

**Revisión de literatura y propuesta de un
laboratorio de innovación y desarrollo de
materiales biodegradables en la Escuela Agrícola
Panamericana Zamorano**

Vianca Maite Tashiguano Encalada

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2020

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

Revisión de literatura y propuesta de un laboratorio de innovación y desarrollo de materiales biodegradables en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero en Agroindustria Alimentaria en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Vianca Maite Tashiguano Encalada

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2020

Revisión de literatura y propuesta de un laboratorio de innovación y desarrollo de materiales biodegradables en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano

Vianca Maite Tashiguano Encalada

Resumen. El uso excesivo de materiales plásticos desechables, que son elaborados a partir de materias primas fósiles derivadas del petróleo, contribuye diariamente a la contaminación ambiental. Este estudio buscó definir los principales conceptos relacionados a la elaboración de materiales biodegradables. Para su desarrollo, se investigó sobre biopolímeros y las principales fuentes de obtención, enfocado en los residuos de la industria Hortofrutícola, además de mencionar normas internacionales que sustentan los procesos de elaboración y los principales usos y limitaciones. Con la información recopilada se examinó la viabilidad de implementar un laboratorio dedicado a la innovación y elaboración de materiales biodegradables en Zamorano. Se determinó que las principales plantas generadoras de desechos son las Planta de Semilla y Planta Hortofrutícola, en cuanto al desecho generado por el maíz y la lechuga, respectivamente. Además, se realizó una investigación sobre la situación actual respecto al consumo de materiales desechables en el campus universitario, de los cuales, su uso principal es dentro de las áreas de servicios alimentarios. Zamorano incurre en un gasto anual de bandejas, platos y vasos desechables aproximadamente USD 14,877.95 (2019), para lo cual, se propuso que parte de este monto sea reinvertido en la adquisición de material biodegradable elaborado en el laboratorio mencionado. Se recomienda desarrollar mayores formulaciones con las dos principales materias de desechos generadas en Zamorano.

Palabras clave: Biopolímeros, demanda, desechables, desechos, limitaciones, usos.

Abstract. The excessive use of disposable plastic materials, which are made from fossil raw materials derived from petroleum, contribute daily to environmental pollution. This study was aim to define the main concepts related to the production of biodegradable materials. For its development, it was investigated on biopolymers and the main sources of obtaining it, focused on the residues of the Fruit and Vegetable Industry, in addition to mentioning international standards that support the manufacturing processes and their main uses and limitations. The information collected allowed us to examine the feasibility of implementing a laboratory committed to the innovation and production of biodegradable materials at Zamorano. It was determined that the main waste generating plants are the Seed Plant and Fruit and Vegetable Plant, in terms of the waste generated by corn and lettuce, respectively. In addition, an investigation was carried out on the current situation regarding the consumption of disposable materials on the university campus, of which their main use is within the areas of food services. Zamorano annually spends approximately USD 14,877.95 (2019) on disposable trays, plates, and cups, for which it was proposed that part of this amount be reinvested in the acquisition of biodegradable material produced in the aforementioned laboratory. It is recommended to develop larger formulations with the two main waste materials generated at Zamorano.

Keywords: Biopolymers, demand, disposables, limitations, uses, waste.

ÍNDICE GENERAL

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Índice General	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	4
4. CONCLUSIONES	32
5. RECOMENDACIONES.....	33
6. LITERATURA CITADA	34
7. ANEXOS	44

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Cantidades anuales de los envases desechables utilizados en Zamorano	21
2. Cantidades anuales de las plántulas consumidas en Zamorano	22
3. Costo variable unitario de materia prima para elaboración de bandejas biodegradables...	23
4. Resumen de desechos producidos en Zamorano	24
5. Resumen de materiales y equipos	31
Figuras	Página
1. Molde para la elaboración de bandeja rectangular	13
2. Base y tapadera para la elaboración de platos	13
3. Base y tapadera para la elaboración de semilleros	14
4. Plano interno del laboratorio propuesto	28
5. Diagrama de flujo general para la elaboración de material biodegradable	29
Anexos	Página
1. Costo de insumos necesarios para la elaboración de materiales biodegradables	44
2. Capacidad máxima de producción en base a las dimensiones del horno de convección y al estudio realizado por Salmerón (2019)	44
3. Ficha técnica de equipos	45
4. Cotización de equipos	48

1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de los materiales plásticos utilizados en la actualidad, son hechos a partir de materias primas fósiles que han sido derivadas del petróleo y son utilizados en todas las áreas de consumo. Aproximadamente el 95% de los residuos que flotan en el mar son desechos de plásticos que luego terminan en las playas (Crespo 2019). Existen varios organismos que estiman que en los mares y océanos existe un kilo de residuos de plásticos por cada tres kilos de peces (Kollar 2019).

Los polímeros sintéticos de mayor uso son el PET (Terftalato de Polietileno), HDPE (Polietileno de Alta Densidad), PVC (Policloruro de Vinilo), LDPE (Polietileno de Baja Densidad), PP (Polipropileno) y PS (Poliestireno), siendo el último el principal polímero para la elaboración de platos, bandejas y envases de un solo uso (Cevallos y Álvarez 2016). Si bien el uso de los plásticos es universal en la vida cotidiana, existen acciones que están enfocadas en la reducción de la contaminación plástica con el principal objetivo de fomentar su uso más sostenible.

De acuerdo con Greenpeace, en el libro “Break free from plastic” (2018), las empresas multinacionales que contribuyen a la contaminación plástica pertenecen a la industria alimentaria, seguida por la industria manufacturera de productos químicos y fármacos. Por lo tanto, aunque el uso de plásticos es imprescindible, las grandes industrias son los principales partícipes que deben asumir la responsabilidad del productor y diseñar productos plásticos que minimicen los impactos ambientales negativos a lo largo de su ciclo de vida (Jia *et al.* 2019). En la actualidad, existen muchas investigaciones que se centran en la elaboración de empaques que se degraden en periodos cortos, conocidos como empaques biodegradables.

Los empaques biodegradables son materiales que pueden lograr reemplazar materiales comunes, satisfacer las necesidades básicas de los consumidores y al mismo tiempo eliminarse fácilmente al medio ambiente. Tharanathan (2003) afirma que los empaques biodegradables están conformados principalmente de biopolímeros naturales como: origen animal (colágeno, glucógeno) y origen vegetal (lípidos, grasa e hidrocoloides: proteínas y polisacáridos). Los empaques biodegradables compuestos únicamente de biopolímeros naturales presentan características frágiles y sensibles al agua, formando una matriz con propiedades térmicas y mecánicas pero deficientes en la formación de barrera a gases, aromas o vapor de agua lo cual lo hace un material inferior a los polímeros sintéticos, limitando su uso en diferentes aplicaciones (Rodríguez *et al.* 2016).

La producción de empaques biodegradables es relativamente limitada y su precio actual no es competitivo, pero esto puede cambiar rápidamente debido a los avances desarrollados en el campo de los plásticos biodegradables y el desplome petrolero de un 30% que se produjo en la crisis global

a causa del coronavirus (OPEC 2020). Como se menciona anteriormente, se puede obtener biopolímeros naturales a partir de desechos de frutas y vegetales, lo cual es ideal para contrarrestar uno de los mayores problemas que posee la agroindustria.

El incremento desmesurado de desechos por comida es uno de los temas más importantes que la agroindustria trata de contrarrestar (Jia *et al.* 2019). A este factor se le debe sumar el incremento en la población, lo cual esta principalmente relacionado con el aumento en los desechos producidos por comida. El desecho es generado a lo largo de la cadena productiva, en término generales, la perdida de alimentos se debe al efecto de las elecciones tomadas en los sistemas de producción, procesamiento de alimentos, cadenas comerciales y canales de distribución, así como por las compras de los consumidores y el destino que tendrá el alimento (FAO 2012). El desperdicio de alimentos debería ser de impacto mínimo en todos los países, independientemente de su nivel de desarrollo social y económico, lo que influirá en una disminución en el desperdicio de otros recursos utilizados en la producción de alimentos (FAO 2015).

La reducción y reutilización de los desperdicios alimenticios es capaz de generar productos con valor agregado, por ejemplo, la obtención de ácido poliláctico (PLA) a partir del almidón de maíz, yuca o caña de azúcar, el cual cuenta con propiedades similares a las del PET (Esparza *et al.* 2020). Fuentes de biopolímeros como son las fibras y carbohidratos, donde las fibras vegetales son más respetuosas, biodegradables y pesan menos.

Una opción para mejorar las propiedades de un material biodegradable es la adición de fibras de celulosa, debido al esfuerzo mecánico que producen en los compuestos (Morales 2013). Por otra parte, los carbonitos pueden ser obtenidos de desechos alimentarios como el azúcar de caña o almidón de maíz, pero al igual que la proteína, forman películas con buenas propiedades mecánicas, pero deficientes en barrera debido a su hidrofiliidad (Pereda *et al.* 2014).

El interés de esta revisión bibliográfica tiene la finalidad de revisar críticamente las principales fuentes de biopolímeros naturales en los desperdicios de la industria hortofrutícola, así como determinar los componentes y formulaciones adecuadas para la elaboración de materiales biodegradables. Se describirán los usos y limitaciones de los materiales biodegradables y los retos presentes en la elaboración de un empaque no tradicional, para lo cual se plantearon los siguientes objetivos:

- Identificar los principales biopolímeros obtenidos en los desperdicios de la industria hortofrutícola para su uso en materiales biodegradables.
- Establecer la factibilidad técnica de un laboratorio dedicado a la innovación y elaboración de materiales biodegradables en la Escuela Agrícola Panamericana.
- Determinar la cantidad de inversión en la adquisición de materiales plásticos como bandejas, platos y vasos, y los principales desechos generados en las plantas de procesamiento ubicadas en Zamorano.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Estrategia de búsqueda

Revisión sistemática de artículos científicos en bases de datos académicas como: PudMed, Jstor, Medline, Elsevier, entre otros, con restricción de fecha de 10 años y en los idiomas de español e inglés. Los artículos utilizados en esta investigación fueron seleccionados de acuerdo con la relevancia y relación con los objetivos ya establecidos. Se analizaron referencias bibliográficas de potenciales estudios realizados, con el fin de incluir información relevante en el estudio.

Criterios de inclusión y exclusión

Dentro de la revisión sistemática se aplicó criterios de inclusión a estudios e investigaciones realizadas en el enfoque de biodegradabilidad de los materiales. El principal criterio de exclusión fueron artículos que no incluyan los principios fundamentales de materiales biodegradables.

Extracción de datos

Para seleccionar un artículo de interés se revisaron los resúmenes para identificar la idea central de la investigación, en caso de ser necesario se examinó el artículo completo con el fin de decidir si la información fue relevante para el estudio.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Empaques biodegradables

Son aquellos empaques que se degradan naturalmente como resultado de la acción natural de los microorganismos y representan un bajo impacto en el medio ambiente. La norma ASTM D 5488-944 define a la biodegradabilidad de los empaques como la capacidad de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos o biomasa, en la cual predomina el mecanismo de la acción enzimática (Song *et al.* 2009). Para que el proceso de biodegradación se lleve a cabo se necesita de la presencia de varios factores, tales como: disposición de microorganismos, temperatura (adecuado al tipo de microorganismo), presencia de aire, pH, humedad y minerales necesarios (Meneses *et al.* 2008).

De acuerdo al estudio realizado por Postigo (2015) los empaques biodegradables pueden ser clasificados en materiales compostables los cuales se degradaran mediante procesos biológicos sin dejar residuos, materiales fotodegradables donde la degradación es debido al efecto generado por los rayos ultravioleta y materiales oxo-biodegradables u oxo-degradables de los cuales depende del aditivo pro-degradante utilizado en la matriz para cumplir con el proceso de degradación química del material en el ambiente.

Compostables. Los plásticos compostables son aquellos que se degradan mediante procesos biológicos como reacción de las bacterias para producir dióxido de carbono, metano, agua, compuestos inorgánicos y biomasa sin dejar residuos tóxicos o visualmente distinguibles (Guevara 2012). El criterio de material compostable está definido por la norma ASTM D6400, siendo una de las normas más requeridas del comité D20 la cual se centra en los plásticos y productos fabricados con plásticos, que posean la habilidad de desintegrarse y biodegradarse con rapidez y seguridad en un ritmo satisfactorio (Quigley 2009).

El comité D20 forma parte del ASTM (sección 8) desde el año 1937, en el cual se dictamina normas enfocadas a los aspectos importantes para la utilización efectiva de los plásticos, donde se incluyen las especificaciones de los materiales, preparación de las muestras, definición de las metodologías mecánicas, térmicas, analíticas y ópticas, y también se enfoca en estimular investigaciones que contemple todo lo relacionado a los plásticos. De igual manera el comité se encarga del patrocinio de cursos de capacitación técnica y profesional sobre análisis instrumental de los polímeros y técnicas de prueba de los plásticos (ASTM 2018). Otra norma utilizada por el comité europeo es la EN 13432 la cual define a un material compostable con la capacidad de degradar como mínimo del 90% en 6 meses (UNE 2015). Para comprobar que el empaque es compostable se debe probar con el método ISO 14855 que fundamenta la biodegradabilidad aeróbica final de los materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas a través de la medición gravimétrica del dióxido de carbono librados en un ensayo de laboratorio (UNE 2019).

Foto-degradable. Son empaques biodegradables en los que la degradación resulta de la acción de los rayos ultravioleta de la radiación solar, lo cual afecta en las propiedades físicas del empaque, perdiendo resistencia y fragmentándose en partículas diminutas (Vargas 2015). Cabe mencionar que todos los envases comerciales son foto-degradables por naturaleza, debido a que la energía impartida por la luz ultravioleta es mayor a la energía de la unión de enlaces moleculares, lo que

produce la ruptura de las cadenas moleculares que consecuentemente impactara en las propiedades mecánicas del empaque (Navia *et al.* 2013). Este proceso natural puede significar años de degradación, para lo cual se han investigado compuestos o aditivos que, al ser agregados al polietileno, aceleren el proceso de foto-degradación (Wolff 2008).

El dióxido de titanio (TiO_2) es un material inerte, barato y no toxico aplicado como un aditivo alimentario debido a actividad foto-catalítica e inhibición a una variedad de microorganismos (Goudarzi *et al.* 2017). Se ha considerado al TiO_2 como un agente de foto-degradación que, al ser combinado con biopolímeros como el almidón o polímeros derivados del petróleo, promueve el período de degradabilidad de los empaques bajo cualquier condición, lo que ha sido comprobado por Goudarzi (2017) donde se demuestra que, en aproximadamente 10 días, el empaque expuesto a rayos UV inicia el proceso de foto-degradación.

Oxo-degradable u Oxo-biodegradable. La oxo-biodegradación se compone de un proceso de descomposición química del material en el ambiente, provocando una fragmentación progresiva del plástico para que los microorganismos puedan convertir en dióxido de carbono, agua y biomasa (Males 2013). El proceso de fabricación consiste en la adición de aditivos pro-degradantes en bajas concentraciones en la formulación convencional del empaque. Una vez agregado el aditivo, el material se degradará por acción de calor, luz o acciones mecánicas en un tiempo menor en comparación a los empaques tradicionales (Santos 2019).

Los aditivos pro-degradantes de mayor estudio son los estearatos de hierro, manganeso y cobalto, los cuales pueden contener foto-sensibilizadores orgánicos que aumentaran la eficiencia en la actividad oxo-degradativa en condiciones de radiación UV o calor, donde el polímero disminuye su peso molecular y es capaz de biodegradarse por acción de microorganismos (Roé 2015). Estos empaques son competitivos en el mercado debido a su fácil fabricación, precio moderado, pero sobre todo al ser considerados reutilizables y reciclables (Vargas 2015).

Estos empaques pueden ser elaborados de materias primas orgánicas que provienen de fuentes renovables como los co-productos de alimentos que en su composición está presente el almidón o fuentes de biomasa conformado de proteínas como caseína, queratina y colágeno (Meza 2016). Otras fuentes poco comunes son aquellas que gracias a la síntesis química de monómeros biológicos producen polímeros como el ácido poliláctico (PLA), poliácidos glicoles (PGA) y policaprolactonas (PCL), los cuales confieren mejores características a los empaques que los polímeros comunes (Meré 2009). A continuación, se describen distintas materias primas que pueden ser utilizadas para la fabricación de empaques biodegradables. Es importante mencionar que existe más fuentes de materias primas, pero en esta ocasión se mostraran co-productos de la industria hortofrutícola.

Bagazo de caña

La producción mundial de caña de azúcar en los años 2017 y 2018 se proyectó en 139 mill/tn, siendo Brasil el mayor productor a nivel mundial supliendo la demanda en un 48%, seguido por países como Tailandia, India, China y México, además se proyectó una producción igual o superior para los años 2019 y 2020 (Marín *et al.* 2018). A diferencia de otros productos agrícolas, los precios proyectos del azúcar son relativamente altos debido a las difíciles condiciones del mercado y los conflictos políticos generados en los principales países de producción (FAO 2017).

Los residuos agrícolas derivados de la producción azucarera en su gran mayoría son destinados como fuentes de alimentación animal o incinerado, sin embargo, no son completamente empleados de acuerdo a sus propiedades (León *et al.* 2013). Se estima que el bagazo de caña representa aproximadamente el 10 a 15% (0.1 a 0.15 ton) del peso seco total de la caña, lo cual da como resultado su elevado volumen (Montes *et al.* 2018). Estos residuos se encuentran constituidos de fibras celulósicas como la celulosa, hemicelulosa, lignina y otras sustancias que pueden ser extraíbles (León *et al.* 2013).

De acuerdo con diversos estudios, el bagazo de caña es la materia prima ideal en diferentes aplicaciones industriales. Debido a la presencia de lignina se puede obtener un compuesto orgánico denominado urfural mediante la hidrólisis ácida, el cual se emplea como solvente o agente de extracción y es precursor en la síntesis de biocombustibles (Montes *et al.* 2018). Otro potencial uso del bagazo de caña definido por Boarini (2006) es en la elaboración de briquetas o bloques sólidos de combustible, el cual es un objeto sólido con el fin de ser quemado ya sea para uso doméstico o industrial, como en hornos para la producción de electricidad. Cabe mencionar que una opción de aplicación verde se encuentra en la utilización de la pulpa del bagazo para la elaboración de papel, empaques (bandejas, bolsas, contenedores), utensilios y otros productos desechables de primer uso.

En el estudio realizado por Bolio *et al.* (2017), se describió el proceso de obtención de celulosa a partir del bagazo de caña para la elaboración de empaques biodegradables. El proceso comienza con la obtención de bagazo de caña de los ingenios azucareros, los cuales son secados al sol para eliminar exceso de humedad, posteriormente la materia prima fue seleccionada para evitar la presencia de impurezas (Bolio *et al.* 2011). Con el fin de eliminar otros compuestos como ceras, pectinas y resinas presentes, se realizó un pretratamiento en el cual el bagazo de caña debe ser picado y sumergido en una solución de NaOH al 10% durante dos días, posteriormente fue lavado con agua y secado a temperatura ambiente. En la masa obtenida se aplicó un tratamiento dividido en 4 fases, para obtener un rendimiento final del 34% de celulosa presente en el bagazo de caña (Bolio *et al.* 2017).

Hidrólisis ácida. la masa resultante del pretratamiento fue sometida a una solución de H_2SO_4 al 4%, con la finalidad de la remoción de regiones amorfas de la celulosa.

Cloración. Este proceso degradó la lignina y redujo el tamaño de las cadenas de celulosa mediante la sumersión del resultado de la hidrólisis ácida en una solución de NaClO al 3.5% durante 10 minutos.

Extracción alcalina. La fibra resultante de la cloración fue colocada en un reactor en una solución de NaOH al 20% durante una hora y luego se modificó su pH hasta alcanzar un valor neutro.

Blanqueamiento. Por último, el resultado de la extracción alcalina fue debidamente colocado en un reactor durante una hora en una solución de NaClO al 0.5% y modificado hasta un pH neutro. Posteriormente fue secado a temperatura ambiente durante dos días y en una cámara de secado a 60 °C durante un día.

La celulosa es el polímero natural de mayor abundancia en la naturaleza, que ha incrementado su uso en la fabricación de envases para la industria alimentaria por su factor antimicrobiano, ya que al combinarse con nanopartículas inorgánicas se forman películas funcionalizadas con grupos

cationicos de carácter antimicrobiano (Labeaga 2018). La celulosa puede modificarse químicamente para alterar su estructura mediante tratamientos mecánicos, hidrólisis ácida o hidrólisis alcalina dando como resultado nanofibrillas de celulosa (CNF) o nanocristales de celulosa (CNC) que son considerados como nanopartículas que mejoran las propiedades mecánicas, térmicas y de barrera de los biopolímeros usados para la fabricación de empaques biodegradables (Vilarinho *et al.* 2017). Los empaques a partir de bagazo de caña poseen una textura similar al papel, otorgándole una apariencia mejorada en comparación a los plásticos convencionales, además son considerados de los pocos empaques biodegradables resistentes al agua y capaces de tolerar el horno microondas (Medina 2017).

Desecho de lechuga

La producción mundial de lechuga para el año 2018 representó 27,259,820 toneladas, para lo cual se utilizó una superficie cosechada de aproximadamente 1,269,805 ha. con un rendimiento de 21.5 ton/ha en los principales países de producción como China, Estados Unidos, India, España e Italia (FAO 2019). Sin embargo, la lechuga es uno de los principales productos a nivel mundial que genera mayor cantidad de mermas en la etapa de poscosecha, ya que se estima que el porcentaje de merma representa un 25% del total de producción (FAO 2017). De acuerdo con el estudio realizado por Landaverde (2018), el porcentaje de merma de lechuga procesada en Zamorano fue de 1,066.7 kg/semana, ya que la lechuga representa el 97% del total de frutas y hortalizas procesadas en la unidad de post cosecha.

Es uno de los principales vegetales que se consumen frescos y están presentes en la mayoría de los platos preparados. Al ser un alimento que es consumido crudo, la retención de sus nutrientes es superior y varía de acuerdo su especie (Kim *et al.* 2015). Del desperdicio generado de la lechuga se puede recolectar y aprovechar este subproducto para la elaboración de biomasa y piensos para animales (González *et al.* 2015). También se puede extraer carbohidratos y celulosas para la fabricación de harinas capaces de formar biopolímeros cuando están en conjunto con otras bases proteicas (Espada 2016).

En el estudio realizado por Salmerón (2019), se estimó que la lechuga es uno de los principales desechos de la planta de poscosecha que se encuentra en Zamorano. El proceso empleado por Salmerón consistió en el uso del descarte de lechuga, el cual recibió un primer secado en un horno de convección forzada durante tres horas a 110 °C y luego un segundo proceso de secado durante 30 minutos a 50 °C debido a la alta higroscopicidad presente en la lechuga, el secado aseguró un molido correcto de la muestra. El polvo obtenido de las hojas de lechuga fue mezclado con almidón y quitosano para formar una Base Seca (BS). La Base Húmeda (BH) se conformó de líquidos como el agua en una relación de 135% v/p, glicerol 2.9% v/p, ambos en relación a BS y ácido acético 6.25% v/p en base al quitosano. Esta mezcla fue batida durante 1 minuto para obtener una pasta espesa, la cual fue debidamente colocada en moldes de acero aplicando una presión de 3.5 kPa realizando en método de termoprensado. Posteriormente se realizaron dos etapas de horneado de 232 °C durante 10 minutos y 125 °C durante dos horas. Las bandejas obtenidas se mantuvieron en condiciones de 75% humedad relativa en un desecador con una solución saturada de NaCl durante 24 horas.

La bandeja mostró buenas propiedades mecánicas como una fuerza de perforación mayor a las bandejas convencionales de Poliestireno Expandido (EPS) y fue considerada completamente

biodegradable. Sin embargo, presentó características de absorción de agua no favorable y transmisión del color de la bandeja biodegradable hacia el producto empacado. El autor recomienda reformular el uso de plastificante o utilizar otro compuesto orgánico capaz de impedir el paso de color y agua de la bandeja hacia el alimento y viceversa.

Cáscara de plátano

El plátano es una fruta muy consumida en el mundo del cual la cascara es desperdiciada representando grandes costos, resultando en pérdida económica y contaminación en el medio ambiente (Khamsucharit *et al.* 2017). Este co-producto de la industria es una fibra dietética con gran aporte de aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados y potasio (Anchundia *et al.* 2016). Al ser una fuente rica de almidón, es considerado como materia prima para la elaboración de empaques o películas biodegradables. El contenido de almidón presente en el plátano es de aproximadamente del 70 - 80%, mientras que en la piel se puede encontrar hasta un 50% (Agama *et al.* 2015). Anchundia y colaboradores (2016), describieron el proceso de extracción de almidón a partir de la cáscara de plátano en tres etapas, extracción del almidón, cuantificación del contenido de almidón total y mezcla de almidón con plastificante.

Para la extracción del almidón se consideran dos métodos, el primer método de extracción es en seco donde la cáscara fue lavada con agua, solución de hipoclorito de sodio al 2% (p/p) y ácido cítrico al 1% (p/p) durante 5 min. Las cáscaras fueron secadas en una estufa a 60 °C por 24 horas para facilitar el proceso de molienda y tamizado ya que el tamaño de partícula deseada fue de 180 micrómetros. El segundo método de extracción fue realizado en húmedo. Las cascara fueron lavadas con agua y solución de hipoclorito de sodio al 2% (p/p). Se utilizó ácido cítrico al 1% (p/p) para sumergir la cascara durante 5 min y luego triturarla hasta obtener una pasta que luego fue lavada, tamizada y decantada para un secado homogéneo.

La cuantificación del contenido de almidón total es utilizada para determinar la pureza de las muestras de cáscara de plátano mediante la cuantificación de su contenido de almidón total (AT) por el método de Goñi y colaboradores (1997). El método consistió en colocar la mezcla del resultado de extracción, ya sea por el método seco o húmedo, en tubos de centrifuga que además se añadió 3 mL de agua destilada y 3mL de hidróxido de sodio (NaOH) a 4M para luego ser agitadas durante 30 minutos. Después del tiempo transcurrido se agregó 5 mL de ácido clorhídrico a 2M y 3 mL de tampón acetato sódico a 0.4M. La mezcla fue incubada en baño Maria a 60 °C durante 45 minutos. Después de la incubación las muestras fueron centrifugadas, se retiró el exceso y se lavó con 10 mL de agua destilada. Finalmente se calculó el contenido de glucosa, para lo cual se agregó 1 mL de reactivo de glucosa-peroxidasa y se incubó a 37 °C durante 30 min. El porcentaje de almidón total se calculó al emplear la Ecuación 1.

$$\% \text{ de almidón total} = \frac{\text{glucosa } (\mu\text{L}) \times \text{volumen de dilución (mL)} \times 100 \times 0.9}{1000 \times \text{peso de muestra seca (mg)}} \quad [1]$$

Para la mezcla de almidón con plastificante se prepararon suspensiones acuosas del almidón con diferentes concentraciones de 4, 5 y 6 g de almidón/100 g de suspensión (4 - 6% p/p) y fueron gelatinizadas por 20 min a 90 °C. Luego se agregó el plastificante, como glicerol, en una concentración de 0.5 a 5 g de plastificante/100 g de suspensión (0.5 - 5% p/p). Se gelatinizó la

muestra por 20 min a 90 °C y las suspensiones resultantes fueron sacadas a 50 °C durante 2 horas y luego a 20 °C durante siete días.

Los envases que utilizan almidón en su formulación pueden ser considerados biodegradables y no tóxicos, lo que indica que puede usarse incluso como material de compostaje (Castillo *et al.* 2015). Sin embargo, presentan deficiencias como baja resistencia mecánica, fenómenos de retrogradación durante el almacenamiento y alta higroscopicidad (Velasguí 2017). En solución a este problema, es recomendable el uso de almidón termoplástico (TPS). Este material se obtiene mediante la modificación estructural del gránulo de almidón con acción térmica en la presencia de plastificantes (Villada *et al.* 2008). El TPS es un material renovable compatible con el medio ambiente que puede ser incorporado al suelo como abono orgánico, además de ser considerado como el material adecuado para elaboración de envases en la industria alimentaria (Sagnelli *et al.* 2017).

Ácido poliláctico (PLA)

Es un polímero de base biológica y biodegradable que es obtenido a través de la síntesis química de azúcares simples del procesamiento y fermentación del maíz (Arrieta *et al.* 2017). Actualmente, se sabe que el maíz es uno de los cereales con mayor producción a nivel mundial, encontrándose en la mayoría de los países alrededor del mundo. El proceso para la producción de PLA inicia con la obtención de maíz que no va a ser procesado, en muchas ocasiones es recolectado de los mismos campos y plantíos. El maíz obtenido es limpiado de impurezas para la producción de ácido láctico (Jamshidian 2010).

El ácido láctico es un líquido de color transparente que requiere de sacarosa o glucosa, agua y yeso para su producción (Arrieta *et al.* 2017). Estos componentes se fermentan para la obtención de lactato de calcio crudo, al cual se debe remover el yeso después de atravesar ciertos filtros y procesos químicos para la obtención de ácido láctico concentrado. El ácido láctico en estado líquido es condensado para obtener lactina, la cual es polimerizada y después de enfriarse se obtienen pellets de PLA (Medina 2017).

Los pellets de PLA son físicamente similares a los pellets de los plásticos convencionales, lo que permite realizar procesos a nivel industrial, ya que pueden ser utilizados en máquinas reformadoras y termoformadoras para la obtención de láminas de PLA (Jamshidian 2010). Actualmente, el PLA posee ventajas para la formación de empaques por ser un material muy versátil, pero también muestra notables desventajas como su alta permeabilidad, bajo rendimiento mecánico y sensibilidad a la degradación térmica, además de que se requiere maíz para su producción, lo cual se ha estimado que solo el 0.02% de las plantaciones de maíz se dedica para la producción de PLA, dificultando el proceso de industrialización a gran escala (Murariu & Dubois 2016).

Se han realizado investigaciones para mejorar las propiedades del PLA y convertirlo en un mejor material para extender sus aplicaciones en la industria de los envases. Con una temperatura de fusión similar y alta cristalinidad, el Polihidroxibutirato (PHB) es considerado un buen material para mezclar con PLA (Arrieta *et al.* 2017). El PBH es un poliéster sintetizado biológicamente por la fermentación bacteriana controlada, presentando alta cristalinidad que proporciona un buen rendimiento de baja permeabilidad, pero el principal inconveniente es su baja resistencia a la degradación (Arrieta *et al.* 2014). La combinación de PLA con PBH es una mezcla efectiva de dos polímeros que tiene una gran afinidad y dan como resultados materiales de alta resistencia, pero

con gran fragilidad, por lo tanto, se han propuesto estrategias de añadir concentraciones mínimas de plastificantes para aumentar la flexibilidad de los materiales y mejorar la compatibilidad de los compuestos (Jiménez 2014).

Normas internacionales

Existen normas internacionales que se encargan de la verificación de la biodegradabilidad y compostabilidad de los materiales plásticos como de los bioplásticos en general. Los estándares internacionales mayormente empleados se han establecido de las principales organizaciones internacionales. Meza (2016) menciona las principales organizaciones mencionando a la American Society for Testing and Materials (ASTM) la cual es un conjunto de normas que determinan el comportamiento de los materiales biodegradables. La norma European Standardization Committee (CEN) ha sido utilizada para determinar cuantitativamente la biodegradabilidad y compostabilidad de los plásticos, la norma europea ha desarrollado los métodos científicos EN 13432 y EN 14995 en el año 2000 (Remar 2011). También se hace mención a International Standards Organization (ISO) e Institute for Standards Research como normas necesarias para determinar los métodos de ensayo requeridos por las normas EN y ASTM.

A continuación, se describen las principales normas dentro del campo de la verificación de la biodegradabilidad y compostabilidad de los materiales:

Norma ASTM D6400-04. Especificación estandarizada para plásticos compostables. Esta especificación cubre plásticos y productos plásticos diseñados para ser compostados, para lo cual los plásticos deberán contar con la habilidad de fragmentarse en partículas no visibles para la asimilación de los microorganismos. Las propiedades de los plásticos para cumplir con esta especificación indica que los materiales compostables tienen una conversión del 60% carbono en dióxido de carbono en un periodo de 6 meses. El cumplimiento de estos requisitos permite la rotulación del envase o materiales plásticos como “compostables”. No existe una norma ISO equivalente para esta norma estándar. (ASTM 2019).

Norma ASTM D5988-03. Método de prueba estándar para determinar la biodegradación aeróbica de materiales plásticos en el suelo. Esta norma describe el grado y la tasa de biodegradabilidad aeróbica de un material plástico en el medio ambiente y el tiempo requerido por los materiales plásticos para ser descompuestos por los microorganismos. Este método determina el grado de biodegradación aeróbica mediante la cantidad de dióxido de carbono que es desprendido en función del tiempo que ha sido el plástico expuesto en el suelo. Este método es equivalente a la prueba ISO 17556 (ASTM 2018).

Norma ASTM D5338-98. Método de prueba estándar para determinar la biodegradación aeróbica de materiales plásticos en condiciones controlada de compostaje. Este método de prueba está diseñado para proporcionar el porcentaje de conversión de carbono en la muestra de dióxido de carbono. La tasa de biodegradación aeróbica debe ser en exposición de un ambiente de compostaje controlado en condiciones de laboratorio, donde se debe controlar y monitorear la temperatura, aireación y humedad del ambiente. Este método es equivalente a la prueba ISO 14852 (ASTM 2003).

Norma ASTM D6954-04. Guía estándar para exponer y probar plásticos que se degraden en el medio ambiente una combinación de oxidación y biodegradación. Esta guía proporciona una hoja de ruta eficaz para la comparación y clasificación de las tasas controladas de degradación y el grado de pérdida en las propiedades físicas del material, donde se incluyen procesos térmicos o de fotooxidación. Los entornos de eliminación de los materiales incluyen suelos, vertederos y compost donde puede ocurrir oxidación térmica y fotooxidación (ASTM 2013).

Norma EN 13432. Requisitos de los envases valorizables mediante compostaje y biodegradación. Esta norma establece las condiciones de un material para ser considerado compostable, para lo cual debe degradarse como mínimo el 90% en fragmentos con dimensiones inferiores a 2mm durante los 6 primeros meses y en presencia del dióxido de carbono. Esta norma es la de carácter más internacional aplicada para embalajes (UNE 2015).

Norma EN 14995. Plásticos, evaluación de la compostabilidad mediante un programa de ensayo y especificaciones. Esta norma europea especifica los requisitos y procedimientos necesarios para determinar la compostabilidad anaeróbica de los materiales plásticos, la cual está fundamentada en la norma EN 13432 ya que solicita los mismos requisitos que dicha norma (UNE 2017).

ISO 14851. Determinación de la biodegradabilidad aeróbica definitiva de materiales plásticos en un medio acuoso- Método mediante la medición de la demanda de oxígeno en un respirómetro cerrado. Método estándar que especifica el procedimiento de medición de la demanda de oxígeno de un material plástico para definir su grado de biodegradabilidad aeróbica. Se expone el material plástico en un medio acuoso en condiciones de laboratorio. Sin embargo, el método está diseñado para determinar el potencial de biodegradabilidad de los materiales plásticos en entornos naturales. Los materiales aplicables en este método son: polímeros o copolímeros naturales y/o sintéticos, polímeros solubles en agua, materiales plásticos que contienen aditivos plastificantes, colorantes u otros compuestos y materiales que en condiciones de prueba no inhiben el crecimiento de microorganismos (ISO 2019).

ISO 14852. Determinación de la biodegradabilidad aeróbica definitiva de materiales plásticos en un medio acuoso- Método por análisis de dióxido de carbono desprendido. Método estándar que especifica el procedimiento de medición de la demanda de oxígeno de un material plástico para definir su grado de biodegradabilidad aeróbica. Se expone el material plástico en un medio sintético en condiciones de laboratorio, compost maduro o tierra en condiciones aeróbicas y mesófilas. Este método de prueba está diseñado únicamente para determinar o indicar el potencial de biodegradabilidad de los materiales plásticos. Los materiales aplicables en este método son: polímeros o copolímeros naturales y/o sintéticos, polímeros solubles en agua, materiales plásticos que contienen aditivos plastificantes, colorantes u otros compuestos y materiales que en condiciones de prueba no inhiben el crecimiento de microorganismos (ISO 2018).

ISO 14853. Plásticos. Determinación de la biodegradación anaerobia definitiva de materiales plásticos en un sistema acuoso. Método por medición de la producción de biogás. Las condiciones descritas en este método no se atribuyen a las condiciones óptimas para asegurar la máxima biodegradación de los materiales plásticos. El material debe ser expuesto en una prueba de lodo en digestores anaeróbicos en un periodo de 90 días. Los materiales aplicables en este método son: polímeros o copolímeros naturales y/o sintéticos, polímeros solubles en agua, materiales plásticos

que contienen aditivos plastificantes, colorantes u otros compuestos y materiales que en condiciones de prueba no inhiben el crecimiento de microorganismos (ISO 2016).

ISO 14855-1. Determinación de la biodegradación aeróbica definitiva de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje. Método por análisis de dióxido de carbono desprendido. Parte 1: Método general. Método estándar que determina la biodegradabilidad aeróbica de los materiales plásticos en condiciones controladas a través de la medición de dióxido de carbono y grado de desintegración del material plástico al finalizar la prueba. El material debe ser expuesto en un entorno de condiciones controladas de temperatura, aireación y humedad, simulando condiciones típicas de compostaje, lo cual determinara el porcentaje y tasa de conversión del carbono en dióxido de carbono desprendido por el material (ISO 2012).

ISO 14855-2. Determinación de la biodegradación aeróbica definitiva de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje. Método por análisis de dióxido de carbono desprendido. Parte 2: medición gravimétrica de dióxido de carbono desprendido en una prueba a escala de laboratorio. Método estándar que determina la biodegradabilidad aeróbica de los materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje a través de la medición de dióxido de carbono desprendido. Se basa en el método ISO 14855-1, con la diferencia en que este método está diseñando para producir una tasa óptima de biodegradación al ajustar con controlar la temperatura, humedad y aireación. Los materiales aplicables en este método son: polímeros o copolímeros naturales y/o sintéticos, polímeros solubles en agua, materiales plásticos que contienen aditivos plastificantes, colorantes u otros compuestos y materiales que en condiciones de prueba no inhiben el crecimiento de microorganismos (ISO 2018).

ISO 17556. Plástico. Determinación de la biodegradabilidad aeróbica definitiva de los materiales plásticos en el suelo midiendo la demanda de oxígeno en un respirómetro o la cantidad de dióxido de carbono desprendido. Método utilizado en la norma ASTM D5988-03, el cual determina la biodegradabilidad aeróbica o la cantidad de dióxido de carbono desprendido de los materiales plásticos cuando están expuestos en el suelo en condiciones controlada de humedad. Los materiales aplicables en este método son: polímeros o copolímeros naturales y/o sintéticos, polímeros solubles en agua y materiales plásticos que contienen aditivos plastificantes, colorantes u otros compuestos (ISO 2019).

Técnicas de elaboración e implementación

Equipos utilizados. A continuación, se hace una breve descripción de los equipos utilizados en el proceso de elaboración de materiales biodegradables:

Horno industrial. Utilizado durante todo el proceso elaborativo de materiales biodegradables, sobre todo al momento de secar la materia prima para la extracción de los diferentes compuestos. Además, los moldes prensados deberán ser secados en un horno industrial a una temperatura promedio de 200 °C, con la finalidad de proporcionar una estructura rígida al material.

Molino de cuchillas. Equipo empleado para triturar compuestos secos, blandos, duros y semiduros con el objetivo de reducir el tamaño en partículas diminutas. Luego del proceso de molido, se

deberá pasar el material por tamices de diferente malla para separar las partes finas de las gruesas y obtener una muestra con tamaño de partícula homogénea.

Máquina prensadora. Una vez que la masa se encuentre en los moldes respectivos, se colocarán en una máquina prensadora con placas calefactoras de aluminio, los cuales serán comprimidos por un pistón hidráulico y obtener la forma deseada de acuerdo con el molde utilizado.

Molde. Instrumento con cavidad hueca donde se coloca una masa blanda o líquida, que al solidificarse tomara la forma del recipiente. En el estudio realizado por Díaz (2017), para la elaboración de las bandejas por método de termoprensado se utilizó un molde rectangular de acero inoxidable revestido de teflón. Los moldes tendrán diferentes formas y dimensiones de acuerdo con los requerimientos deseados, como se presenta en las Figuras 1, 2 y 3.

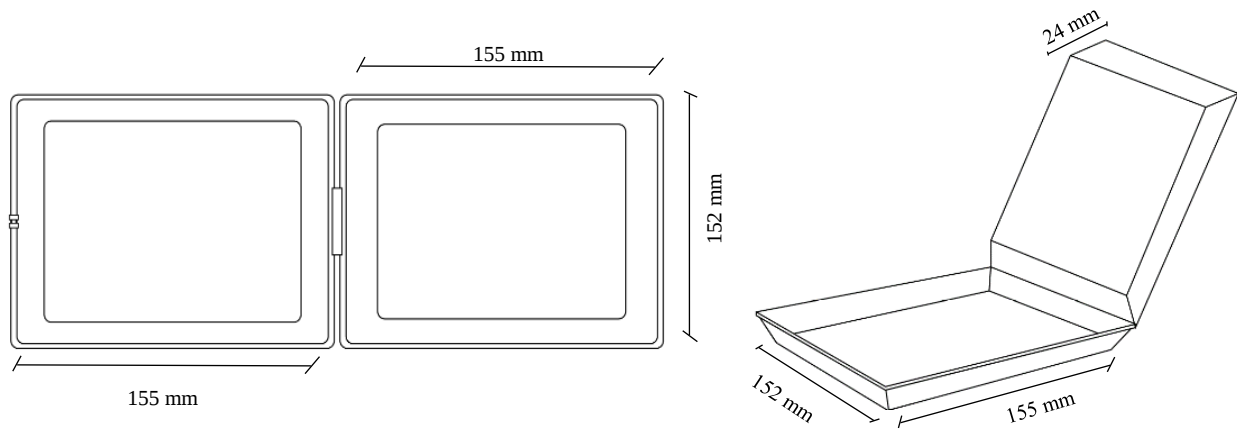


Figura 1. Molde para elaboración de bandeja rectangular.

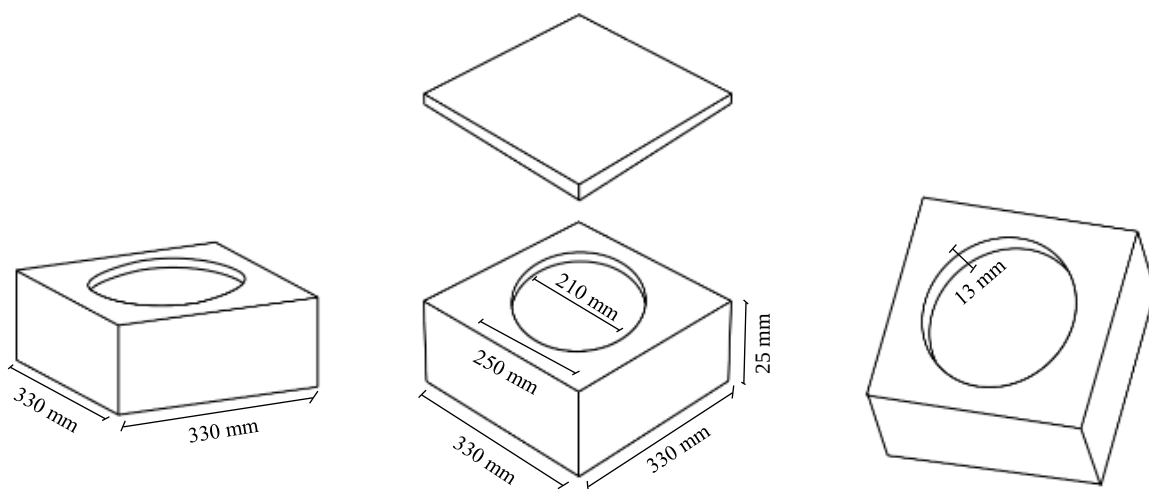


Figura 2. Base y tapadera para la elaboración de platos.

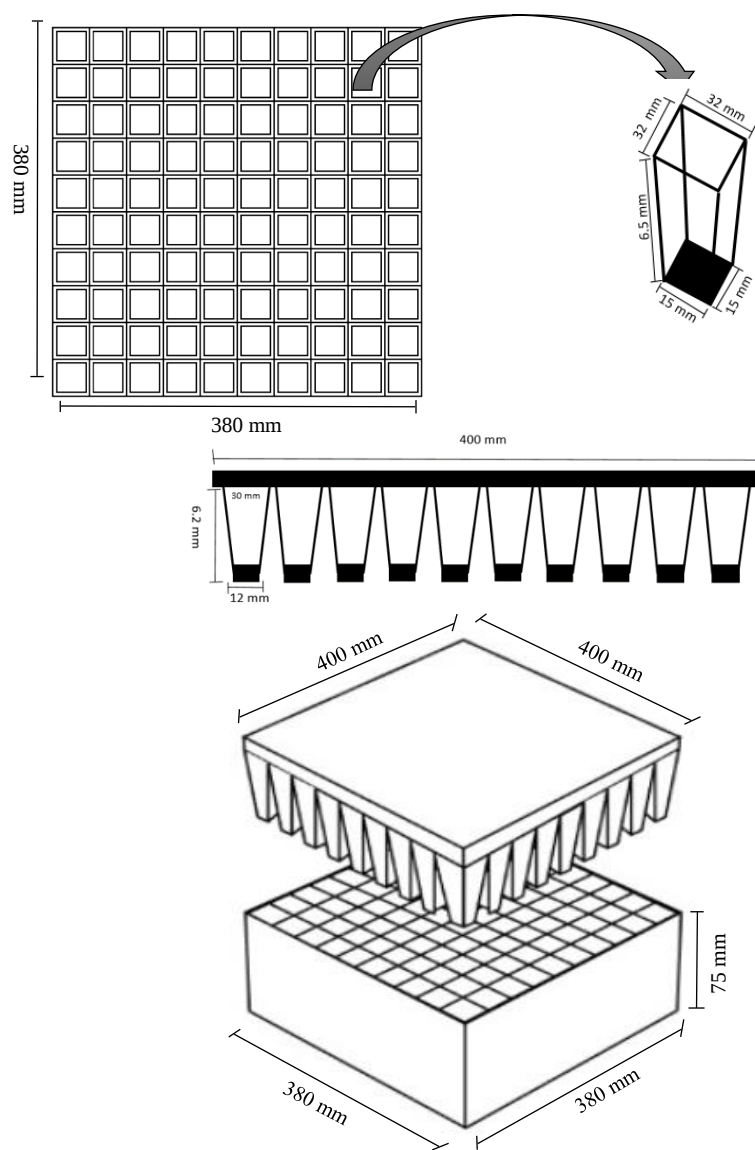


Figura 3. Base y tapadera para elaboración de semilleros.

Propiedades mecánicas

Los materiales biodegradables al igual que los empaques sintéticos deben cumplir con requisitos funcionales como barrera al vapor de agua, gases o solutos, propiedades mecánicas, apariencia adecuada, no toxico, entre otros. Las características micro estructurales estarán determinadas por la composición química y tipo de polímeros utilizados en el proceso de fabricación de las bandejas. La fuerza intermolecular, rigidez de la cadena y simetría molecular de los polímeros definirá las propiedades mecánicas de la bandeja, que a la vez será de suma importancia al momento de establecer las aplicaciones de la misma (Zhang *et al.* 2016).

Envases conformados principalmente por polisacáridos como la celulosa o almidón presentan buenas propiedades físicas y ópticas, pero carecen de propiedades como barrera al vapor de agua al ser altamente sensibles al vapor de humedad, en comparación con películas y envases que en su

matriz están conformadas por lípidos y poliésteres los cuales poseen buenas propiedades de barrera al vapor de agua (Zolfi *et al.* 2014). Los envases destinados para el almacenamiento de alimentos deben tener propiedades mecánicas de resistencia, impacto, dureza, permeabilidad entre otras, que les permita soportar el estrés provocado por factores externos (Nofar *et al.* 2018). Sin embargo, varios materiales biodegradables carecen de estas propiedades, limitando su uso en las aplicaciones de embalaje.

Es considerado que mediante la plastificación de la red polimétrica las propiedades mecánicas de los empaques biodegradables mejoren, esto incurre en dos efectos plastificantes diferentes. El primer efecto influye en la plastificación interna al modificar la estructura química del polímero por procesos como la hidrogenación o copolimerización. El segundo efecto se basa en la modificación de la matriz al agregar agentes que transformen la fuerza intermolecular de los polímeros, en consecuencia, la cohesión generará un envase más flexible, menos frágil y con mayor estabilidad a largo plazo, pero con escasas propiedades de barrera (Arvanitoyannis 2007). Todavía hace falta explorar acerca de combinaciones adecuadas de las matrices poliméricas con distintas mezclas plásticas biodegradables que han sido documentadas para una aplicación profunda de los envases biodegradables dentro del área de embalaje (Din *et al.* 2020).

Análisis a empaques

Para determinar las propiedades mecánicas de los empaques es necesario realizar análisis y pruebas que estén acorde a las legislaciones y nuevas especificaciones vigentes. Esto, incide directamente en la calidad del empaque y la influencia que este tendrá sobre el alimento almacenado.

Fuerza de perforación. Este ensayo mide la resistencia y fuerza del material o film a ser perforado por un punzón. En esta prueba se aplica la norma ASTM F1306 la cual especifica un ensayo estándar para resistencia a la penetración de velocidad lenta de películas y laminados de barrera flexible realizada en una maquina universal de ensayos con accesorios especiales para la punción (Ecoembes 2015). Determinar la resistencia a la perforación de los materiales es importante para el uso final que se dará al empaque, sobre todo en la industria de alimentos, ya sea por la naturaleza del alimento o por situaciones externas, el material puede perder su integridad de envoltura lo cual permitirá la entra y salida de olores, gases, contaminantes y microorganismos no deseados que disminuirán la vida útil del producto (Lizaga 2011). La norma ASTM F1306 se basa en una prueba en la cual se aplica un esfuerzo biaxial hasta lograr la perforación de la muestra y se determinara la energía, fuerza y alargamiento de perforación sobre el material (ASTM. 2016). De acuerdo con el estudio realizado por Salmerón (2019) para el análisis de perforación se puede emplear el equipo Instron 4444 con una sonda cilíndrica de 5.60 mm de diámetro a una velocidad de 120 mm/min y carga inicial de 0.5 kN.

Espesor. La prueba consiste en medir diferentes puntos de la muestra para determinar valores máximos o mínimos en el espesor mediante el uso de un micrómetro digital Thomas Scientific Traceable®. El ensayo consiste en cortar 1m² de muestra y colocarla en una superficie plana, de tal modo que se distribuirán diferentes puntos que serán medidos con el micrómetro. El resultado de esta prueba permite calibrar y ajustar el espesor de la película que se está elaborando (Bonilla 2014).

Densidad aparente. La densidad de un cuerpo es la relación existente entre la masa por unidad de volumen. La manera más común de determinar la densidad de un polímero es con la ayuda de un líquido auxiliar de densidad conocida (Lizaga 2011). El método de prueba ASTM D792 es utilizado para determinar la densidad y gravedad específica (densidad relativa) de los plásticos por desplazamiento. La norma es categorizada en dos: (1) Método de prueba A, para muestras sólidos en agua; y (2) Método de prueba B, para muestras sólidas en líquidos distintos al agua (ASTM 2013). El método de prueba de densidad en agua es el más común y consta de primero pesar el plástico, luego sumergirlo en agua dentro de un recipiente de inmersión con un volumen conocido, el cual deberá ser agitado de manera que se acomode el material en el recipiente sin dañar su estructura física (Herrera 2016). Este método de prueba es adecuado para plásticos o muestras que no se ven afectados por el agua. Para determinar la densidad del material, se aplicará la Ecuación 2 descrita por Salmerón (2019):

$$\text{Densidad} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{Pb}}{(1\text{cm}^3 \times (V_f - V_c)) / 1\text{mL}} \quad [2]$$

Donde:

Pb: peso de la bandeja en gramos.

V_f : volumen final en mL.

V_c : volumen conocido en mL.

Color. Una de las mayores ventajas de los empaques es la facilidad de pigmentación durante el proceso de elaboración. Sin embargo, el color de los empaques puede afectarse debido a la naturaleza del pigmento del color o por la degradación física del empaque (Lizaga 2011). Por tal razón, las características de color deben ser monitoreadas para alcanzar el color deseado en el empaque. Uno de los métodos más utilizados es la medición de color respecto a las escalas CIE L^* a^* b^* , las cuales atribuyen valores numéricos a los colores, permitiendo detallar de manera precisa la comparación de colores o cambios de colores que puedan exponerse en el empaque (Cohn 2017). Uno de los equipos más utilizados para determinar el color de una muestra es el colorímetro HunterLab® Colorflex, el cual describe las coordenadas de L^* de luminosidad y las coordenadas de a^* y b^* de tonalidades rojo-verde y amarillo-azul respectivamente (Chuchuca *et al.* 2012).

Índice de solubilidad de agua (ISA). Es el parámetro que se evalúa para determinar la interacción entre los polímeros y plastificante presente en el material, con el fin de proporcionar información sobre la degradación del mismo. El índice de solubilidad de una muestra en agua se puede determinar de acuerdo con los métodos expuestos por Souza *et al* (2017) y Jamróz *et al* (2018) para lo cual las muestras seleccionadas al azar deben ser pesadas previamente (P_1) y tener una dimensión de 3×3 cm, posteriormente deben ser secadas en un horno a 70°C durante 24 horas para determinar la materia seca inicial (P_2). Cada muestra deberá ser sumergida en 30 mL de agua y almacenada durante 24 h a temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ\text{C}$). Después del tiempo requerido, las muestras deben ser retiradas, secadas con papel filtro y pesadas (P_3). Por último, cada muestra debe ser secada nuevamente en un horno a 70°C durante 24 horas para determinar la masa seca fina (P_4). El contenido de solubilidad de agua se calculará con la Ecuación 3.

$$ISA(\%) = \frac{P_2 - P_4}{P_2} \times 100 \quad [3]$$

Donde:

P₂: peso de la muestra después del secado en horno.

P₄: peso final de la muestra.

Índice de absorción de agua (IAA). Parámetro que determina la tendencia de un material a absorber agua o humedad del ambiente. Proporciona información importante para predecir el uso final del empaque, debido que, si se determina que el empaque presenta una alta absorción de agua, se debe tener en cuenta este factor, ya que, si es destinado para contener alimentos con alto contenido de humedad, este debe ser insoluble a fin de no afectar las propiedades físicas y sensoriales del producto, ni del empaque (Reis *et al.* 2014). Para medir el índice de absorción de agua se utilizará el procedimiento descrito por Souza *et al.* (2017) y Jamróz *et al.* (2018) para determinar el índice de solubilidad de agua, utilizando la Ecuación 4.

$$ISA(\%) = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \quad [4]$$

Donde:

P₁: peso inicial de la muestra.

P₂: peso de la muestra después del secado en horno.

Permeabilidad al vapor de agua. Parámetro de medida para determinar el paso del vapor de agua a través de un área medida en una unidad de tiempo específica, bajo condiciones de tiempo controladas (Siracusa 2012). Conocer la permeabilidad del empaque permitirá determinar el uso adecuado del mismo, debido a que, si el envase es destinado para productos alimenticios, la permeabilidad se convierte en un factor crítico que determinará la vida útil del producto. Para evaluar la permeabilidad al vapor de agua se hace uso del método ASTM E96M, el cual define la prueba estándar para la transmisión de materiales por vapor de agua. El propósito de la prueba es conocer la transferencia de vapor de agua para determinar el uso de diseño, fabricación y comercialización de un empaque (ASTM 2016). La prueba proporciona dos métodos gravimétricos básicos, el método desecante y el método del agua, sin embargo, el método de mayor precisión es el método desecante.

De acuerdo con Miranda y colaboradores (2004), el método desecante consiste colocar la muestra de prueba en una copa estándar dentro de una cámara sellante que contiene desecante seco (CaCl₂), y en otra cámara colocar otra muestra a una temperatura de 28 a 32 °C, humedad relativa del 95% y 182 m/min de flujo de aire durante 24 horas. El aumento de peso de la copa de prueba debe ser controlado y pesado un mínimo de cinco veces a partir del estado estacionario. La tasa de transmisión de agua se calcula a partir de la regresión lineal de la pendiente de peso ganado en copa en comparación al tiempo y dividido la pendiente por el área expuesta de las películas (Miranda 2004). Otra manera de determinar la permeabilidad de agua de un material es mediante el uso del equipo “permeabilímetro al vapor de agua W3/062”, el cual se basa en el método gravimétrico que incluye los métodos de ensayo desecante y agua. Este equipo ha sido considerado profesionalmente aplicable a la prueba de velocidad de transmisión de vapor de materiales plásticos (Siracusa 2012).

Degradación en compostaje. La evaluación de la degradabilidad de los compuestos plásticos en el medio ambiente, especialmente en agua residuales, es altamente estudiada debido al impacto ecológico que el material causará en el medio ambiente (Castellani *et al.* 2016). Se han estandarizado un gran número de pruebas para determinar el grado de descomposición de los materiales plásticos, sobre todo aquellos que son denominados biodegradables. En términos generales, la degradación de los plásticos se estudia con métodos de prueba que simulan las condiciones ambientales en un laboratorio basándose en la norma ISO 20200 (ISO 2016).

En el estudio realizado por Ketkaew y colaboradores (2018) se establece un método de prueba basado en la norma ISO, el cual consiste en colocar muestras del material biodegradable en bandejas de acrílico, cubierta por desechos orgánicos como el compost. Las condiciones ambientales deben ser contraladas mediante un sensor de humedad, manteniendo la temperatura entre 30 ± 2 °C y humedad del $50 \pm 10\%$ (Salmerón 2019). Después de tres meses, en el compost obtenido se medirá el nivel de desintegración mediante el tamizando, donde las partículas deberán atravesar una malla de 2 mm y no se distinguirá las partículas de la muestra evaluada con las del compost (Tosin *et al.* 2012). El objetivo de la prueba es medir la desintegración física del material biodegradable en fragmentos en la primera fase de degradación, efectuando con la norma europea EN 13432, ya que, el resultado final del proceso completo es la transformación del material en dióxido de carbono (CO₂).

Resistencia al rasgado. Parámetro que determina la capacidad de los materiales para resistir el crecimiento de una rotura o rasgado inicial. La norma ASTM D1922-15 es el método de prueba estándar para medir la resistencia al desgarro de propagación de un película plástica y láminas por el método de péndulo. Existen muchas películas que demuestran un alargamiento en el desgarro, que depende de la orientación de la película y de las propiedades mecánicas inherentes del polímero de que está hecho (ASTM. 2020). La prueba se basa en el método Elmendorf, la cual consiste en una mordaza fija y una mordaza móvil en un péndulo que será soltada para romper en dos la muestra y determinará la energía que ocasiona el rasgado (Bonilla 2014). La resistencia al desgarro se calcula mediante la Ecuación 5 (Kissin. 2011):

$$\text{Resistencia al desgarro (N)} = \frac{\text{Fuerza (N)}}{\text{Grosor (cm)}} \quad [5]$$

Resistencia a la tensión. Los ensayos para determinar la tensión en los materiales plásticos son basadas en la norma ASTM D638 (Navia & Villada 2013). Esta norma está diseñada para producir datos de las propiedades de tensión y especificación de los materiales plásticos, para lo cual se debe tomar en consideración la preparación y entorno de la muestra. Este método de ensayo puede ser usado en materiales con un espesor hasta 14 mm, para materiales plásticos cuyo espesor es menor a 1.0 mm se recomienda el uso de la norma ASTM D882 (ASTM 2014). Para realizar el ensayo es necesario de una máquina de prueba de tensión o un dinamómetro en donde se colocará la muestra que estará sujeta a una tensión y velocidad controlada hasta un grado de deformación (Inteco. 2014). Los resultados obtenidos servirán para determinar propiedades de la muestra como deformación, elongación, estrés y tensión (ASTM 2014).

Resistencia a la flexión. Es la capacidad de los materiales a soportar fuerzas aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal (Archila *et al.* 2017). Para la evaluación de la resistencia

de flexión de los materiales se aplica la norma ASTM D790, la cual especifica los métodos de prueba estándar para propiedades de flexión de plásticos no reforzados y reforzados, además de ser un método aplicable en materiales rígidos, semirrígidos y materiales que ceden a la deformación más de un 5% en la superficie externa (ASTM 2017). Este método mide las propiedades de flexión mientras el material es sometido en fuerzas de deformación o deformación de flexión a una velocidad que expresa el soporte, profundidad y velocidad de deformación de la muestra (Rocha *et al.* 2011). La norma ASTM no especifica el equipo que se debe usar por ser una prueba universal, sin embargo, Navia y colaboradores (2013) recomienda el uso de un texturometro para determinar la resistencia a la flexión del material.

Resistencia al impacto. Los ensayos para determinar la resistencia al impacto de los materiales plásticos se llevan a cabo para establecer el comportamiento del material en situaciones de deformación más elevadas, para lo cual se puede medir por caída libre, caída de proyectil o impacto pendular (Hernández 2015). El ensayo Izod o Charpy es una medida de impacto pendular que aplica la norma ASTM D256-10. Este método de prueba estándar determina la resistencia al impacto del péndulo Izod a los materiales plásticos, cuantificando la energía necesaria para romper las muestras (ASTM 2018). Para esta prueba se debe usar el equipo Izod donde el péndulo, previamente calibrado y montado, golpea la muestra mientras se mide la energía absorbida al romper la misma. El resultado obtenido varía de acuerdo al material, ya que materiales relativamente frágiles poseen una energía de propagación de la fractura menor debido a que cuanto menor es la energía, menor es la resistencia a impactos (Hernandez 2015).

Usos y limitaciones

El principal objetivo de los envases es proteger y conservar el producto en su interior de agentes externos que podrían afectar las condiciones físicas. En la actualidad se buscan envases con propiedades de biodegradación que puedan ser considerados como productos benignos al medio ambiente. El reemplazo de envases plásticos por productos biodegradables permitirá mantener o aumentar los costos de los productos, pero disminuirá el consumo de recursos petroleros, lo cual significará un ahorro en el cambio de divisas (Tharanathan 2003). La principal ventaja del uso de materiales biodegradables está en su forma de actuar como fertilizante o compostaje natural.

Partiendo desde el sector de envases y embalaje, hoy en día el mercado de los envases biodegradables está aumentando debido a la diversificación hacia otros sectores. De acuerdo con el estudio realizado por Anakabe y Arillaga (2012) los usos principales para estos envases son como bienes de consumo para el uso diario como platos, recipientes, tasas, cajas de huevos, entre otros, y en base a la matriz polimérica se pueden destinar como revestimientos o bolsas de estilo comercial o agrícola. Algunos ejemplos notables en la industria es el caso de la compañía Fujitsu que usa esteres celulíticos en la elaboración de teclados y mouses, al igual que la compañía Panasonic y Boston Club que hace uso de PLA de alta resistencia térmica en la fabricación de carcasas de teléfonos móviles y monturas de anteojos (OPTI 2015).

Dentro del ámbito alimenticio, el envase es un componente integral del sector de procesamiento de los alimentos. El envasado de los alimentos es una combinación de arte, ciencia y tecnología con el objetivo de proteger el producto en forma integral (Mangaraj *et al.* 2019). Como se menciona anteriormente, los envases biodegradables carecen de buenas propiedades funcionales como deficiencia de barrera al vapor y humedad, limitando el uso de este tipo de empaques, sobre todo en el sector alimenticio, en productos con alto contenido de humedad. Sin embargo, estos envases

presentan buenas barreras a las concentraciones de gas que los hacen aptos para empaques de alimentos (Rydz *et al.* 2018).

Con el tiempo se han generado muchos modelos biodegradables que tienen propiedades mecánicas similares a los plásticos sintéticos, y han demostrado ser útiles en muchas aplicaciones de vida útil corta donde la principal característica es la biodegradabilidad del material (Song *et al.* 2009). Cabe mencionar que el mejor polímero de base biológica y biodegradable es el PLA, ya que en sus dos mesoformas (L y D), el L-PLA resulta ser un material de alta cristalinidad, resistencia a la tracción y punto de fusión convirtiéndose en un envase adecuado para los alimentos, además de ser considerado el polímero con mayor similitud a los polímeros sintéticos (Arrieta *et al.* 2017). Otra ventaja notable del polímero PLA es su capacidad de conversión en pellets similares a los pellets de los plásticos convencionales, lo que permite su uso en procesos industriales tales como, máquinas reformadoras y termoformadoras (Jamshidian 2010).

La aplicación de materiales biodegradables ya no solo está destinada al uso comercial de las bolsas compostables, su rango de usos ha sido ampliado evidentemente. Junto con los cambios de legislación y nuevas medidas gubernamentales, se han desarrollado políticas a favor del uso de plásticos biodegradables, como la prohibición de bolsas de polímeros sintéticos en varios países o las excepciones de impuestos para los plásticos que se encuentren en la categoría de biodegradables (OECD 2013).

Viabilidad de producción de materiales biodegradables en Zamorano

Actualmente se conoce que la industria de envases plásticos ha ido en incremento, donde uno de sus principales usos es dentro de la industria alimentaria. El aumento desmesurado del consumo de empaques de un solo uso ha generado mayores cantidades de residuos al pasar de los años, además tiene ciclos de vida intensos en carbono. De acuerdo con Dormer y colaboradores (2013), la huella de carbono de cada bandeja de tereftalato de polietileno fue de 1,538 kg CO_{2eq}. Las etapas de materia prima, fabricación, embalaje secundario, transporte y fin de la vida útil emiten gases de efecto invernadero en 45, 38, 5, 3 y 9% del total de gases de efecto invernadero en todo el ciclo de vida, respectivamente.

Debido a dichas acciones se han creado diversos estudios enfocados en mitigar los efectos potenciales causados por los envases de un solo uso y así prevenir posibles impactos ambientales. Una de las principales alternativas es el aprovechamiento de residuos de la industria alimentaria para la elaboración de envases sustentables en el medio ambiente. Se ha demostrado que el uso de contenido reciclado como materia prima para la elaboración de materiales desechables tiene un efecto significativo en la huella de carbono, ya que se podría tener una disminución del 24% de CO_{2eq}.

El poliestireno expandido (EPS) es considerado uno de los embalajes plásticos mayormente utilizado dentro de la industria cárnica, hortofrutícola y un uso potencial en restaurantes de comida rápida debido a sus buenas propiedades físicas y bajos costos (Kaisangsri *et al.* 2014). Sin embargo, el EPS requiere de varios años para degradarse, incrementando la brecha de contaminación ambiental, por tal razón, se ha designado como un material reciclable en muchas etapas de su ciclo de vida (OAS 2016). Una potencial solución a esta problemática es el reciclaje de los residuos plásticos mediante la implementación de un plan para la gestión integral de los residuos sólidos

(GIRS) en el cual se debe incluir el manejo, categorización, disminución en la generación de residuos y aprovechamiento de los mismo (Kuxulkab 2013).

Análisis de la demanda de materiales biodegradables en Zamorano

Se considera que el consumo de material EPS y desechables en Zamorano en el año 2019 fue de aproximadamente 271,454 unidades entre bandejas, platos y vasos desechables (Cuadro 1), los cuales fueron distribuidos en las plantas de procesamiento de alimentos como Hortofrutícola (Poscosecha y Procesamiento), Cárnicos, además de puestos de comida como el comedor estudiantil Doris Stone, cafetería Tigrito, restaurante Kellogg's y Puesto de Ventas. Los principales proveedores de este insumo son las distribuidoras Representaciones Rojas, Distribuciones Agilar, Alfa Comercial S. de R.L y Distribuidora de productos alimenticios S.A (Información proporcionada por el Ing. Melvin Alvarado, Jefe de Compras y Suministros de Zamorano).

El consumo de bandejas de EPS en la Planta Hortofrutícola es de aproximadamente 10,000 unidades anualmente, además, se considera un incremento de consumo en años posteriores. Se planea elaborar materiales biodegradables con propiedades similares a los envases de EPS, que en un principio sean capaces de satisfacer la demanda interna de la unidad y en futuras investigaciones abarcar las áreas de servicios alimenticios, plantas procesadoras de alimentos, unidades de producción de plántulas y otros posibles usuarios de materiales biodegradables a medida reducir la demanda de material EPS en Zamorano.

Cuadro 1. Cantidades anuales de los envases desechables utilizados en Zamorano

Tipo de envase desechable	Cantidades anuales
Bandejas	39,810
Platos	15,144
Vasos	216,500

Fuente: Ing. Melvin Alvarado (2020)

Existe una necesidad de innovar y buscar un nuevo mercado para los materiales biodegradables, que a la vez cumplan con las necesidades básicas en Zamorano. Por lo cual, existe la tendencia de investigar productos sustitutos de los plásticos convencionales que puedan ser elaborados a partir de recursos naturales, tal es el caso de semilleros o empaques que cubran el sistema radicular de las plántulas. En Zamorano se producen 1,914,890 plántulas por año en cultivos de importancia (Cuadro 2) producidos en la unidad de ornamentales (Información proporcionada por la Ing. Cinthya Martínez, Instructora y Jefe Técnico en las áreas de Fitotécnia, Ornamentales y Propagación). Todas estas plántulas pueden llevar un empaque individual que tenga beneficios en los procesos productivos y agronómicos.

Demirgroz y colaboradores (2000) explican que mediante el uso de material biodegradables en la implementación que cultivos agrícolas trae ventajas considerables, puesto que no solo se reducen el consumo de materiales plásticos, sino que se termina todo el ciclo de vida del producto, aprovechando así todos los residuos orgánicos en nuevos cultivos. El uso de semilleros biodegradables convierte a los procesos de transplante más eficientes, disminuyendo el daño en el

sistema radicular y tallo de la plántula, además de proveer sustrato a la planta con la degradación del material (Hidalgo 2012). Estos semilleros se adaptan a todo tipo de cultivo tanto en horticultura, como ornamental, de esta manera se disminuye el consumo de semilleros plásticos, que una vez que se termina con su vida útil, se convierten en residuos en el medio ambiente.

Cuadro 2. Cantidades anuales de las plántulas consumidas en Zamorano.

Tipo de plántula	Cantidades anuales
Brassicas	5,000
Chile	300,000
Chile dulce morrón	22,000
Lechuga	624,000
Maíz	5,800
Melón	13,200
Sandia	6,640
Perejil, acelga, remolacha y cebollín	20,400
Tomate	915,350
Varios	2,500

Fuente: Ing. Cinthya Martínez (2020)

Si se supone el uso de la formulación para la elaboración de materiales biodegradables planteada por Salmerón (2019), los costos de materia prima en la elaboración de dichos productos serían de 12 centavos de dólar (Cuadro 3). Para determinar el costo final de materiales biodegradables se recomienda considerar costos fijos, variables, mano de obra, entre otros. Se determinó que el quitosano fue el ingrediente de mayor precio de la formulación, por lo tanto, es recomendable realizar investigaciones donde se evalúe la sustitución de este insumo. Se recomienda el incremento en el uso de almidón por su estructura funcional y bajo precio, al mismo tiempo variar con la concentración de plastificante hasta obtener la combinación idónea para la elaboración de materiales biodegradables (Espada 2016).

Uno de los principales factores que impide el aumento de consumo de los materiales biodegradables, es su precio de venta debido a la alta inversión que se incurre en los procesos de elaboración, además, aún hace falta realizar varias investigaciones y estudios donde se determine la formulación correcta para la elaboración de mencionados materiales (Navia y Villada 2013). Como se pudo determinar en el análisis de materias primas (Cuadro 3), únicamente el costo de materias primas del prototipo evaluado por Salmerón (2019) igualó el precio de una bandeja convencional de EPS puesta en almacén central de Zamorano (Información proporcionada por el Ing. Melvin Alvarado, Jefe de Compras y Suministros de Zamorano). Por tal razón, los consumidores inclinan su elección a aquellos materiales de bajos precios. Zamorano adquiere bandejas biodegradables a un costo aproximado de 30 centavos cada unidad, este precio se eleva en un 150% más que el precio normal de materiales desechables.

En total, Zamorano incurre en un gasto anual de materiales desechables (Cuadro 1) de aproximadamente USD 14,877.95 en referencias al año 2019, para lo cual, podría considerarse a este dinero como una posible inversión en una nueva unidad productiva de materiales

biodegradables para el autoconsumo. Si se decide implementar esta unidad en Zamorano, el principal objetivo sería realizar investigaciones que permitan igualar o disminuir al precio que se paga actualmente por bandejas biodegradables y poder cumplir con la demanda interna del producto.

Cuadro 3. Costo variable unitario de materia prima para la elaboración de bandejas biodegradables

Materia prima	%	Requerimiento para bandeja	Costo de materia prima (\$)	Costo Variable unitario (\$)
Base seca (g)				1 bandeja
Polvo de lechuga	29.40	2.05	0.00	0.00
Quitosano	15.70	1.09	0.06	0.06
Almidón de maíz	54.90	3.84	0.01	0.02
Base húmeda (mL)				
Agua	90.85	6.35	0.00	0.00
Glicerol	2.90	0.20	0.09	0.01
Ácido acético	6.25	0.06	0.12	0.01
Material de empaque			0.10	0.01
Total (\$)				0.12

Causas directas del problema. De acuerdo con Honorio (2017) la mayoría de los envases de EPS son destinados para el sector alimentario, a lo cual lo más común es el envasado de frutas y hortalizas frescas (28%), seguido por las bandejas de carne (12%) y comida rápida (7%). El aumento en la generación de residuos sólidos, principalmente los envases, que se debe de manera directa a las variables de crecimiento poblacional. El consumo de productos desechables es uno de los mayores focos de contaminación para el medio ambiente. Aunque los materiales de EPS son considerados envases reciclables, es uno de los principales recursos en generar residuos de forma insostenible debido al incorrecto manejo, dificultades de reciclado a gran escala y procesos de transformación (Kuxulkab 2013).

Se considera que los centros educativos, como las universidades, generan entre 10-20% de residuos, de los cuales los principales son cartón, papel, plásticos y desechos de comida, dichos residuos requieren un manejo integral para minimizar su generación y maximizar su recuperación (Ibarra y Redondo 2011; Caldera 2016). Existe una carencia en educación ambiental de la población estudiantil en Zamorano debido a la falta de compromiso de reciclaje de materiales sólidos, afectando así el manejo de los desechos generados.

Planteamiento de oportunidad. Obtener la materia prima para la elaboración de materiales biodegradables en Zamorano no es un factor de dificultad en el proceso productivo, debido a que el establecimiento cuenta con un complejo agroindustrial constituido por una serie de plantas procesadoras de alimentos y otros espacios de las cuales se obtiene una amplia variedad de desperdicios (Cuadro 4). Las cantidades anuales (kg) son valores aproximados recopilados de diferentes investigaciones realizadas en Zamorano, cabe mencionar que estos valores cambiarán dependiendo de la producción de cada área, población estudiantil y otros detalles. En Zamorano, según la investigación, se generan aproximadamente 1,042.6 m³ de desechos líquidos entre la

planta de lácteos y cárnicos, y 694,307.2 kg de desechos sólidos entre las unidades de semillas, hortofrutícolas, forestales y comedor estudiantil (CE), siendo de este el 87.90% desecho de raquis de maíz proveniente de la planta de semillas.

Cuadro 4. Resumen de desechos producidos en Zamorano

Lugar	Tipo de Desecho	Cantidad anual
Planta de Lácteos	Suero de leche	604.76 m ³ ¹
Planta de Cárnicos	Sangre animal	437.84 m ³ ¹
Planta de Semillas	Raquis de maíz	610,250.00 kg ²
Unidad de Forestales	Aserrín	7,228.00 kg ²
Planta Hortofrutícola Poscosecha	Hojas de lechuga	55,468.40 kg ²
Planta Hortofrutícola Procesamiento	Cáscara de limón	3,945.60 kg ³
Planta Hortofrutícola Procesamiento	Cáscara de naranja	2,375.00 kg ³
Planta Hortofrutícola Procesamiento	Maracuyá	6,163.20 kg ³
Planta Hortofrutícola Procesamiento	Mango	5,250.00 kg ³
Planta Hortofrutícola Procesamiento	Piña	477.00 kg ³
Comedor Estudiantil (CE)	Cáscara de plátano	3,150.00 kg ⁴

Fuente: ¹. González 2017, ². Landaverde 2018, ³. Datos calculados de materias primas de la Planta de Hortofrutícola Procesamiento, ⁴. Datos calculados en base a la demanda del CE

Dichos desechos pueden ser considerados coproductos para la elaboración de materiales biodegradables, debido a que cada uno posee diferentes composiciones ventajosas, descritos a continuación:

Raquis de maíz. El maíz es uno de los cultivos que mayor cantidad de biomasa produce, de la cual únicamente es aprovechado el 50% ya que el resto corresponde a diferentes estructuras de la planta tales como tallos, hojas, mazorcas, entre otros (FAO 2003). Se estima que el principal residuo en la poscosecha del maíz es la mazorca y constituye el 11.8% del peso seco del mismo, representando así un 20 a 30% del total de la cosecha de dicho cultivo (González *et al.* 2016). El método más común para tratar los residuos del maíz, como la mazorca, resulta en la incineración de los mismos aumentando el nivel de contaminación en el aire.

Recientes investigaciones se han enfocado en la extracción de celulosa y hemicelulosa provenientes de la mazorca para el procesamiento de nanopartículas, las cuales han generado interés para la producción de materiales biodegradables debido a su biocompatibilidad, biodegradabilidad, bajos costos y no toxicidad, tal como lo describe Louis y Venkatachalam (2020). Dichos autores mencionan el proceso para la deslignificación, extracción de celulosa y hemicelulosa para lo cual utilizaron mazorcas de maíz secadas al sol, molidas y tamizadas para obtener un tamaño uniforme de partícula. El polvo de mazorca de maíz fue suspendido en agentes deslignificantes como clorito de sodio acidificado y peróxido de hidrógeno alcalino a 70°C. El resultado de la deslignificación fue holocelulosa a la cual se le añadió 15% de NaOH y se centrifugó a 6000 rpm para obtener celulosa insoluble en álcali en forma de pellet. El sobrante fue precipitado con etanol frío para la

obtención de hemicelulosa, que a su vez fue centrifugada y cuantificada por el método de fibra detergente. Por último, los cristales de nanocelulosa son preparados mediante hidrólisis ácida, mientras que la hemicelulosa fue disuelta con NaOH y sometida a ultrasonidos para obtener nanohemicelulosa. Las aplicaciones de ambas nanopartículas proveen características funcionales a materiales biodegradables como incremento en las propiedades de barrera contra aceites y grasas (Mugwagwa y Chimphango 2020).

La celulosa y hemicelulosa han sido considerados materiales de refuerzo capaces de mejorar las propiedades mecánicas en la formación de películas. En el año 2018, estudiantes de la Universidad Autónoma de Querétaro desarrollaron el proyecto Boltsiri, el cual tiene como objetivo el aprovechamiento de los desechos agroindustriales (mazorca de maíz) para la elaboración de bolsas biodegradables resistentes y no tóxicas, que no generaran problemas a los animales si llegaran a ingerirla accidentalmente (UAQ 2018).

Suero de leche. Es considerado uno de los desechos más importantes de la industria de procesamiento de alimentos obtenido de la elaboración de quesos, debido a que aproximadamente el 90% de la leche utilizada es eliminada, categorizándolo como el subproducto más importante de la industria láctea (Khezri *et al.* 2016). El suero se caracteriza por ser un efluente con alta concentración de DBO y DQO, además contiene aproximadamente el 55% de los ingredientes totales de la leche como lactosa, proteínas solubles, lípidos y sales minerales, de tal manera que el 70% del suero es utilizado en la elaboración de diferentes productos, así como en la alimentación animal (El-Tanboly 2017). Se han realizado varias investigaciones que determinar el uso de dicho subproducto, tal es el caso de producción de PHB a partir del suero de leche para la elaboración de materiales biodegradables, que a la vez contrarresta el problema ambiental relacionado con el consumo de envases plásticos (Alborch 2017).

El ácido polihidroxibutírico (PHB) es un polímero de alta cristalinidad, sólido y bastante quebradizo obtenido de manera natural por la acción de microorganismos que aparentemente se encuentran en condiciones de estrés fisiológico (Calero 2017). Existe una gran diversidad de bacterias capaces de sintetizar y acumular este polímero, como las cepas de *E. coli*, las cuales se alimenta de lactosa y en condiciones de estrés el microorganismo es capaz de producir PHB a partir del hidrólisis de la misma (Gumel *et al.* 2013).

La producción de PHB consiste en tres etapas, la primera radica la fermentación acidogénica, en la cual la lactosa es transformada en glucosa y galactosa para posteriormente producir piruvato que se transformará en acetil CoA y finalmente en PHB. En la segunda etapa se extrae y recupera el polímero de las células y, por último, en la tercera etapa se realiza el proceso de purificación de los polímeros (Arregui y Ceppo 2019). Actualmente el PHB es utilizado para la elaboración de envases mediante el método de inyección, debido a que posee características similares al polipropileno (PP), razón por la cual existe una variedad de proyectos que apuntan al uso de este polímero para la elaboración de materiales biodegradables que sean capaces de sustituir a los envases tradicionales.

Sangre animal. Además de los desperdicios ya mencionados, la sangre animal representa una alternativa de implementación para la mejora de propiedades mecánicas de los materiales biodegradables debido a la presencia de albúmina en su composición. La albúmina representa a la proteína de mayor abundancia del plasma sanguíneo y una de las más utilizadas (Orozco *et al.*

2018). Mencionados autores proponen el método de purificación de albumina a partir de sangre bovina mediante procesos de centrifugación y termoprecipitación.

La sangre bovina fue centrifugada a 3000 rpm durante 12 min a temperatura ambiente para la obtención de plasma, el cual posteriormente recibió el proceso de termoprecipitación al agregar caprilato de sodio (protector de albumina), etanol al 96% y calentarlo todo a 65 °C para la precipitación de otras proteínas. Por último, se vuelve a realizar el proceso de centrifugación en las mismas condiciones ya mencionada para extraer albumina purificada. Mediante este método Orozco y colaboradores (2018) concluyen que el proceso de termoprecipitación selectiva es una técnica factible para la purificación de albumina en la cual se requieren otros recursos, además de recomendar el secado por aspersion como otro método de gran utilidad que ofrece buenos resultados.

La proteína de albumina, al igual que el suero de leche, ha demostrado propiedades antimicrobianas en la elaboración de materiales biodegradables debido a la presencia de la enzima lisozima encargada de la reacción de lisis sobre las células (Castro 2016). De acuerdo con Jones y colaboradores (2015) la proteína de albumina combinada con plastificante y agua posee propiedades térmicas y viscoelásticas similares a los plásticos sintéticos, además de reducir considerablemente el crecimiento de bacterias Gram (+ y -). Cabe mencionar que la adición del plastificante, en cantidades moderadas, no será un factor de impedimento para la biodegradabilidad del material, razón por la cual los investigadores mencionan un potencial uso de la albúmina debido a las propiedades antimicrobianas capaces de reducir riesgos potenciales de contaminación bacteriana en los materiales biodegradables.

Aserrín. Es estimado como el desperdicio del proceso de serrado de la madera que genera grandes volúmenes de residuos. Se debe considerar que en un futuro el aserrín puede ser utilizado como materia prima en la gestación de varios objetos, tal es el caso de la implementación de este residuo para la elaboración de materiales biodegradables.

De acuerdo con Area y Vallejos (2017) la conversión del aserrín en un aditivo biobasado plastificante obtenido a partir de la conversión del mismo en biomasa lignocelulósica, ha sido considerado para la elaboración de materiales biodegradables en adición con almidón termoplastificado. Dichos autores también mencionan que la biomasa lignocelulósica puede ser utilizada para elaboración de biomateriales, bioproductos y biocombustibles obtenidos de los residuos agroforestales. Los diferentes procesos de fraccionamiento permiten separar los componentes conformados por la biomasa como celulosa, hemicelulosa, lignina, entre otros, que posteriormente serán utilizados en diferentes procesos productivos.

Para la extracción de celulosa y lignina de aserrín se deben considerar procesos de disolución en solventes orgánicos y aditivos como catalizadores y diferentes reactivos. Esto permitirá la separación de celulosa, hemicelulosa y lignina como sustancias parcialmente despolimerizadas, que a la vez podrán ser deconstruidas mediante procesos degradativos debido al uso de catalizadores, reactivos, enzimas y microorganismos para un mayor grado de hidrólisis y degradación (Area y Vallejos 2017). Los mencionados compuestos pueden ser utilizados para la elaboración de materiales biodegradables, compostables y biobasados que serán utilizados en diferentes procesos como en la elaboración de envases de un solo uso.

Residuos cítricos. La naranja y el limón son destinados como insumos de la agroindustria, de los cuales pueden ser implementados en una gran variedad de procesos alimenticios, de los cuales se obtienen desechos como cáscaras, pulpa y semillas. De los mencionados desechos se pueden obtener aceites esenciales y pectinas que pueden ser utilizados en otros procesos y de esta manera y de esta manera el impacto ambiental que generan (Cardona *et al.* 2013). Los principales componentes presentes en la cáscara de los residuos cítricos son pectina, carbohidratos y fibras, de los cuales, la pectina ha tenido una mayor importancia en la elaboración de materiales biodegradables.

Alata y Cuadros (2017) hacen referencia que la pectina presente en los residuos cítricos se obtiene mediante la purificación de los carbohidratos por extracción acuosa de las plantas. Las pectinas están principalmente conformadas por ácidos galacturónicos y unidades de ésteres metílicos del ácido galacturónico. Además, mencionados autores hacen referencia que las principales propiedades de la pectina son la capacidad de formar geles, solubilidad en agua y estabilidad en soluciones.

En el estudio realizado por Arévalo y colaboradores (2010) se explica la elaboración de películas biodegradables a partir de los residuos cítricos, pectina, alcohol polivinílico y benzoato de sodio, mediante la técnica de casting o vaciado en placa, con la función de recubrimiento de productos alimenticios. Mencionados autores concluyen que esas películas presentaron características fisicomecánicas y de barrera aceptable, de tal manera, pueden ser consideradas como elementos útiles en la elaboración de empaques activos que tengan beneficios sobre el producto. Sin embargo, se recomienda realizar más investigaciones que se enfoquen en las propiedades de permeabilidad, ya que se considera que esta propiedad varía dependiendo el empaque y de esta se determinará su uso final, ya que dependerá de la naturaleza del producto.

Desarrollo de materiales y su proceso productivo

Se describen las operaciones necesarias para la elaboración del producto mediante la descripción del flujo de procesos y el diseño de la disposición óptima de los equipos. Se necesitará un área de aproximadamente 60 m² para la correcta distribución de los equipos la cual podrá ubicarse dentro de un espacio existente o considerarse un área independiente. La sugerencia de ubicación es un punto intermedio o cercano a la Planta Hortofrutícola y la Planta de Semillas (zona norte del campus Zamorano) debido que se considera a estas unidades como las principales generadoras de desechos que son de gran importancia en la elaboración de materiales biodegradables. Si se decide colocar esta unidad dentro de un área existente, esta deberá contar con áreas básicas como bodega, servicios higiénicos y área de recepción.

Diseño del producto. La idea de implementar un laboratorio para la elaboración de material biodegradable surge de la situación actual relacionado al consumo y disposición de materiales desechables en Zamorano, y los efectos del mismo en el medio ambiente. Cuando los productos no presentan un proceso biodegradable, son considerados un riesgo para el medio ambiente debido a los largos periodos de tiempo que estos tardan en degradarse y sustancias tóxicas y contaminantes que desprenden a lo largo de su vida. Debido a esto, la nueva modalidad de implementación de materiales biodegradables es altamente recomendable puesto que dichos materiales representarán un menor impacto en los ecosistemas.

Se desea aprovechar al máximo todos los recursos disponibles, como los desechos de las diversas plantas agroindustriales, para la elaboración de materiales biodegradables (bandejas, platos, semilleros, entre otros) que sean capaces de cumplir con funciones básicas similares a los materiales de EPS y de esta manera disminuir las problemáticas ambientales que este material causa mediante la reducción de su uso. Las cantidades elaboradas tendrán una relación directamente proporcional en cuanto la demanda del producto y la disponibilidad de materia prima. Es ideal recomendar el aprovechamiento al máximo de cada recurso debido a que cada uno cuenta con propiedades únicas que pueden ser un factor de beneficio para la obtención del material biodegradables ideales.

Diseño del proceso productivo. Tiene como objetivo determinar las funciones estructurares que influyen al sistema de producción, además permite establecer las decisiones importantes que maximizarán la eficiencia económica, técnica y condicionamientos que estarán relacionados con los objetivos previamente establecidos. A continuación, se representa el proceso productivo general y la ubicación correspondiente de cada equipo (Figura 4 y 5). Cabe mencionar que cada etapa del proceso dependerá únicamente de la materia prima que se decida emplear. El correcto seguimiento de estos pasos permitirá una eficiente elaboración de materiales biodegradables.

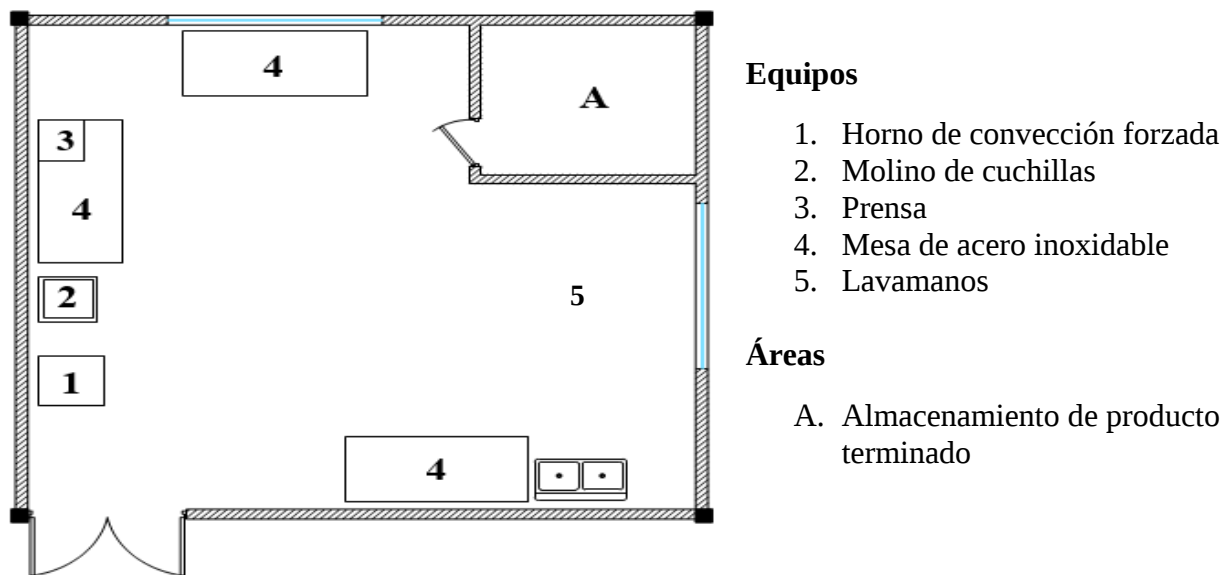


Figura 4. Plano interno del laboratorio propuesto.

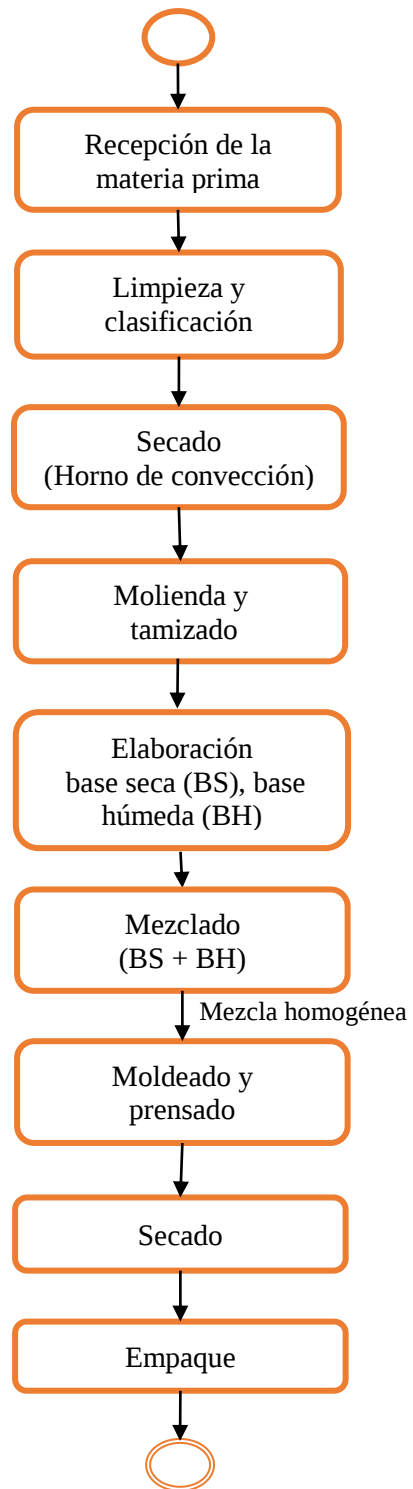


Figura 5. Diagrama de flujo general para la elaboración de material biodegradable

Recepción de materia prima. Se recibirán los desechos de las diferentes áreas industriales para ser convertidas en coproductos. Es fundamental tener una planificación de entregas tanto para materia prima, como para insumos utilizados en el proceso productivo.

Limpieza y clasificación. Etapa en la cual se retirarán materiales extraños no útiles en el proceso y se seleccionará la materia prima de mejor calidad, es decir, la que presenta menor cantidad de daños físicos.

Secado. Proceso que se puede realizar a temperatura ambiente o en horno de conversión forzada, dependiendo de la materia prima a utilizar, con el objetivo de eliminar la cantidad de agua presente y así poder transformar el insumo en polvillo o extraer los componentes requeridos del mismo.

Molienda y tamizado. Fase que tiene como objetivo triturar el resultado del proceso de secado y tamizarlo para la obtención de muestras con partículas uniformes.

Elaboración Base Seca (BS), Base Húmeda (BH). Formulación para la elaboración del material biodegradable donde se tomará en cuenta la relación y composición de cada ingrediente. Se deberá implementar las normas necesarias que influyen en los procesos de degradación para determinar las cantidades de cada ingrediente como el plastificante, el cual no deberá influir en el proceso de biodegradabilidad.

Mezclado. En esta etapa se incorporarán las bases previamente elaboradas con ayuda de una batidora de inmersión para obtener una mezcla uniforme y consistente.

Moldeado y prensado. La mezcla resultante será colocada en moldes de acero inoxidable recubiertos de teflón, en los cuales variaran de acuerdo a los requerimientos, para posteriormente colocarlos en una prensa hidráulica que permitirá aplicar una presión suficiente para obtener material biodegradable con la forma deseada.

Secado. Posterior al proceso de moldeado y prensado, la masa final con la forma deseada es depositada en un horno de convección con el objeto de proveer consistencia y rigidez al material biodegradables.

Empaque. Finalmente, el material biodegradable (bandejas, platos, vasos, entre otros) son empacados y almacenados en condiciones controladas para su posterior distribución dentro del establecimiento.

Necesidad de equipos y materiales. Para lograr la implementación de un laboratorio dedicado a la innovación y desarrollo de materiales biodegradables, es necesario tener un flujo de proceso como se explicó anteriormente. Para ello se realizó una recopilación de equipos y materiales necesarios de diferentes distribuidores (Cuadro 5). Con estos equipos se puede realizar una investigación básica y el resto de análisis se podrán llevar a cabo en los laboratorios presentes en el área del Departamento de Agroindustria Alimentaria.

Cuadro 5. Resumen de materiales y equipos

Material/ Equipo	Marca/Modelo	Precio (USD)
Horno de convección forzada	Binder, FD 720	10,500.00
Prensa Hidráulica	El cultivar, Rosin press; 20 T	1,297.45
Molino de cuchillas	Fritsch, Pulverisette 11	6,746.09
Batidora de inmersión	Imusa, DD1601CO;300W	45.00
Balanza de precisión	Optima	115.00
Tamices	Proeti, N° 14,16	115.50
Moldes	Acero inoxidable recubierto con teflón	350.00
Mesa de acero inoxidable	iMerco	225.00
Equipos menores		300.00

Conversión de moneda, USD1.00 equivale a HNL 24.70

Se determinó una inversión aproximada de equipos y materiales de USD19,694.04 e infraestructura de USD15,000 para la implementación de un laboratorio dedicado a la innovación y elaboración de materiales biodegradables, enfocándose en el uso de los desechos generados en la Planta de Semillas y Planta de Hortofrutícola. Además, se determinó que los clientes principales de estos insumos estarían enfocados a los servicios alimentarios, plantas de procesamiento de alimentos y algunas unidades de producción agrícolas.

4. CONCLUSIONES

- Por medio de una revisión de literatura se identificaron biopolímeros como la celulosa, almidón o monómeros naturales polimerizados como el Ácido Poliláctico (PLA) que son capaces de reemplazar a los polímeros sintéticos en la elaboración de materiales biodegradables.
- Se estableció un proceso detallado para la elaboración de materiales biodegradables, por medio del diseño del proceso productivo y una correcta distribución de equipos. Además, se determinó un área necesaria de 60 m² para la implementación de un laboratorio dedicado a la innovación y elaboración de materiales biodegradables.
- Se determinó que Zamorano incurre en un gasto anual de materiales desechables (bandeja, platos y vasos) de aproximadamente USD 14,877.95 en referencia al año 2019. El principal desecho sólido es el raquis de maíz (87.90) generado por la Planta de Semillas,

5. RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis financiero para determinar la factibilidad económica de la implementación de un laboratorio dedicado a la innovación y elaboración de materiales biodegradables.
- Desarrollar mayores formulaciones con las dos principales materias de desechos generadas en Zamorano (hojas de lechuga y raquis de maíz).
- Evaluar nuevas formulaciones donde se incluya materias primas como el suero de leche, aserrín y otros subproductos en las formulaciones existentes.
- Evaluar la huella de carbono de los materiales biodegradables desde su elaboración hasta la degradación en el ambiente.
- Realizar estudios de mercado para determinar la preferencia de consumo entre materiales plásticos y materiales biodegradables.

6. LITERATURA CITADA

- Agama E, Nuñez M, Alvarez J, Bello L. 2015. Physicochemical, digestibility and structural characteristics of starch isolated from banana cultivars. *Carbohydr. Polym.* 124:17-24. doi: 10.1016/j.carbpol.2015.02.003
- Alata E, Cuadros Y. 2017. Formulación y evaluación físico mecánica de películas biodegradables en base a residuos cítricos y celulosa bacteriana. [Tesis de pregrado] Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa. 40-49 p.
- Alborch M. 2017. Reducción de las emisiones de CO₂ mediante el uso de PHB obtenido a partir de suero lácteo. Proyecto Wheypack. ES 000608.
- Anakabe J, Arrillaga A. 2012. Diseño de nuevos materiales respetuosos con el medio ambiente. Bioplásticos para aplicaciones duraderas. Interempresas. [Internet] Canales sectoriales. [consultado el 10 de may de 2020] <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/77887-Bioplasticos-para-aplicaciones-duraderas.html>
- Anchundia K, Santacruz S, Coloma J. 2016. Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (*Musa Paradisiaca*). *Revista chilena de nutrición.* 34(4). ISSN: 0717-7518
- Archila D, Figueroa G. 2017. Análisis de la resistencia al corte, tracción, flexión y compresión en probetas de plástico reciclado. [Tesis de pregrado]. Colombia: Universidad La gran Colombia. 60 p.
- Area M, Vallejos M. 2017. Bio-productos y bio-materiales a partir de la biorrefinería de residuos agro y forestoindustriales. *Panorama de la industria de celulosa y papel y materiales linocelulósicos.* 1ª ed. Argentina: Universidad Nacional de Misiones. ISBN: 978-950-766-188-1
- Arévalo K, Alemán M, Rojas M, Morales L. 2010. Películas biodegradables a partir de los residuos de cítricos: propuesta de empaques activos. *Rev Latinoam Biotecnol Amb Algal.* 1(2):124-134
- Arregui G, Ceppo M. 2019. Producción de polihidroxibutirato a partir de lactosuero. [Tesis de pregrado] Argentina: Facultad de ciencias agropecuarias. 16-17 p.
- Arrieta M, Fortunati E, Dominici F, Rayón E, López J, Kenny J. 2014. Multifunctional PLA–PHB/cellulose nanocrystal films: Processing, structural and thermal properties. *Carbohydr. Polym.* 107:16–24. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.02.044
- Arrieta M, Samper M, López J, Aldas M. 2017. On the Use of PLA-PHB Blends for Sustainable Food Packaging Applications. *Inst of Poly Sci Technol (ICTP-CSIC).* Madrid, Spain. Europe PMC. doi: 10.3390 / ma10091008
- Arvanitoyannis I. 2007. Totally and partially biodegradable polymer blends based on natural and synthetic macromolecules: preparation, physical properties, and potential as food packaging materials. *J. Macromol. Sci.* 205-271 p. doi: 10.1081/MC-100101420
- [ASTM]. American Society of Testing Materials. 2018. Committee D20 on Plastics. [Consultado el 4 de Jun, de 2020]. <https://www.astm.org/COMMITTEE/D20.htm>

- [ASTM]. American Society of Testing Materials. 2003. ASTM 5338-98. Standard test method for determining aerobic biodegradation of plastic materials under controlled composting conditions. [Consultado el 4 de Jun, de 2020]. <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D5338-98R03.htm>
- [ASTM]. American Society of Testing Materials. 2013. ASTM D6954-04. Standard guide for exposing and testing plastics that degrade in the environment by a combination of oxidation and biodegradation. [Consultado el 4 de Jun, de 2020].
- [ASTM]. American Society of Testing Materials. 2013. ASTM D792-13. Standar test methods for density and specific gravity (relative density) of plastics by displacement. [Consultado el 4 de Jun, de 2020]. <https://www.astm.org/Standards/D792.htm>
- [ASTM]. American Society of Testing Materials. 2014. ASTM D638-14. Standard test method for tensile properties of plastics. [Consultado el 4 de Jun, de 2020]. <https://www.astm.org/Standards/D638.htm>
- [ASTM]. American Society of Testing Materials. 2016. ASTM E96M. Standard test method for propagation tear resistance of plastic film and thin sheeting by pendulum method. [Consultado el 4 de Jun, de 2020]. <https://www.astm.org/Standards/D1922.htm>
- [ASTM]. American Society of Testing Materials. 2016. ASTM F1306-16. Standar test method for slow rate penetration resistance of flexible barrier films and laminates. [Consultado el 4 de Jun, de 2020]. <https://www.astm.org/Standards/F1306.htm>
- [ASTM]. American Society of Testing Materials. 2018. ASTM D256-10. Standard test methods for determining the Izod pendulum impact resistance of plastics. [Consultado el 4 de Jun, de 2020]. <https://www.astm.org/Standards/D256.htm>
- [ASTM]. American Society of Testing Materials. 2018. ASTM D5988-18. Standard test method for determining aerobic biodegradation of plastic materials in soil. [Consultado el 4 de Jun, de 2020]. <https://www.astm.org/Standards/D5988.htm>
- [ASTM]. American Society of Testing Materials. 2019. ASTM D6400-19. Standard specification for labeling of plastics designed to be aerobically composted in municipal or industrial facilities. [Consultado el 4 de Jun, de 2020]. <https://www.astm.org/search/fullsite-search.html?query=D6400-04&>
- [ASTM]. American Society of Testing Materials. 2020. ASTM D1922-15. Standard test method for water transmission of materials. [Consultado el 4 de Jun, de 2020]. <https://www.astm.org/Standards/E96.htm>
- [ASTM]. American Society of Testing Materials. ASTM D790-17. Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced and electrical insulating materials. [Consultado el 4 de Jun, de 2020]. <https://www.astm.org/Standards/D790.htm>
- Boarini J. 2006. Utilización del bagazo de caña de azúcar para la elaboración de briquetas de combustibles sólido para usos domésticos en la ciudad de Guatemala. [Tesis] Guatemala: Universidad Rafael Landívar. 29-33 p.

- Bolio G, Veleva L, Azamar J, Hernández M, Del Ángel E, Córdova S, Correa M, Pérez J, Pérez C, Ross R, Pelayo L, Wyrick R. 2017. Elaboración de recipientes biodegradables a partir de residuos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*): Planta piloto. Agro productividad. Índice de revistas mexicanas. México. 10(11):48. ISSN: 2594-0252
- Bonilla A. 2014. Fabricación de láminas de polietileno de baja densidad para empaques de alimento cárnicos. [Tesis de pregrado]. Ecuador: Universidad Central del Ecuador. 34, 35 p.
- Break free from plastic. Greenpeace. 2018. Branded. In search of the world's top corporate plastic polluters. Vol 1. [sin lugar] [sin editorial] [Consultado el 4 de May, de 2020]. <https://www.breakfreefromplastic.org/globalbrandauditreport2018/>
- Caldera Y. 2016. Manejo Integral de los residuos sólidos en un núcleo universitario. Revista arbitrada venezolana del núcleo costa oriental del lago. 11(2): 22-36. ISSN:1836-5042
- Calero R. 2017. Obtención de polihidroxialcanoatos a partir del suero lácteo por cultivos microbianos mixtos. [Tesis de doctorado]. España: Universidad Da Coruña. 31-33 p.
- Cardona A, Cabañas D, Zepeda A. 2013. Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). [Tesis de pregrado]. México: Universidad Autónoma de Yucatán. 17: 1-9. ISSN: 1665-529X
- Castellani F, Esposito A, Vitale S, Altieri R. 2016. Measuring the biodegradability of plastics polymers in olive-mill waste compost with and experimental apparatus. Adv. Mater. Sci. Ing. doi: org/10.1155/2016/6909283
- Castro L. 2016. Polímeros biodegradables y química click. [Tesis de pregrado]. España: Universidad de Sevilla. 14 p
- Castillo R, Escobar E, Fernández D, Gutierrez R, Morcillo J, Nuñez N, Peñaloza S. 2015. Bioplástico a base de la cáscara de plátano. Universidad Tecnológica de Panamá. Revista académica UTP. 1(1). Panamá: [sin editorial]. ISSN: 2412-0464
- Cevallos D, Álvarez A. 2016. Los envases y embalajes del comercio internacional y la normativa ecuatoriana en la facilitación del comercio internacional. [Tesis de pregrado]. Ecuador: Universidad de Guayaquil. 23-25 p.
- Chuchuca G, Dick A, Peñafiel J. 2012. Implementación y validación de una metodología económica para la medición de color aplicada en alimentos. [Tesis de pregrado]. Ecuador: Escuela superior politécnica del litoral. 24 p
- Cohn K. 2017. Color and appearance measurement in the plastic industry. Konica Minolta.
- Crespo, G. 2019. El plástico supone el 95% de los residuos del mar Mediterráneo. [Internet] España: National Geographic; [consultado el 8 de nov. de 2019]. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2019/05/el-plastico-supone-el-95-de-los-residuos-del-mar-mediterraneo#:~:text=De%20todas%20las%20part%C3%ADculas%20de,hasta%20el%2060%20u%2080%25.>
- Demirgöz D, Elvira J, Mano A, Cunha E, Piskin Y. 2000. Chemical modification of starch based biodegradable polymeric blends: effects on water uptake degradation behavior and mechanical properties. Polym Degrad. Stabil. 70:161-170. ISSN: 0141-3910

- Díaz X. 2017. Caracterización y optimización de una bandeja biodegradable a partir maíz, papa, soya y glicerol por el método de termoprensado [Tesis de pregrado]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 53 p.
- Din M, Ghaffar T, Najeeb J, Hussain Z, Khalid R, Zahid H. 2020. Potential perspectives of biodegradable plastics for food packaging application-review of properties and recent development. *Food Addit Contam: Part A*. doi: 10.1080 / 19440049.2020.1718219
- Dormer A, Finn D, Ward P, Cullen J. 2013. Análisis de la huella de carbono en la fabricación de plásticos. *Jou. Clea. Prod.* 51:133-141. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.01.014
- Ecoembes. 2015. Diagnóstico de envases y sistemas de envasado.
- El-Tanboly E, El-Hofi M, Khorshid. 2017. Recovery of cheese whey, a by-product from the dairy industry for use as an animal feed. *J nutri. hea. food eng.* ISSN: 2373-4310
- Espada L. 2016. Desarrollo de materiales bioplásticos proteicos con elevada capacidad de absorción de agua. [Tesis de doctorado]. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Esparza I., Jiménez N., Bimbela F., Ancín C., Gandía L. 2020. Fruit and vegetables waste management: Conventional and emerging approaches. Universidad pública de Navarra. España. Elsevier. doi: 10.1016 / j.jenvman.2020.110510
- [FAO]. Food and Agriculture Organization. 2003. Producción y protección vegetal. Capítulo IX: Residuos secos de los cultivos. ISBN: 92-5-304458-6
- [FAO]. Food and Agriculture Organization. 2015. Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction. USA: FAO. 8 p.
- [FAO]. Food and Agriculture Organization. 2017. Capítulo 3: Resúmenes de los productos básicos. Perspectivas agrícolas. doi: 10.1787/agr_outlook-2017-7-es
- [FAO]. Food and Agriculture Organization. 2017. Estimación de perdidas y desperdicios de alimentos en Uruguay: alcance y causas. Programa estratégico 4. Output 40202.
- [FAO]. Food and Agriculture Organization. 2019. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos. ISBN 978-92-5-131854-6
- González H. 2017. Codigestión anaerobia como alternativa de tratamiento de los efluentes agroindustriales en Zamorano [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras. 13-15 p.
- González M, Pérez S, Wong A, Bello R, Yañez G. 2015. Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia. *Rev. argentina de microbiología.* 47:229-235. doi: 10.1016/j.ram.2015.05.003
- González N, Silos H, Estrada J, Chávez J, Tejero L. 2016. Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Rev. mexicana de ciencias agrícolas.* 7(3). ISSN: 2007-0934
- Goñi I, García A, Saura F. 1997. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutri. Res. Carbohy.* 17:427-437. doi: 10.1016/S0271-5317(97)00010-9
- Goudarzi V, Shahabi I, Babaei A. 2017. Preparation of ecofriendly UV-protective food packaging material by starch/ TiO₂ bionanocomposite: characterization. *Int. J. Biol. Macromol.* 95:306-313. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2016.11.065

- Goudarzi V, Shahabi I. 2017. Photo-producible and photo-degradable starch/ TiO₂ bionanocomposite as a food packing material: development and characterization. *Int. J. Biol. Macromol.* 106:661-669. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.08.058
- Gudiel A, Cruz J, Cueva F, García M, Siguenza Y. 2018. Diseño de planta de producción para la obtención de platos biodegradables a base de estopa de coco en la provincia de Piura. [Tesis de pregrado] Perú: Universidad de Piura. 39-54 p.
- Guevara J. 2012. Sistema de producción de un empaque sustentable. [Tesis de pregrado]. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hidalgo E. 2012. Evaluación de un empaque biodegradable a partir de almidón modificado de yuca (*Manihot esculenta Crantz.*) con adición de capsaicina, sobre el desarrollo del fruto del plátano dominico hartón (*Musa AAB Simmonds*). [Tesis de pregrado]. Colombia: Universidad del Cauca. 39-43 p.
- Hernández D. 2015. Comportamiento frente al impacto de polímeros termoplásticos en aplicaciones aeronáuticas: caracterización mecánica del peek. [Tesis de pregrado]. España: Universidad Carlos III de Madrid. 39-61 p.
- Herrera M. 2016. Caracterización de desechos plásticos generados en la USFQ y estudio de factibilidad de la instalación de una planta de reciclaje para la producción de mesas móviles que se adapten a salas de cine del Paseo San Francisco. [Tesis de pregrado] Ecuador: Universidad San Francisco de Quito. 24 p.
- Honorio G. 2017. Empacado de verduras y frutas fresca. [Tesis de pregrado]. Perú: Universidad Nacional Agraria la Molina. 3 p.
- Ibarra D, Redondo J. 2011. Encuentro Colombiano de dinámica de sistemas: Modelo Sistemático para el manejo de Residuos sólidos en Instituciones educativas en Colombia. [Tesis de pregrado] Colombia: Universidad del Rosario.
- INTECO. 2014. Inte C197:2014. Método de ensayo para determinar las propiedades de tensión en plásticos. [Internet]. INTE 14-04-06:2014. [Consultado el 7 de Jun, de 2020]. inteco.org/shop/product/inte-c197-2014-metodo-de-ensayo-para-determinar-las-propiedades-de-tension-en-plasticos-1022?variant=979
- [ISO]. International Organization for Standardization. 2012. ISO 14855-1:2012. Determination of the ultimate anaerobic biodegradation of plastic materials under controlled composting conditions. Method by analysis of evolved carbon dioxide. Part 1: general method. ICS: 83.080.01/Plastics in general.
- [ISO]. International Organization for Standardization. 2015. ISO 20200:2015. Plastics. Determination of the degree of disintegration of plastic materials under simulated composting conditions in a laboratory-scale test. ICS: 83.080.01/Plastics in general.
- [ISO]. International Organization for Standardization. 2016. ISO 14853:2016. Plastics. Determination of the ultimate anaerobic biodegradation of plastic materials in an aqueous system. Method by measurement of biogas production. ICS: 83.080.01/Plastics in general.
- [ISO]. International Organization for Standardization. 2018. ISO 14852:2018. Determination of the ultimate anaerobic biodegradation of plastic materials in an aqueous system. Method by analysis of evolved carbon dioxide. ICS: 83.080.01/Plastics in general.

- [ISO]. International Organization for Standardization. 2018. ISO 14855-2:2018. Determination of the ultimate anaerobic biodegradation of plastic materials under controlled composting conditions. Method by analysis of evolved carbon dioxide. Part 2: gravimetric measurement of carbon dioxide evolved in a laboratory- scale test. ICS: 83.080.01/Plastics in general.
- [ISO]. International Organization for Standardization. 2019. ISO 14851:2019. Determination of the ultimate anaerobic biodegradation of plastic materials in an aqueous system. Method by measuring the oxygen demand in a closed respirometer. ICS: 83.080.01/Plastics in general.
- [ISO]. International Organization for Standardization. 2019. ISO 17556:2019. Plastics. Determination of the ultimate anaerobic biodegradation of plastic materials in soil by measuring the oxygen demand in a respirometer or the amount of carbon dioxide evolved. ICS: 83.080.01/Plastics in general.
- Jamróz E, Juszczak L, Kucharek M. 2018. Investigation of the physical properties, antioxidant and antimicrobial activity of ternary potato starch-furcellaran-gelatin films incorporated with lavender essential oil. *Biomac*. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.04.014
- Jamshidian M, Tehrany E, Imran M, Jacquot M, Desobry S. 2010. Poly-lactic acid: Production, applications, nanocomposites, and release studies. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 9(5). doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00126.x
- Jia, L. Evans, S. Van der Linden, S. 2019. Acciones motivadoras para mitigar la contaminación plástica. *Nature communications*. doi: 10. 4582.
- Jiménez A, Arrieta M, Samper M, Jiménez A. 2014. Combined effect of poly (hydroxybutyrate) and plasticizers on polylactic acid properties for film intended for food packaging. *J Polym. Environ.* 22:460–470. doi.org/10.1007/s10924-014-0654-y
- Jones A, Mandal A, Sharma S. 2015. Protein based bioplastics and their antibacterial potential. *J. Apl. Polym. Sci.* 18. doi: 10.1002/app.41931
- Kaisangsri N, Kerdchoechuen O, Laohakunjit N. 2014. Characterization of cassava starch based foam blanded with plant proteins, kraft fiber, and palm oil. *Carb. Pol.* 110:70-77. doi:10.1016/j.carbpol.2014.03.067
- Ketkaew S, Kasemsiri P, Hiziroglu S, Mongkolthananaruk W, Wannasutta R, Pongsa U, Chindaprasirt P. 2018. Effect of Oregano Essential Oil Content on Properties of Green Biocomposites Based on Cassava Starch and Sugarcane Bagasse for Bioactive Packaging. *J Polym Environ.* 26(1):311–318. doi:10.1007/s10924-017-0957-x.
- Khamsucharit P, Laohaphatanalert K, Gaviniertvatana P, Sriroth K, Sangseethong K. 2017. Caracterización de la pectina extraída de las cáscaras de plátano de diferentes variedades. *Tailandia*. doi: 10.1007 / s10068-017-0302-0
- Khezri S, Mehdi M, Emami N, Dehghan P. 2016. Whey: characteristics, applications and health aspects. *Int. J Adv. Biotechno Reser.* 7. ISSN: 0976-2612.
- Kim M, Moon Y, Tou J, Beiquan M, Waterland N. 2015. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *J Food Compost. Anal.* 49:19-34. doi.org/10.1016/j.jfca.2016.03.004
- Kissin Y. 2011. Elmendorf tear test of polyethylene films: mechanical interpretation and model. *Macromol. Mater. Eng.* 8. doi: 10.1002/mame.201000419

- Kollar, S. 2019. Por cada 3 toneladas de pece en el océano, 1 tonelada de plástico. [Internet] Milenio; [actualizado el 8 de nov. de 2019; consultado el 8 de nov. de 2019]. <https://www.milenio.com/ciencia-y-salud/3-kg-peces-oceano-1-kg-plastico>
- Kuxulkab. 2013. Revista de divulgación: División académica de ciencias biológicas. 19(36). ISSN: 1665-0514
- Landaverde A. 2018. Potencial energético de la biomasa residual de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano [Tesis de grado]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana. 11-15 p.
- Labeaga A. 2018. Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones. [Tesis de maestría] España: Universidad Nacional de educación a distancia. Facultad de ciencias. Departamento de química inorgánica e ingeniería química. 22-23 p.
- León T, Dopico D, Triana O, Medina M. 2013. ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar. Instituto cubano de investigaciones de los derivados de la caña de azúcar. La Habana, Cuba. 47(2):13-22. ISSN: 0138-6204
- Lizaga A. 2011. Guía de criterio de calidad y puntos de control en el diseño de envases y embalajes plásticos. AIMPLAS. Instituto Tecnológico del Plástico. Valencia, España.
- Louis A, Venkatachalam S. 2020. Energy efficient process for valorization of corn cob as a source for nanocrystalline cellulose and hemicellulose production. International J. Biol. Macromol. 260-269 p. doi: 10.1016 / j.ijbiomac.2020.06.276
- Males I. 2013. Estudio del efecto de aditivos oxo-degradables en los cambios estructurales de materiales nanoestructurados a basa de mezclas de LLDPE/COC con nanoarcillas. [Tesis de maestría]. México: Centro de investigación en química aplicada. 29-31 p.
- Mangaraj S. Yadav A, Bal L, Dash S, Mahanti N. 2019. Application of Biodegradable Polymers in Food Packaging Industry: A Comprehensive Review. J Packag. Technol. Sci. 3:77-96. doi: 10.1007/s41783-018-0049-y
- Marín F, Moreno M, Farías A, Villegas F, Rodríguez J, Van den Berg M. 2018. Modelación de la caña de azúcar en Latinoamérica. Estado del arte y base de datos para parametrización. European Commission. ISSN: 978-92-79-77322-8
- Medina, M. 2017. Evaluación y proyección financiera para determinar la viabilidad y rentabilidad de una empresa dedicada a la producción de empaques biodegradables. [Tesis de pregrado] México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Meneses J, Corrales C, Valencia M. 2008. Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Rev. EIA. ISSN 2463-0950.
- Meré J. 2009. Estudio del procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente. [Tesis de pregrado] Madrid: Universidad Carlos III de Madrid. 176 p.
- Meza P. 2016. Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad nivel de laboratorio. [Tesis de pregrado]. Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. 28-31 p.

- Miranda S, Garnica O, Lara V, Cárdenas G. 2004. Water vapor permeability and mechanical properties of chitosan composite films. *J. Chil. Chem. Soc.* 49(2). doi:10.4067/S0717-97072004000200013
- Montes L, Ruiz O, Acosta R, Garza E, Rodríguez G. 2018. Aprovechamiento de bagazo de caña de azúcar para obtención de furfural. *Inventio.* 14(34). ISSN: 2007-1760
- Morales J. 2013. Producción y caracterización de películas de almidón, glicerol y fibras de celulosa preparadas por tape casting. [Tesis de pregrado]. Brasil: Universidad Federal de Santa Catarina. 69-73p.
- Mugwagwa L, Chimphango A. 2020. Optimising wheat straw alkali-organosolv pre-treatment to enhance hemicellulose modification and compatibility with reinforcing fillers. *Int J Biol Macromol.* doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.09.147
- Murariu M, Dubois P. 2016. PLA composites: From production to properties. *Advanced drug delivery reviews.* 107:17-46. doi: 10.1016/j.addr.2016.04.003
- Navia D, Villada H, Ayala A. 2013. Evaluación mecánica de bioplásticos semirrígidos elaborados con harina de yuca. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial.* 2:77-84. ISSN: 1692-3561
- Navia D, Villada H. 2013. Impacto de la investigación en empaques biodegradables en ciencia tecnología e innovación. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial.* 11:173.180. ISSN: 1692-3561
- Nofar M, Sacligil D, Carreau P, Kamal M, Heuzey M. 2018. Poly (lactic acid) blends: processing, properties and applications. *Int J Biol Macromol.* doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.12.002
- [OAS]. Organization of American States. 2016. Sustainable alternative packing to replace the expanded polystyrene foam containers produced within the printing and packaging industry of Trinidad and Tobago. ISBN: 978-0-8270-6601-4
- [OECD]. Science, Technology and Industry Policy Papers. 2013. Policies for Bioplastics in the Context of a Bioeconomy. OECD Publishing, Paris. doi:10.1787/5k3xpf9rrw6d-en
- [OPEC]. Organization of the petroleum exporting countries. 2020. Monthly oil market report- may. Vienna, Austria. 3 p.
- [OPTI]. 2015. Observatorio de prospectiva tecnológica industrial. [Boletín] Sector transformador plástico. Vigilancia tecnológica. Madrid, España.
- Pereda M, Moreira M, Roura S, Marcovich N, Aranguren M. 2014. Bio-películas para el envasado de alimentos: proteínas y carbohidratos. *Asociación Argentina para el progreso de las Ciencias. Ciencia e Investigación.* 64(2): 35-51. ISSN: 0009-6733
- Postigo R. 2015. Evaluación de las propiedades mecánicas de compuestos biodegradables elaborados con ácido poliláctico (PLA) y reforzados con cascara de arroz. [Tesis de grado] Perú: Universidad de Piura. 33-36 p.
- Quigley P. 2009. Vida nueva para los plásticos. *ASTM Standardization news.*
- Reis R, Devilla I, Oliveir G, Correa P, Ascheri D, Souza A, Servulo A. 2014. Mechanical properties, permeability and solubility of films composed of yam starch and glycerol. *Inverciencia.* 39(6): 410-415. ISSN: 0378-1844
- [Remar]. Red energía y medio ambiente. 2011. Bioplásticos [sin lugar] [sin editorial]

- Rocha E, Rodríguez J, Martínez E, Refugio E, Leal A, Munive G. 2011. Estudio de la resistencia mecánica de materiales compuestos poliméricos reforzados con fibras de carbono. *Avances en ciencias e ingeniería*. 2(4):81-88. ISSN: 0718-8706
- Rodriguez L, Orrego C. 2016. Aplicaciones de mezclas de biopolímeros y polímeros sintéticos: revisión bibliográfica. *Revista Científica. Universidad Nacional de Colombia*. doi: 10.14483 / udistrital.jour.RC.2016.25.a9
- Roé A. 2015. Degradación de películas de polietileno oxo-biodegradables sometidas a termo-oxidación y composteo. [Tesis de doctorado]. México: Universidad Nacional Autónoma de México. 11-22 p. ISSN: 0378-1844
- Rydz J, Sikorska W, Kyulavska M, Christova Darinka 2018. Polyester-based (bio)degradable polymers as environmentally friendly materials for sustainable development. *Int. J Mol. Sci*. 16(1):431-46 p. doi: 10.3390/ijms16010564
- Sagnelli D, Hooshmand K, Kemmer GC, Kirkensgaard J., Mortensen, K., Giosafatto C., Holse M., Hebelstrup K., Bao J., Stelte W., Bjerre A., Blennow A. 2017. Bioplástico de amilosa reticulada: una alternativa plástica compostable basada en transgénicos. *Dinamarca. Int. J Mol. Sci*. 18 (10). doi: 10.3390 / ijms18102075
- Salmerón, I. 2019. Elaboración y caracterización de un material biodegradables utilizando desechos de lechuga de la planta poscosecha en la Escuela Agrícola Panamericana. [Tesis de pregrado] Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano
- Santos V. 2019. Estudio de la implementación de bolsas plásticas oxo biodegradables y su impacto social y ambiental en la ciudad de Loja. [Tesis de pregrado]. Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
- Siracusa V. 2012. Food Packaging permeability behavior: a report. *Int. J Poly. Sci*. doi: org/10.1155/2012/302029
- Song J, Murphy R, Narayan R, Davies G. 2009. Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. *The royal society. Biological Sciences*. doi: 10.1098/rstb.2008.0289.
- Souza V, Fernando A, Lopes A, Braz F, Pires J, Freitas P. 2017. Physical properties of chitosan films incorporated with natural antioxidants. *Industrial crops and products*. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.04.056
- Srinivasa P, Tharanathan R. 2007. Chitin/Chitosan-Safe, ecofriendly packaging materials with multiple potential uses. *Food Rev. Int*. 23:53-72 doi: 10.1080/87559120600998163
- Tharanathan R. 2003. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Mysore*. 14:71-78. doi: 10.1016 / S0924-2244 (02) 00280-7
- Tosin M, Weber M, Siotto M, Lott C, Degli Francesco. 2012. Laboratory test methods to determine the degradation of plastics in marine environmental conditions. *Frontiers in microbiology*. doi: 10.3389/fmicb.2012.00225
- UAQ. 2018. Síntesis informativa. Estudiantes de Querétaro crean bolsas de basura con restos de maíz. Universidad Autónoma de Querétaro.
- [UNE]. Normalización Española. 2015. UNE- EN 13432:2001. ICS: 13.030.99/otras normativas relativas a los residuos.

- [UNE]. Normalización Española. 2017. UNE- EN 14995:2007. ICS: 13.030.99/otras normativas relativas a los residuos.
- [UNE]. Normalización Española. 2019. UNE ISO 14855-2:2019. ICS: 83.080.01/Plásticos en general.
- Vargas J. 2015. Análisis e implementación del proceso de fabricación para una película biodegradable empleada en empaques multicapa. [Tesis de maestría]. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Velasteguí A. 2017. Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. Dominio de las ciencias. 3(2):506-525. ISSN: 2477-8818.
- Vilarinho, F.; Silva, A.; Vaz, F.; Farinha, J. 2017. Nanocellulose: a benefit for green food packaging. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 1526-1537 p. doi: 10.1080/10408398.2016.1270254.
- Villada H, Acosta H, Velasco R. 2008. Investigación de almidones termoplásticos, precursores de productos biodegradables. Información Tecnológica. 19(2): 3-14. ISSN: 0718-0764
- Wolff A. 2008. ABC en la sostenibilidad en los empaques. El empaque. [Sitio web]. [Consultado el 26 de nov del 2019] <http://www.elempaque.com/temas/ABC-de-la-sostenibilidad-en-empaques-I+4065429?pagina=2>
- Zhang Y, Liu Q, Rempel C. 2016. Processing and Characteristics of Canola Protein-based Biodegradable Packaging: A Review. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 58(3):475-485 p. doi: 10.1080/10408398.2016.1193463
- Zolfi M, Khodaiyan F, Mousavi M, Hashemi M. 2014. The improvement of characteristics of biodegradable films made from kefiran- whey protein by nanoparticle incorporation. Carbohydr. Poly. 109:118-125 p. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.03.018

7. ANEXOS

Anexo 1. Costos de insumos necesarios para la elaboración de materiales biodegradables

Material	Cantidad (unid)	USD/unidad
Ácido acético	300 mL	34.85
Ácido clorhídrico	350 mL	10.00
Almidón de maíz	500 gr	3.20
Glicerol	45 mL	8.10
Quitosano	90 mL	27.05

Anexo 2. Capacidad máxima de producción en base a las dimensiones del horno de convección y al estudio realizado por Salmerón (2019).

Descripción	Cantidad	Unidad de medida
Capacidad en máquina horneada	30	unidades
Tiempo de horneado	120	minutos
Tiempo de descarga	10	minutos
Total por cada ciclo	130	minutos
Bandejas producidas en 1 hora	13,84	unidades
Total de bandejas diarias	110	unidades

Anexo 3. Ficha técnica de equipos.

Ficha Técnica de Equipo			
Realizado por:	Tashiguano Vianca	Fecha:	28/8/2020
Equipo	Horno de secado	Modelo	FD 720
Fabricante	Binder	Marca	Binder
Características generales			
Función	De secado, calor y esterilización	Capacidad	741 Lts. / 195.8 gal
Fuente de calor	Eléctrico	Temperatura	min: 12 °C (54 °F) max: 300 °C (572 °F)
Descripción			
• Dimensiones: 100x57x130 cm • Convección forzada • Regulación de rejilla de aire de salida por control electromecánico • Controlador con pantalla LCD • 2 rejillas cromadas • Ahorro del 30% de consumo energético Dispositivo integrado de seguridad de temperatura con ajuste independiente			
Imagen de equipo			
			

Continuación Anexo 3.

Ficha Técnica de Equipo			
Realizado por:	Tashiguano Vianca	Fecha:	28/8/2020
Equipo	Molino de cuchillas	Modelo	Pulverisette 11
Fabricante	Fritsch	Marca	Fritsch
Características generales			
Función	Molino de rotor	Velocidad	2,000- 10,000 rpm
Fuente de calor	Eléctrico	Muestra	Sólido, semisólido, duro
Descripción			
• Trituración, homogenización y mezcla rápida • Capacidad útil hasta 1,400 mL • Ajuste de velocidad variable • Cuchillas de acero inoxidable 316 • Modo continuo, inverso e intervalo • Aplicación para materiales como alimentos, cartón, pellets, láminas, residuos, entre otros. • Fácil limpieza			
Imagen de equipo			
			

Continuación Anexo 3.

Ficha Técnica de Equipo			
Realizado por:	Tashiguano Vianca	Fecha:	28/8/2020
Equipo	Prensa	Modelo	Rosin
Fabricante	Rosin press	Marca	El cultivar
Características generales			
Función	Prensa hidráulica	Presión	20 Tn
Fuente de calor	Eléctrico	Muestra	Sólido, semisolido, duro
Descripción			
• Estructura robusta de acero inoxidable • Placas calefactoras de aluminio refrentado con un diámetro de 130 mm y espesor de 25 mm. • Las temperaturas de las placas para trabajo oscilan entre los 70 °C hasta 130 °C • Consumo de energía de 250 W • Patas de goma que permiten colocar la prensa en cualquier superficie • Retroceso automático • Peso aproximado de 50 kg			
Imagen de equipo			
			

Anexo 4. Cotización de equipos.



Tel: 2553-4894 / 2550-2489 Fax:(504) 2550-2374

www.labtechhn.com

E-mail: ventas@labtechhn.com

R.T.N 05019007060033

6 Ave. 5-6 Calle, S.O., Plaza Victoria, Local No. 23 San Pedro
Sula, Cortes, Honduras, C.A.

Cotización

EMPRESA/CONTACTO

Vianca Tashigvano

Fecha

Numero.

04/09/2020

18492

Forma de Pago

De Contado

Artículo	Cantidad	Unidad	Descripción	Precio	Total
9010-0311	1	Und	Horno de convección forzada, Modelo FD 720. 400Volt 50/60Hz Trifasica, rango temperatura ambiente hasta [°C] 300 Entrega: 5 a 6 Semanas despues de recibido pago anticipado 100%. Marca: BINDER Garantia: 1 año por desperfecto de fabrica. Precio en Lempiras, puesto en su laboratorio, incluye instalacion y capacitacion.	225,000.00	225,000.00T

Cotización valida por 30 días

Subtotal	HNL 225,000.00
IPSV (15.0 %)	HNL 33,750.00
Total	HNL 258,750.00

Continuación Anexo 4.



Scanco International S.A. COTIZACIÓN

Nuestra Referencia:

FR016SI 20

DATOS DEL PROVEEDOR:

DATOS DEL CLIENTE

Nombre del cliente: Zamorano
Dirección: Contacto: Honduras
Cargo: Teléfono:
Fax:
Email: vianca.tashigano@est.zamorano.edu

Nombre del proveedor: Scanco International S.A.
Dirección: Panamá, República de Panamá
Contacto en Scanco: Ignacio Rodríguez
Número de RUC: 1520780-1-851579
Teléfono: (508) 2215 3555
Fax: (508) 2215 3293
Móvil: (508) 6478-6280
Email: irodriguez@scancotec.com
Web Page: www.scancotec.com

INFORMACIÓN:

Transporte: Aéreo
CIP: ~~ba de cotización~~

Validez de la oferta: 15 días a partir de la fecha y Docencia

Segmento: Laboratorios de Investij

Moneda: USD Dólares Americanos

Términos de entrega ** Incoterms ICC 2020:
CIP Tequigalpa. Aeropuerto Toncontin.

País de Embarque: Alemania

Forma de Pago: 100% Prepago

Tiempo de entrega: De 8 a 8 semanas después de confirmado el prepago



Pulverisette 11

ÍTEM	NÚMERO DE PARTE DESCRIPCIÓN	UNIDADES	UNITARIO USD	TOTAL USD
1	11.3010.00 For 100 – 120 V/1~, 50/60 Hz, 1000 watt El Knife Mill PULVERISETTE 11 de funcionamiento silencioso es el mezclador de laboratorio ideal en calidad de la industria para una trituration y homogeneización muy rápida y suave de muestras húmedas, y grasas, así como de muestras secas, blandas, medianamente duras y fibrosas en segundos. El potente motor de hasta 1250 vatios de la PULVERISETTE 11 y su cuchillo especial, equipado con cuatro cuchillas, muelen muestras problemáticas rápidas y suaves con alto contenido de grasa o agua como carne, ositos de goma, chocolate o también muestras duras como pestañas para lavavajillas o juguetes. Esto lo convierte en un todoterreno perfecto con muchas ventajas para la preparación de muestras en los campos de los alimentos.	1	\$5 805,00	\$5 805,00
  Subtotal a transporta página siguiente: \$5 805,00				

Continuación Anexo 4.

ÍTEM	NÚMERO DE PARTE DESCRIPCIÓN	UNIDADES	UNITARIO USD	TOTAL USD
Subtotal transportado página anterior:				\$5 805,00
<u>Recipiente de molienda</u>				
2	11.3151.16 grinding vessel standard made Recipiente de molienda de plástico PC (Incluido con el instrumento)	1		Incluido
<u>Tapa del recipiente de molienda</u>				
3	11.3189.16 reduction sample pusher for dry, solid samples for Vario-Lid system with plunger6) El sistema Vario-Lid, de plástico PP, de libre ajuste para materiales de muestra sólidos y secos.	1	\$84,08	\$84,08
<u>Cuchilla de corte</u>				
4	11.3210.00 sickle knife with serrated La cuchilla de hoz con hojas dentadas de acero inoxidable es especialmente adecuada para la trituración de muestras especialmente fibrosas, duras o nerviosas.	1	\$857,01	\$857,01
5	11.3204.00 standard knife El cuchillo estándar con cuatro filos de corte del PULVERISETTE 11 (incluido con el instrumento) se puede utilizar para triturar casi todos los materiales.	1		Incluido
Sub Total:				\$6 746,09
GRAN TOTAL CIP:				\$6 746,09
Atentamente,				
Ignacio Rodríguez Asesor Técnico				