prototipo 3D del producto

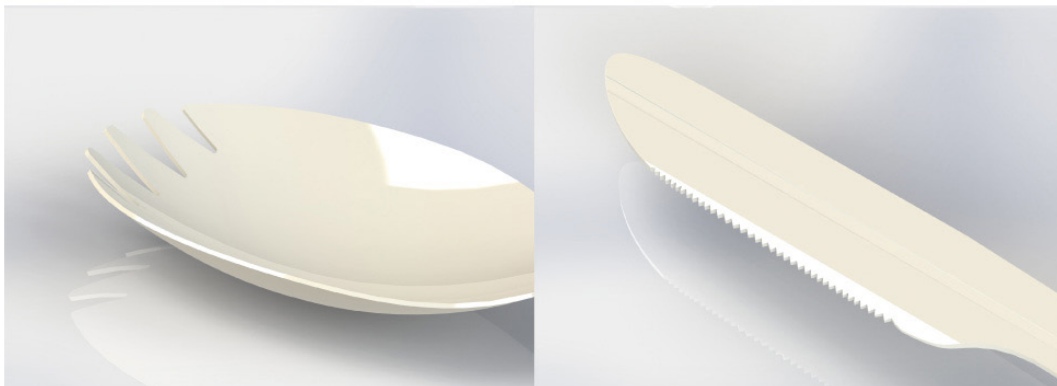
Diseño 3D Tenedor

Diseño 3D Cuchillo



Detalle

Detalle



Fase 4-Ingeniería de Producto

Caracterización de Cubertería de Un

Solo Uso. El diseño estadístico mostró que, con un 95 % de confianza, existe significancia en la inclusión de TPA y SMA. La inclusión de la arcilla o bentonita influye en las características; sin embargo, se debería realizar un ensayo de optimización para definir una fórmula óptima.

Figura 10

Elaboración de cubertería -probetas



Las muestras de los ensayos planteados, previamente acondicionadas, fueron caracterizadas en humedad, tensión, fuerza tensil, elongación, módulo de Young y dureza. Esos resultados se exponen en la Tabla 3.

Tabla 3*Caracterización de cubertería biodegradable*

TPA (%)	SMA (%)	Bentonita (%)	Humedad	Tr (MPa)	Espesor	Fuerza tensil (MPa)	E (%)	MY (MPa)	Dureza (HD)
40	50	10	12,56 (0,40)	1,58 (0,03)	1,83 (0,05)	80,9 (1,82)	3,14 (0,67)	44,45 (10,03)	55,1 (5,6)
60	30	10	11,98 (0,11)	0,97 (0,095)	2,13 (0,08)	44,2 (3,03)	4,82 (0,91)	17,52 (2,4)	52,3 (3,5)
52,5	42,5	5	11,20 (0,18)	2,05 (0,04)	2,13 (0,34)	89,0 (1,41)	3,35 (0,21)	52,07 (4,33)	62,5 (4,9)
40	60	0	14,66 (0,06)	1,99 (0,05)	1,86 (0,075)	102,13 (3,45)	4,70 (0,68)	34,89 (1,096)	48,4 (6,90)
70	30	0	13,27 (0,66)	1,521 (0,17)	2,21 (0,08)	72,83 (4,31)	12,16 (0,68)	10,68 (1,75)	42,13 (6,7)

()= desviación estándar

Resistencia y Elongación (Tr y E): A medida que aumenta el porcentaje de TPA (de 40% a 70%), se observan variaciones en la resistencia a la tracción y en la elongación. Por ejemplo, con un 40% de TPA y un 50% de SMA, la elongación es relativamente alta (80,9%), pero disminuye a 44,2%, cuando el TPA sube a 60% y el SMA baja a 30%. Sin embargo, con TPA al 70% y SMA al 30%, la resistencia es alta (Tr 1,521 MPa) aunque la elongación sigue siendo moderada (72,83%).

Influencia de la Bentonita: La bentonita parece reducirse en algunas combinaciones, lo que puede afectar la humedad y la fuerza tensil. Por ejemplo, en las filas donde la bentonita es 0%, la humedad es generalmente más alta (por ejemplo, 14,66% y 13,27%).

Módulo de Young (MY): Valores más altos de MY indican mayor rigidez. Además, esto parece estar relacionado con el aumento de TPA. En la última combinación (TPA 70%), el MY es más alto (12,16 MPa), lo que sugiere que el aumento de TPA aumenta la rigidez.

Dureza (HD): Los valores de dureza no muestran un patrón claro, pero tienden a disminuir a medida que aumenta el TPA y disminuye el SMA. Esto podría indicar que el SMA contribuye a la dureza de la muestra.

Estos datos sugieren que los cambios en la composición de TPA, SMA y bentonita, así como en la humedad, afectan las propiedades mecánicas (resistencia, rigidez, elongación) de la mezcla.

Planos de Fabricación

Figura 11
Plano de cuchara-tenedor

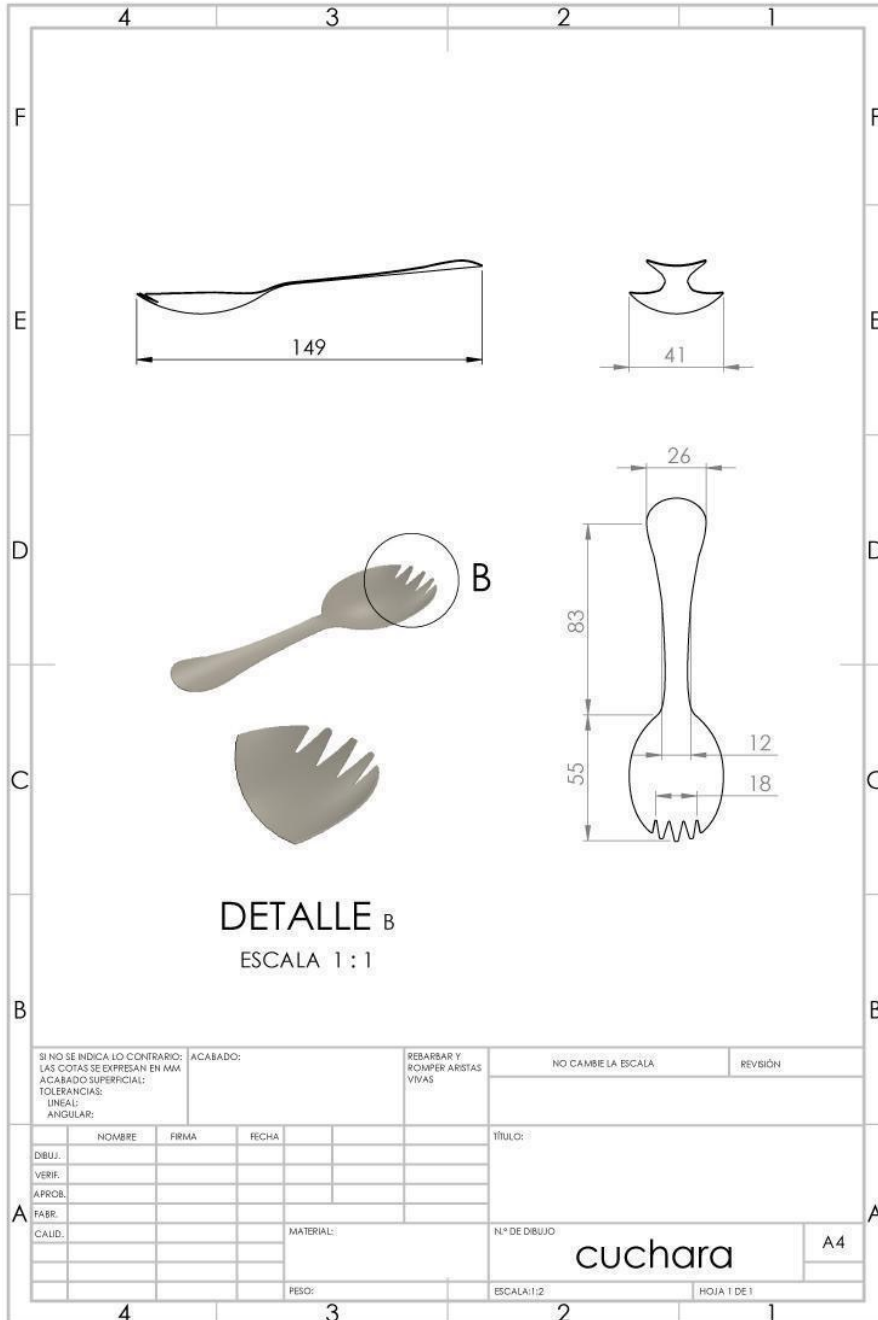


Figura 12
Plano de cuchillo

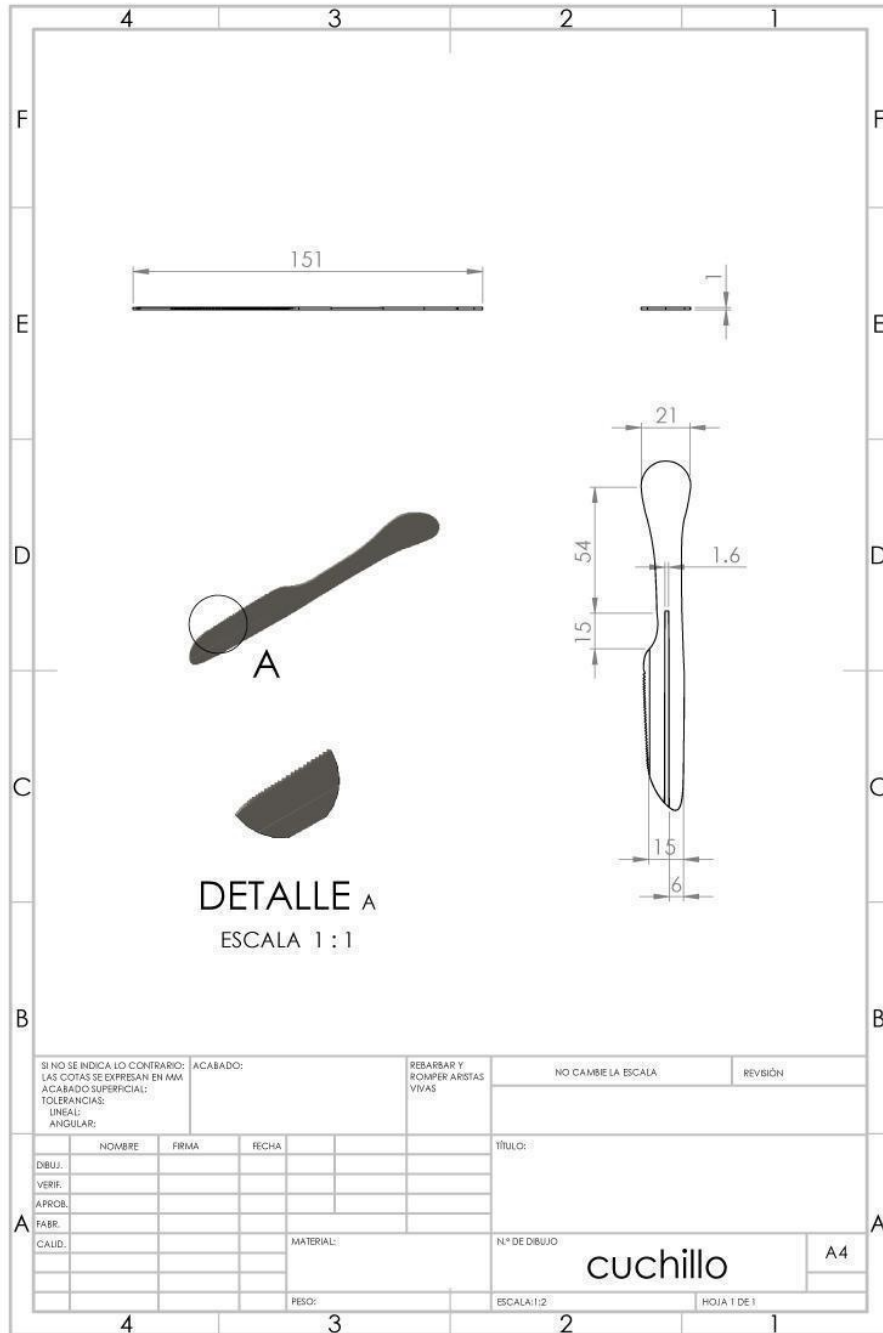
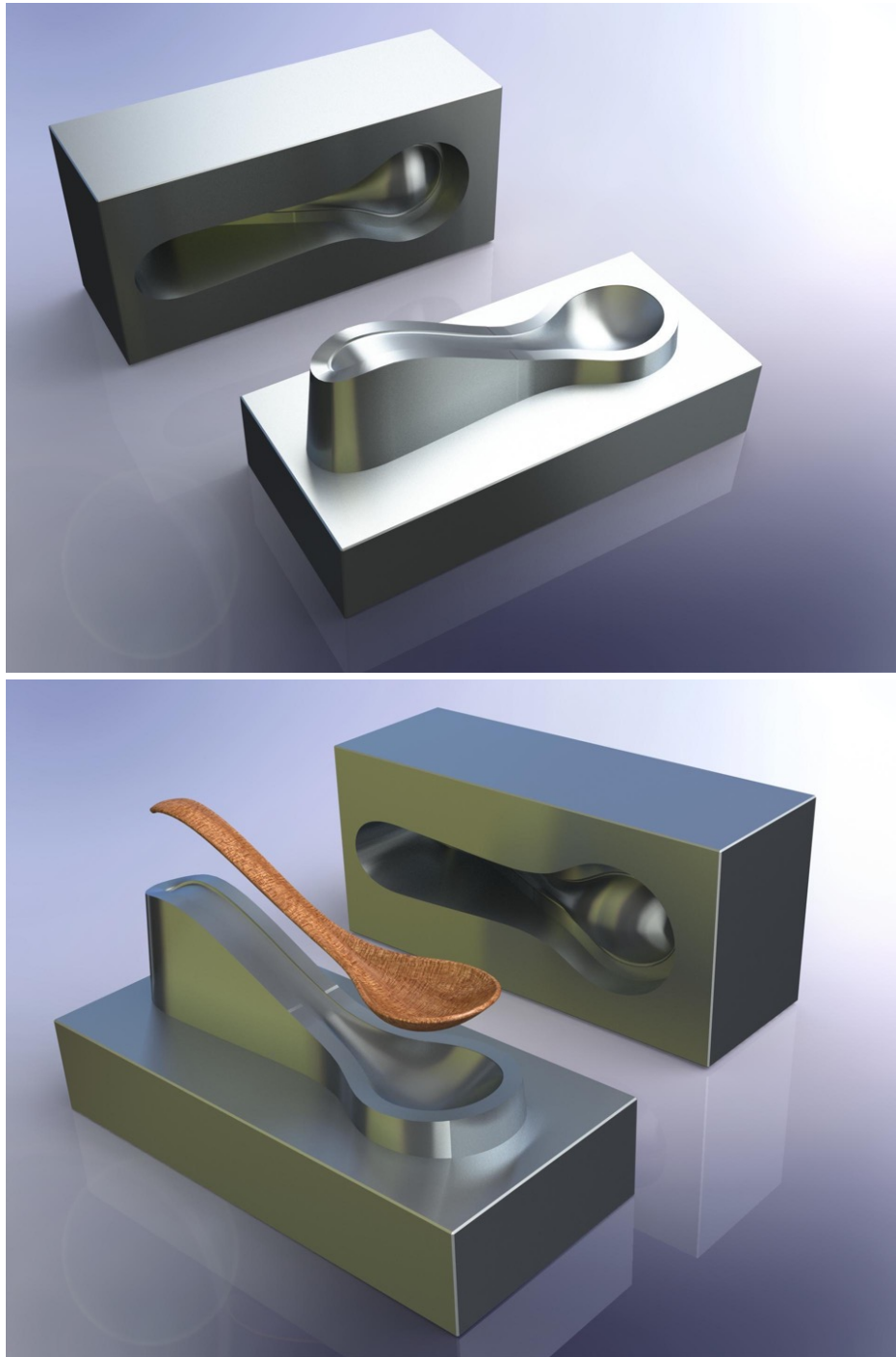


Figura 13

Molde de aluminio vaciado



Este modelo de molde en aluminio vaciado sirve para someter a las muestras previamente acondicionadas a una compresión prolongada con calor controlado.

Prototipado funcional

Figura 14

Prototipo del producto final cuchara-tenedor



Figura 15

Prototipo del producto final cuchillo



Propuesta de Proceso de Fabricación

Moldeo por Compresión. Alternativamente, se puede utilizar una máquina de moldeo por compresión que aplique calor y presión. Este proceso permite dar forma precisa a los utensilios y garantiza una distribución uniforme de la mezcla.

Ajuste de Temperatura y Tiempo. Mantener la temperatura y presión adecuadas según las propiedades del material, lo que asegura una adecuada fusión entre los componentes. Esto evita fragilidad y mejora la resistencia.

Secado Controlado. Colocar la cubertería en una cámara de secado a baja temperatura para eliminar la humedad residual sin alterar la estructura. Este proceso contribuye a mejorar la resistencia y la rigidez del producto final.

Curado Final. Dejar la cubertería en reposo en un ambiente controlado para que los materiales se estabilicen y se fortalezcan. Este proceso asegura que las propiedades mecánicas alcanzadas durante el moldeo se mantengan.

Lijado y Pulido. Realizar un lijado y pulido superficial para eliminar bordes afilados o imperfecciones y asegurar una textura suave.

Ensayos de Resistencia y Durabilidad. Verificar que el producto cumpla con las especificaciones de resistencia, rigidez y dureza requeridas. Los ensayos incluyen pruebas de resistencia a la tracción, flexibilidad y dureza.

Pruebas de Seguridad Alimentaria. Realizar ensayos para garantizar que el material sea seguro para el contacto con alimentos y que no libere sustancias nocivas.

Empaque Biodegradable. Colocar la cubertería en empaques biodegradables para mantener la coherencia con el propósito ecológico del producto.

Almacenamiento en Ambientes Controlados. Mantener la cubertería en lugares secos y frescos hasta su distribución, para evitar que absorba humedad o pierda propiedades mecánicas.

Fase 6-Mercado Reciclaje

Una vez que el producto ha cumplido su función, puede regresar a la tierra como abono. Bajo condiciones ambientales adecuadas, como la humedad y la presencia de microorganismos, se facilita la descomposición de las sustancias naturales. Las enzimas convierten almidones, carbohidratos y proteínas en moléculas más pequeñas, como dióxido de carbono y agua, que se integran al suelo y son aprovechadas por nuevas formas de vida, como las plantas.

Discusión de Resultados

La cantidad de almidón extraído del 6 % estuvo muy por debajo del 40 % expuesto por Correa et al. (2019), lo cual pudo deberse a la variedad y forma de extracción. El conocimiento de las características del material sirve para definir su adecuado uso, forma de elaboración y disposición final.

Propiedades como resistencia tensil, resistencia a la humedad, elasticidad, comportamiento térmico, entre otros, permitirán definir la aplicación del material en un producto final adecuado. En este caso, el material es fuerte (fuerza de tensión de 44 a 102 MPa), por lo que resistirá y no se romperá fácilmente, pero no es resistente al agua. Por lo tanto, su uso estaría definido para productos secos. Este material tiene plastificante; por ello, durante su proceso es fácilmente moldeable y podría tomar diferentes formas.

Cada uno de los materiales usados proviene de la naturaleza. Por tanto, una vez que se cumpla el uso, este podría ser parte de la naturaleza nuevamente; esto afecta positivamente al ambiente.

Sus cualidades de resistencia y moldeabilidad lo hacen un material adecuado para poder desempeñar funciones de agarre y contención en alimentos secos. Al ser un producto de rápido uso, es decir desechable, y al ser su constitución cien por ciento natural, su impacto al ambiente es neutro, sobre todo si se lo compara con la cubertería plástica.

De acuerdo con Avellán *et al.* (2020), si bien los biopolímeros tienen propiedades mecánicas menores a los plásticos derivados del petróleo, estos poseen cualidades químicas que no afectan al medio ambiente. Por ejemplo, son de carbono neutro, lo cual los hace sostenibles y biodegradables. Estas ventajas son claramente determinantes frente a los plásticos de un solo uso.

Si bien las cualidades físicas del material obtenido no igualan a las mostradas por los polímeros derivados del petróleo, sus cualidades químicas y afectación al medio ambiente reducen drásticamente la polución por desechos de un solo uso. Por ende, se cumple el principal objetivo de este trabajo. Mientras una cuchara plástica tardará un poco más de 500 años en degradarse, una base de almidón de aguacate lo hará en un par de semanas, sin afectación alguna al medio.

Conclusiones

La investigación realizada demuestra que la semilla de aguacate tiene un gran potencial como materia prima para desarrollar un biomaterial aplicable en la fabricación de productos, particularmente en el diseño de cubertería descartable. Su capacidad de biodegradación contribuye a la reducción de la contaminación ambiental, lo que la convierte en una alternativa sostenible frente a los plásticos convencionales. Este enfoque no solo promueve un uso integral de los residuos orgánicos, sino que también fomenta prácticas más responsables con el medio ambiente.

La materia prima derivada del almidón de semillas de aguacate muestra propiedades adecuadas para su funcionalidad en la fabricación de productos desechables. Sin embargo, se recomienda incorporar almidón de maíz para mejorar sus propiedades mecánicas, lo que facilitaría los procesos de mecanizado y moldeado en el producto final. Además, sería beneficioso aplicar un recubrimiento natural que optimice sus características mecánicas y aumente su hidrofobicidad, lo que lo hace más adecuado para su uso en contacto con alimentos o líquidos.

Dadas las características del material en desarrollo, se debe considerar el uso en productos sólidos o secos y fríos, puesto que la temperatura afecta a una pérdida de masa. El uso en productos calientes o líquidos requiere continuar con procesos de ensayo y experimentación con materiales o recubrimientos que permitan la hidrofobicidad del producto desarrollado.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Declaración de contribución de los autores: A continuación, se menciona la contribución de cada autor, en correspondencia con su participación, utilizando la Taxonomía Crédit:

- Marcos Javier Proaño Maigualca: Administración del proyecto, Adquisición de fondos, Análisis formal, Conceptualización, Investigación, Metodología, Recursos, Redacción-borrador original, Visualización.
- Yesenia Yomara Jiménez Sánchez: Análisis formal, Conceptualización, Investigación, Metodología, Redacción-revisión y edición, Supervisión, Validación.
- Dolores Augusta Jiménez Sánchez: Curaduría de datos, Investigación, Supervisión, Validación.

Referencias

- Flores, J. J., Cevallos, H. V., Montealegre, V. J. y Romero, H. C. (2021). Análisis de la producción de aguacate en el Ecuador y su exportación a mercados internacionales en el periodo 2008 al 2018. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(S1), 164-172.
- Avellán, A., Díaz, D., Mendoza, A., Zambrano, M., Zamora, Y. y Riera, M. A. (2020). Obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 7(1), 1-11.
- Belezaca, C., Godoy, R., Salvatierra, D., Cadme, M., Valenzuela, E., López, R., Delgado, D., Baque, R., Herrera, R., Vásconez, C. y Bohórquez, T. (2016). Contenidos de Celulosa y Lignina en Restos Lignino-Celulósicos de Gran Tamaño (Necromasa) en un Bosque Templado de Antiguo Crecimiento del Centro-Sur de Chile. *European Scientific Journal*, 12(24), 403-414. 10.19044/esj.2016.v12n24p403
- Chel-Guerrero, L., Barbosa-Martín, E., Martínez-Antonio, A., González-Mondragón, E., y Betancur-Ancona, D. (2016). Some physicochemical and rheological properties of starch isolated from avocado seeds. *International journal of biological macromolecules*, 86, 302-308. <https://doi.org/10.1016/j.ijbio-mac.2016.01.052>
- Correa, V., Valencilla, L. E., Cárdenas, K. y Guaricha, M. (23 de Diciembre de 2019). *Aprovechamiento de la semilla de aguacate (Persea americana Mill.) tipo Hass para la extracción de almidón*. V Simposio de Materiales Poliméricos, Cali-Colombia.
- Espina, M., Cruz-Tirado, J. P. y 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.
- Greenpeace. (2018). Maldito Plástico: Reciclar No Es Suficiente. *Greenpeace España*. <https://es.greenpeace.org/es/sala-de-prensa/informes/maldito-plastico/>
- Hernandez-Gil, L., Caldas-Cortez, L., Contreras-López, D., y Jiménez-Sánchez, A. (2022). Evaluation of the use of banana pseudostem with thermoplastic corn starch for the elaboration of biodegradable dishes. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 21(3). <https://doi.org/10.24275/rmiq/mat2893>
- INEC. (2018). Gestión de desechos a nivel nacional. *INEC*.
- INEN 1666. (2014). Almidones y féculas. determinación del contenido en humedad. Ecuador.
- Jiménez-Sánchez, Y. (2021). Aplicación de la celulosa bacteriana en el diseño de productos: un camino a la sustentabilidad. *Revista DAYA. Diseño arte y arquitectura*, (11), 41-57. <https://doi.org/10.33324/daya.vi11.458>.
- INEN 520. (2012). Harinas de origen vegetal. Determinación de la ceniza. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Kurschner y Hoffer. (1929). Ein neues verfahren zur bestimmung der cellulose in hölzern und zellstoffen. *Tech. Chem. Pap. Zellst. Fabr*, 26, 125-129.
- Lema, E., Manzo, N., Baque, L., y Moreira, M. (2020). Bioplásticos a partir de residuos del cacao, una alternativa para mitigar la contaminación por plástico. *Ingeniería e Innovación*, 9(1), 6-14.
- Luna, H., Villada, H. y Velasco, R. (2009). Almidón termoplástico de yuca reforzado con fibra de fique: Preliminares. *Dyna*, 76(159), 145-151.
- Maryam, M., Kasim, A., y Santosa, I. (2016). Utilization Starch of Avocado Seed (*Persea Americana* Mill.) as a Raw Material for Dextrin. *Journal of Food and Science and Engineering*, 6, 32-37. 10.17265/2159-5828/2016.01.005.
- Nava, M. (2016). *Diseño de planta piloto para producción de Celulosa Bacteriana* (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

- Ortíz, J. C. (2007). El rol de los consumidores y diseñadores en el diseño ecológico. *Investigación y desarrollo, Mool Design*.
- PRODINTEC. (2019). Guía Metodológica PREDICA. *PRODINTEC*. <http://www.prodintec.es/es/capacidades-y-experiencia/publicaciones/293-guia-metodologica-predica>.
- Ramírez, J. (2019). *Plan de Negocio Internacional para la elaboración y exportación de platos orgánicos a Países Bajos* (Master 's thesis, Universidad Casa Grande. Departamento de Posgrado).
- Tesfaye, T., Gibril, M., Sithole, B., Ramjugernath, D., Chavan, R., Chunilall, V. y Gounden, N. (2018). Valorisation of avocado seeds: extraction and characterisation of starch for textile applications. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20, 2135-2154. <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1597-0>.
- Wang, J., Li, Y., Jin, Z., y Cheng, Y. (2022). Physicochemical, morphological, and functional properties of starches isolated from avocado seeds, a potential source for resistant starch. *Biomolecules*, 12(8), <https://doi.org/10.3390/biom12081121>.
- Yara. (1 de julio de 2022). El aguacate ecuatoriano es un boom en el mercado extranjero. *Yara*. <https://www.yara.com.ec/noticias-y-eventos/noticias-ecuador/el-aguacate-ecuadoriano-es-un-boom-en-el-mercado-extranjero/>.