



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i3.1261>

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

*Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de
arracacia xanthorrhiza*

*Production of biodegradable plastic sheets from starch from arracacia
xanthorrhiza*

*Produção de folhas de plástico biodegradável a partir de amido de arracacia
xanthorrhiza*

Marco Raúl Chuiza-Rojas ^I
mchuiza@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1908-8033>

Adriana Isabel Rodríguez-Basantes ^{II}
adriana.rodriguez@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2532-6504>

Hanníbal Lorenzo Brito-Moína ^{III}
hbrito@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-7536-857X>

***Recibido:** 25 de abril de 2020 ***Aceptado:** 28 de mayo de 2020 * **Publicado:** 25 de junio de 2020

- I. Ingeniero Químico, Facultad de Ciencias de la ESPOCH, Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la ESPOCH (GIADE), Riobamba, Ecuador.
- II. Bioquímico Farmacéutico, Facultad de Salud Pública de la ESPOCH, Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la ESPOCH (GIADE), Riobamba, Ecuador.
- III. Ingeniero Químico, Facultad de Ciencias de la ESPOCH, Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la ESPOCH (GIADE), Riobamba, Ecuador.

Resumen

Los plásticos convencionales obtenidos a partir del petróleo tardan de 100 a 1000 años en degradarse, causando grandes impactos al ambiente, por lo que, se pretende con esta investigación sustituirlos por un material biodegradable, procedente de productos agrícolas como la Arracacia xanthorrhiza, para lo cual, se extrajo inicialmente su almidón por vía húmeda y seca, luego se realizó el análisis del almidón soluble, posteriormente se identificó las variables de proceso de elaboración (tiempo de secado, porcentaje de almidón y porcentaje de plastificante) y se realizó su caracterización físico-mecánica de los parámetros: solubilidad, espesor, humedad, biodegradabilidad, permeabilidad y las propiedades de tracción, identificando que la concentración óptima para la elaboración de las láminas de plástico biodegradable fue la que presentó las mejores características de elasticidad con un valor de 5,820 MPa y esfuerzo máximo con un valor de 0,66 MPa; también se estableció que el comportamiento y la estabilidad de este biomaterial frente a la humedad es un elemento relevante para el uso en la industria de alimentos, por otro lado, se determinó que es un producto amigable con el ambiente ya que después de las pruebas se determinó que tarda un tiempo de 30 días en degradarse.

Palabras claves: Zanahoria blanca; propiedades; almidón; láminas; plástico biodegradable.

Abstract

Conventional plastics obtained from petroleum take from 100 to 1000 years to degrade, causing great impacts to the environment, therefore, this research aims to replace them with a biodegradable material, coming from agricultural products such as Arracacia xanthorrhiza, for which, its starch was initially extracted wet and dry, then the soluble starch analysis was carried out, then the variables of the manufacturing process were identified (drying time, percentage of starch and percentage of plasticizer) and its physical characterization was carried out- mechanical parameters: solubility, thickness, humidity, bio degradability, permeability and tensile properties, identifying that the optimum concentration for the production of biodegradable plastic sheets was the one that presented the best elasticity characteristics with a value of 5,820 MPa and maximum stress with a value of 0.66 MPa; It was also established that the behavior and stability of this biomaterial against humidity is a relevant element for use in the food industry, on the other hand, it was determined

that it is an environmentally friendly product since after the tests it was determined that it takes 30 days to degrade.

Keywords: White carrot; properties; starch; sheets; biodegradable plastic.

Resumo

Os plásticos convencionais obtidos a partir do petróleo demoram de 100 a 1000 anos para se degradar, causando grandes impactos ao meio ambiente, portanto, esta pesquisa visa substituí-los por um material biodegradável, proveniente de produtos agrícolas, como Arracacia xanthorrhiza, para os quais, seu amido foi inicialmente extraído úmido e seco, em seguida foi realizada a análise de amido solúvel, identificadas as variáveis do processo de fabricação (tempo de secagem, porcentagem de amido e porcentagem de plastificante) e sua caracterização física-parâmetros mecânicos: solubilidade, espessura, umidade, biodegradabilidade, permeabilidade e propriedades de tração, identificando que a concentração ideal para a produção de chapas plásticas biodegradáveis foi a que apresentou as melhores características de elasticidade com um valor de 5.820 MPa e tensão máxima com um valor de 0,66 MPa; também foi estabelecido que o comportamento e a estabilidade deste biomaterial contra a umidade são um elemento relevante para uso na indústria de alimentos; por outro lado, foi determinado que é um produto ecológico, pois após os testes foi realizado determinou que leva 30 dias para se degradar.

Palavras-chave: Cenoura branca; propriedades; amido; folhas; plástico biodegradável.

Introducción

El plástico después de su invención ha sido utilizado a nivel mundial a partir de la mitad del siglo XX y desde entonces esta industria se ha desarrollado rápidamente, con la elaboración de una amplia gama de productos sintéticos que tiene buenas características y bajos costos, reemplazando a productos elaborados con otros materiales, para envasar y embalar alimentos manteniendo de esta manera intactas sus propiedades físico – químicas y microbiológicas (Vasco, 2008) durante el almacenaje, distribución y conservación, es por este motivo, que se ha incrementado su uso, pero por otro lado, constituye uno de los mayores problemas de contaminación al ambiente (Brito, 2007), ya que su tiempo de degradación va de 100 a 1000 años, también se debe mencionar que se han implementado programas de educación para el uso responsable del mismo, pero no se visualiza

Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza

una solución a corto plazo para reducir este problema. Por lo expuesto, esta investigación se enfoca en el desarrollo de biomateriales que sean biodegradables (Charro, 2015) y se destinen al uso en la industria de alimentos, asegurándose que el plástico (Brito & et al, Diseño y construcción de un extrusor tipo tornillo para la obtención de pellets plástico a partir de botellas recicladas, 2018) sea recuperable, reciclable o degradable, además que ayudan con la preservación y conservación de los productos frescos por más tiempo, es decir, evitando su rápida maduración, crecimiento de hongos sobre la superficie del mismo, de esta manera duplicando el tiempo útil, además de reducir las pérdidas económicas que esto representa para las industrias procesadoras y comercializadoras de alimentos.

Por lo expuesto, se ha realizado en primer lugar una investigación de tipo bibliográfica de las zonas productivas de *Arracacia xanthorrhiza* (Suquilanda), estableciendo que la población de los Andes ecuatorianos se caracteriza por usar sus productos agrícolas, constituyéndose en la fuente fundamental de su alimentación, esto se debe, a que ellos mantienen la agricultura tradicional, misma que es considerada como un espacio natural para la conservación de la biodiversidad de cultivos andinos (tubérculos y raíces), además que Ecuador en el año 2019 tiene un uso del suelo de 1439504 ha. de cultivos permanentes, 769 708 ha. transitorios y barbecho, 1985494 ha. Pastos Cultivados y 915843 ha. Pastos Naturales (INEC, 2019); identificando de esta manera que existe una alta producción de tubérculos (Jane, 1995), motivo por el cual, esta investigación propone la utilización del almidón (Brito & et al, Obtaining Yacon Flour (*Smallanthus sonchifolius*), 2019) de productos agrícolas (*Arracacia xanthorrhiza*) para la elaboración de Biomateriales (Castillo & et al, 2015), como las láminas de plástico biodegradables que serán utilizados como embalaje de alimentos, de esta manera se dinamizará la economía de los pequeños agricultores (Medina, 2007), así como de la industria alimenticia, además de ser un producto amigable con el ambiente. Para lo cual, se procedió con la extracción del almidón (Brito & et al, 2019) por vía húmeda y seca con el 10,6% y 6,7% de rendimiento respectivamente, posteriormente se efectuó el análisis físico químico (NTE INEN, 1986), con un pH de 6,1; viscosidad de 1417,8 SP; ceniza 0,13%; temperatura de gelatinización de 61,13°C y la opacidad fue ligera, luego se determinó las variables de proceso para la fabricación de láminas de plástico biodegradable con un tiempo de secado de 3 horas a 60°C; el porcentaje de almidón del 20 al 40% y del 16% de glicerol que es un químico que ayuda a juntar las capas de polímeros para que la película sea elástica (Ávila, 2016); además se determinó que la

Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza

solubilidad es del 68%; espesor de 0,2mm; con el 21% de humedad (NTE INEN, 1986) y sus propiedades de tracción fue de 5,82 MPa en el módulo de elasticidad, con 0,66 MPa del esfuerzo máximo.

El biomaterial obtenido presenta características apropiadas para el embalaje de alimentos y otros productos, cumpliendo con los estándares de calidad establecidos en normas, además de que el tiempo de degradación es de 30 días, comportándose como un producto amigable con el ambiente y presentando una alternativa para reemplazar a las láminas de plástico tradicional.

Metodología

Se realizó el análisis organoléptico y sensorial de la *Arracacia xanthorrhiza*, luego se extrajo el almidón por vía húmeda, para lo cual, se lava, pela, y reduce el tamaño del tubérculo, se sumerge en una solución al 0,5% de meta bisulfito de sodio en agua destilada por 15 minutos, posteriormente se retira los pedazos del tubérculo de la solución y se procede a licuar 0,5Kg/L en agua destilada, a continuación se filtra, de manera que se separe los residuos para obtener una suspensión, se dejar reposar por un lapso de 8 horas para que se sedimenten los sólidos presentes en la solución, se separa el exceso de agua y se pesa el sedimento obtenido que es el almidón húmedo, mismo que se lleva a un equipo de secado (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias III, 2001) distribuyendo de forma homogénea en cada una de las bandejas del equipo, a continuación se pesa y se ubica en las bandejas del secador y cada 30 minutos se procede a sacar y pesar hasta llegar a un valor constante del peso, se procede a homogeneizar el almidón y separarlo con la ayuda de un tamiz (Brito H. , Texto Básico de Operaciones Unitarias I, 2000) de malla 106 μ m. Finalmente se almacena en recipientes herméticos y se mantiene a una temperatura de 22°C.

La extracción del almidón por vía seca, se la realiza rayando los tubérculos, de esta manera, se liberan sus gránulos, luego se efectúa un pre – deshidratado a las condiciones de temperatura de 45°C, eliminando de esta manera un 45% de humedad, a continuación se reduce el tamaño en el molino de bolas por 10 minutos con el propósito de facilitar la separación de los granos de almidón, se procede con el secado a una temperatura de 60°C hasta que su peso sea constante, se realiza la molienda y tamizado hasta llegar a una granulometría de 106 μ m y de igual manera al de la obtención del proceso en húmedo se almacena a una temperatura de 22°C.

Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza

El almidón de los dos procesos es analizado físico química y microbiológica (Betancur, 2008) por separado, luego se procede a la elaboración de las láminas de plástico biodegradable a una temperatura constante, variando la concentración de almidón y de plastificante y el tiempo, para lo cual, se efectuaron ensayos preliminares para establecer las condiciones y concentraciones óptimas para la elaboración de las láminas de plástico biodegradable, utilizando el método casting, de moldeo o vaciado en placa, a la temperatura de 60°C, por un lapso de 3 horas, realizando 3 repeticiones con cada variable de proceso, es decir, 20, 30, 40% de almidón y 12, 14 y 16% de plastificante; se prepara una solución de agua destilada–almidón en un vaso de precipitación, con los porcentajes establecidos, la mezcla se coloca en un reverbero que se encuentre protegido con una malla metálica, se enciende el equipo y se agita la solución hasta que alcance una textura de gelatinización, se agregar el glicerol como plastificante, así como también el ácido acético como conservante, se agita hasta llegar a homogenizar la mezcla y se deja enfriar, se ubica en un molde formato A4 de acrílico y se lleva al secador de bandejas tipo armario a 60°C hasta obtener las láminas de plástico biodegradable 0,2mm de espesor.

Resultados y Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos se determina que el mejor método de extracción del almidón se da por el proceso de vía húmeda, alcanzando el 10,6% en relación con el 6,7% del de vía seca, esto se da por la solubilidad que tiene el almidón en la presencia de agua.

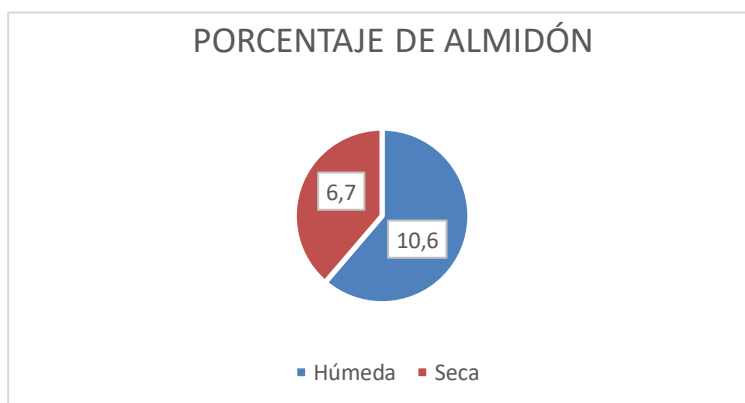
Tabla 1: Porcentaje de almidón presente en base seca y húmeda

No.	VÍA	PORCENTAJE (%)
1	Húmeda	10,6
2	Seca	6,7

Fuente: Parra, J./Brito, H., Lab. Procesos Industriales, 2019

Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza

Gráfico 1: Diagrama de métodos de extracción de almidón



Fuente: Brito, H., Lab. Procesos Industriales, 2019

Tabla 2: Amilosa y Amilopectina en el almidón

No.	ENSAYO	PORCENTAJE (%)
1	Amilosa	10,94
2	Amilopectina	89,06

Fuente: Parra, J./Brito, H., Lab. Procesos Industriales, 2019

El valor de amilosa presente en la *Arracacia xanthorrhiza* es del 10,94 %, mismo que es bajo, por lo que, se necesitará mayor cantidad de almidón para la elaboración de las láminas de plástico.

Tabla 3: Pruebas físico- químicas del almidón extraído

N	ENSAYOS	UNIDAD	ALMIDÓN	REFERENCIA	NORMA
1	Ceniza	%	0,12	≤ 0,12	AOAC (Association of Official Analytical Chemists) 942.05
2	Solubilidad		✓	Ligera opalencia	INEN 1456*
3	pH		6,07	6,00 – 7,00	INEN 1456
4	Viscosidad	SP	1417,77	840 – 1500	ISI 17-1 del Internatinal Starch Institute
5	Temperatura gelatinización	°C	61,125	---	INEN 1456

Fuente: Parra, J./Brito, H., Lab. Procesos Industriales, 2019

*Reactivos para análisis. Almidón soluble. Métodos de ensayo

Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza

De las pruebas físico químicas realizadas al almidón extraído, se determina que los valores de los parámetros obtenidos cumplen con los de referencia de la norma, por lo que, es una materia prima apta para el uso en la fabricación de láminas de plástico biodegradables.

Tabla 4: Porcentajes de mezcla para las láminas de plástico

No.	MATERIAL (%)	
	Almidón	Glicerina
1	20	12
2	20	14
3	20	16
4	30	12
5	30	14
6	30	16
7	40	12
8	40	14
9	40	16

Fuente: Parra, J./Brito, H., Lab. Procesos Industriales, 2019

Para la elaboración de las láminas de plástico biodegradable se efectuaron pruebas macroscópicas de esta manera identificando que el porcentaje óptimo de almidón es de 20 y 40%, así como de plastificante de 12 y 16% respectivamente, que deben ser utilizados en la producción de este material biodegradable.

Tabla 5: Espesor de las láminas de plástico

No.	ESPESOR (mm)
1	0,17
2	0,19
3	0,17

Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza

4	0,20
5	0,16
6	0,17
7	0,17
8	0,16
9	0,19
10	0,27
11	0,20
12	0,16
13	0,24
14	0,22
15	0,21
16	0,32
17	0,24
18	0,24
PROMEDIO	0,20

Fuente: Parra, J./Brito, H., Lab. Procesos Industriales, 2019

Es espesor promedio de las láminas de plástico biodegradables obtenidas es de 0,02mm; valor que se encuentra dentro de los límites establecidos en la norma INEN 2635 para el uso de embalaje de alimentos.

Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza

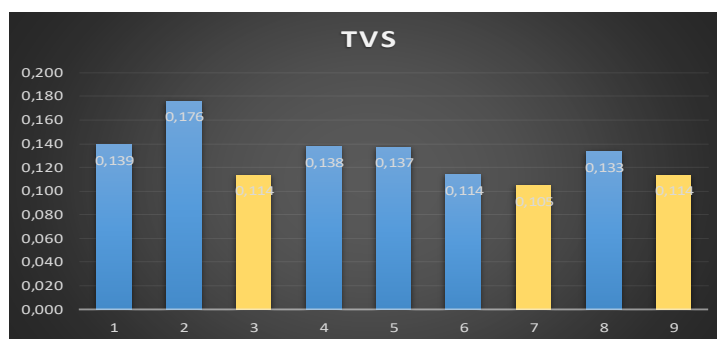
Tabla 6: Permeabilidad al vapor de agua

No.	TVS (mm.g/h)
1	0,139
2	0,176
3	0,114
4	0,138
5	0,137
6	0,114
7	0,105
8	0,133
9	0,114

Fuente: Parra, J./Brito, H., Lab. Procesos Industriales, 2019

Los valores de permeabilidad al vapor de agua obtenidos son ligeramente mayores en comparación con los del estudio de Charro, 2015, esto se debe al poder hidrofílico del plastificante ya que deja espacios intermoleculares que son ocupados por las moléculas de agua; el producto obtenido con las mejores características es el que cumple con los valores de menores de TVS (0,114; 0,105 y 0,114).

Gráfico 2: TVS de las láminas de plástico



Fuente: Brito, H., Lab. Procesos Industriales, 2019

Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza

Tabla 7: Solubilidad del biomaterial

No.	SOLUBILIDAD (%)
1	66,98
2	63,91
3	67,00
PROMEDIO	65,96

Fuente: Parra, J./Brito, H., Lab. Procesos Industriales, 2019

La solubilidad promedio de 65,96% de las láminas de plástico biodegradable, según Trujillo 2014 en su estudio “Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca”, menciona que para valores menores al 70% son utilizados en embalaje de alimentos, y valores mayores son empleados como recubrimientos solubles de cápsulas en el área de medicina, por lo que, este resultado indica que este biomaterial es adecuado para el embalaje de alimentos.

Tabla 8: Propiedades de tracción de las láminas de plástico

No.	MUESTRA PORCENTAJE (ALMIDÓN – GLICERINA)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	ESFUERZO DE FLUENCIA (MPa)
1	20 – 16	5,820.E+00	0,66	0,63
2	40 – 12	1,005.E+00	0,54	0,52
3	40 – 16	2,092.E+00	0,72	0,19

Fuente: Parra, J./Brito, H., Lab. Procesos Industriales, 2019

Las láminas de plástico biodegradable que presentaron mejores características para el uso como embalaje para alimentos fue la que presentó mayores valores en las propiedades de tracción y es el de la mezcla de 20% de almidón y 16% de glicerina.

Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza

Tabla 9: Ensayos de biodegradabilidad

No.	MUESTRA PORCENTAJE (ALMIDÓN – GLICERINA)	PESO INICIAL (Kg)	SEMANA			
			1	2	3	4
1	20 – 16	0,1152	✓	✓	✓	–
		0,1438	✓	✓	✓	–
2	40 – 12	0,3584	✓	✓	✓	–
		0,1476	✓	✓	✓	–
3	40 – 16	0,095	✓	✓	–	–
		0,1349	✓	✓	✓	–

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos indican que en un lapso de 30 días las láminas de plástico se degradan, esto se debe a que la glicerina utilizada como plastificante tiene una propiedad hidrofílica que hace que su tiempo de degradación sea menor, además este biomaterial puede ser compostable, de acuerdo a lo citado en la norma INEN 2643 (Especificaciones para Plásticos Compostables), esto se debe, a su velocidad de degradación, misma que se puede comprar con otros materiales compostables como la madera, hojas, residuos de alimentos, etc.

Conclusiones

El rendimiento en la extracción del almidón por vía húmeda y seca es del 10,6% y 6,7% respectivamente.

El almidón extraído de la *Arracacia xanthorrhiza* cumple con los estándares de calidad de acuerdo a la norma INEN 1456 (Reactivos para análisis. Almidón soluble. Métodos de ensayo), cuyos valores son: pH fue 6,07; viscosidad de 1417,77 SP; ceniza de 0,123% la temperatura de gelatinización es de 61,13°C y se obtuvo una ligera opacidad.

Las variables de proceso para la elaboración de láminas de plástico biodegradable tienen un tiempo de secado de 3 horas a una temperatura de 60°C; el porcentaje de almidón del 20 % y del 16% de

Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza

glicerol, la solubilidad del 68%; espesor de 0,2mm; con el 21% de humedad; también se determinó que las propiedades de tracción tienen un valor de 5,82 MPa en el módulo de elasticidad; 0,66 MPa del esfuerzo máximo y 0,52 MPa del esfuerzo de fluencia.

La prueba de biodegradabilidad según norma INEN 2643(Especificaciones para Plásticos Compostables), dio como resultado un tiempo de 30 días.

Referencias

1. APORTE NUTRICIONAL DE LA ZANAHORIA. (2011). En S. y. alimentos, Salud y buenos alimentos.
2. Ávila, R. (enero de 2016). Crean biopelículas para conservar los alimentos frescos por más tiempo. Obtenido de El empaque + conversión: <http://www.elempaque.com/temas/Crean-biopeliculas-para-conservar-los-alimentos-frescos-por-mas-tiempo+110438>
3. Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán. Ciencia y tecnología de los alimentos.
4. Brito, H. (2000). Texto Básico de Operaciones Unitarias I. Riobamba, Chimborazo, Ecuador: Docucentro ESPOCH.
5. Brito, H. (2001). Operaciones Unitarias II.
6. Brito, H. (2001). Texto Básico de Operaciones Unitarias III. Riobamba, Chimborazo, Ecuador: SE.
7. Brito, H. (2007). Texto Básico de Auditoría Ambiental. Riobamba.
8. Brito, H., & et al. (2016). Diseño y construcción de un liofilizador para el secado de la remolacha azucarera (*Beta vulgaris* var. *saccharifera*). Riobamba, Chimborazo, Ecuador.
9. Brito, H., & et al. (2016). Obtención de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado Mayorista del cantón Riobamba. doi:10.19044/esj.2016.v12n29p76
10. Brito, H., & et al. (2018). Diseño y construcción de un extrusor tipo tornillo para la obtención de pellets plástico a partir de botellas recicladas. XXXVI Congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental. Guayaquil.
11. Brito, H., & et al. (2019). Diseño de un proceso de producción industrial de almidón a partir de mashua (*Tropaeolum tuberosum*). La Ciencia al Servicio de la Salud y la Nutrición, 202-209.

Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza

12. Brito, H., & et al. (2019). Obtaining Yacon Flour (*Smallanthus sonchifolius*). *International Journal of Current Research and Academic Review*.
13. Castillo, R., & et al. (2005). Castillo, R; et al. *Biotecnología Ambiental*. Madrid.
14. Castillo, R., & et al. (agosto de 2015). Bioplástico a base de la cáscara del plátano. *Journal of undergraduate research*, 34 - 37.
15. Charro, M. (2015). Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata. Quito.
16. INEC. (2019). ESPAC. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
17. Jane, J. (1995). Propiedades, modificaciones y aplicaciones del almidón. *Journal of Macromolecular Science*.
18. Medina, J. (2007). Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo : Apariencia , forma , tamaño y su distribución. Bogotá.
19. Mendoza, R., & Velilla, W. (2011). Metodología para la caracterización termo-mecánica de películas plásticas biodegradables. Universidad Autónoma del Caribe, Repositorio Digital Institucional.
20. NTE INEN. (1986). NTE INEN 1456: Reactivos para análisis. Almidón soluble (para yodometría). Métodos de ensayo. Quito, Pichincha, Ecuador.
21. Suquilanda Valdivieso, M. (s.f.). Producción orgánica de cultivos andinos. Quito.
22. Suquilanda, M. (s.f.). Producción orgánica de cultivos andinos . Quito.
23. Vasco, V. (2008). Determinación de parámetros físico - químicos de zanahoria amarilla (*Daucus carota*) como base para el establecimiento de la norma de requisitos. Riobamba.