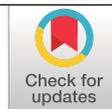


EFFECTO DE BOLSAS BIODEGRADABLES EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL CAFÉ EN EL ALMÁCIGO

Jhon Félix Trejos Pinzón  *, José Raúl Rendón Sáenz  **, Bernardo Rivera Sánchez  ***

Trejos-Pinzón, J.F., Rendón-Sáenz, J.R., & Rivera-Sánchez, B. (2023). Efecto de bolsas biodegradables en el crecimiento y desarrollo del café en el almácigo. *Revista Cenicafé*, 74(2), e74204. <https://doi.org/10.38141/10778/74204>



La utilización del plástico en la agricultura genera desechos que se convierten en contaminantes ambientales y visuales. Esta problemática tiene importancia en la mayoría de los sistemas agropecuarios, entre ellos, el sector cafetero, para el cual aún no existe la recomendación de implementar el uso de materiales con propiedades de biodegradación en el almácigo. Con el propósito de estudiar alternativas de bolsas biodegradables, se evaluaron 10 tipos de bolsas en la Estación Experimental Naranjal de Cenicafé (Chinchiná, Caldas). Durante la etapa de almácigo se determinó la materia seca de las plantas y la resistencia de las bolsas nuevas y usadas al esfuerzo mecánico con el equipo INSTRON. La materia seca evaluada en 30 plantas por tratamiento no mostró diferencias significativas para las variables peso seco de raíz, tallo, hojas y peso total, en las dimensiones de bolsa 13 x 21 cm. Por el contrario, con la dimensión de bolsa 17 x 23 cm se identificaron diferencias entre tratamientos. Las pruebas de resistencia al esfuerzo mecánico de rotura por tracción indicaron que existen bolsas biodegradables con resistencia cercana o superior a los promedios registrados en el testigo de polietileno. Los resultados permiten concluir que no existen diferencias en el crecimiento y desarrollo de las plantas durante la etapa de almácigo entre los diferentes tipos de bolsas utilizados.

Palabras clave: Pruebas de resistencia, materia seca, altura de planta, café, Cenicafé.

THE EFFECT OF BIODEGRADABLE BAGS ON COFFEE GROWTH AND DEVELOPMENT DURING THE SEEDLING STAGE

The use of plastic in agriculture leads to the generation of waste, which poses environmental and visual pollution challenges. This issue is significant across various agricultural systems, including the coffee industry, where there is currently no established recommendation for adopting biodegradable materials during seedling. To explore potential alternatives for biodegradable bags, an evaluation of 10 different bag types was conducted at the Cenicafé Naranjal Experiment Station in Chinchiná, Caldas. During this seedling stage, the dry matter of the plants was measured and the resistance of both new and used bags to mechanical stress was assessed using INSTRON equipment. The analysis of dry matter in 30 plants per treatment did not reveal significant differences in variables such as the dry weight of the root, stem, leaves, and total weight when using bags with dimensions of 13 x 21 cm. However, differences among treatments were identified when using bags sized 17 x 23 cm. Furthermore, the resistance tests for mechanical stress, including traction and breakage, indicated the presence of biodegradable bags with resistance levels close to or even surpassing those observed in the control group using polyethylene bags. These findings suggest that there are no discernible differences in the growth and development of plants during the seedling stage when utilizing different types of bags.

Keywords: Resistance tests, dry matter, plant height, coffee, Cenicafé.

* Asistente de Investigación. Disciplina de Experimentación, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-2349-2856>

** Investigador Científico I. Disciplina de Fitotecnia, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-5676-4670>

*** Profesor Titular (Producción Agropecuaria), Universidad de Caldas. <http://orcid.org/0000-0003-1616-5507>



El uso del plástico en la agricultura ha generado, por siglos, desechos que se transforman en contaminación del suelo y el agua. Se estima que cada año en el mundo se consumen cinco billones de bolsas plásticas y que para 2050 habrá una producción de 12.000 toneladas de plástico (UNEP, 2018). De acuerdo al Sistema de Información de Hogares Cafeteros (FNC, 2021), mediante la aplicación de una encuesta a 2.477 productores de café, por muestreo probabilístico representativo de los 545.279 hogares cafeteros, se identificó que el 42% de los hogares realizan la quema de los residuos sólidos generados en sus predios, 22% utilizan el servicio de aseo, 12% los entierran y el 11% respondieron que arrojan al patio, lote o zanja sus residuos sólidos. Así mismo, en el caso de la población cafetera, se encontró que, si bien los hogares no vierten los residuos sólidos a las fuentes hídricas, existe una alta proporción (42%) que los eliminan principalmente mediante quemas, lo cual se explica por la baja cobertura de los servicios de recolección de basura en las zonas cafeteras (22%) (FNC, 2021). Con base en el escenario anterior, Colombia inició la legislación para la disminución sistemática del uso de plásticos. La Ley 2232 de 2022 establece la prohibición en el territorio nacional, a partir del año 2030, la fabricación, importación, venta y distribución de plásticos de un solo uso, así como disposiciones que permiten su sustitución y cierre de ciclos, para controlar la contaminación y proteger el medio ambiente y la salud de los seres vivos (Congreso de la República, 2022).

En los sistemas de producción de café, la obtención de plántulas para la renovación por siembra requiere contenedores que permitan buenas condiciones de desarrollo, hasta el momento de realizar el trasplante definitivo en el campo (FNC, 2013). El proceso de producción de almácigos inicia una vez las chapolas, provenientes del proceso de germinador, han

alcanzado el estado de trasplante (+/- 75 días). El crecimiento y desarrollo normal de la raíz del colino de café está limitado por el tamaño de la bolsa. Según Gaitán et al. (2011) se recomienda utilizar bolsas de 17 cm de ancho por 23 cm de alto, con capacidad para 2,0 kg de sustrato, dado que permiten mantener en buen estado los colinos hasta por seis meses, sin que la raíz se salga de la bolsa. Cuando se utilizan bolsas de menor tamaño (13 x 17 cm o 13 x 21 cm, con capacidad de 1,0 a 1,5 kg), solo permiten un adecuado crecimiento de la raíz durante los primeros cuatro a cinco meses.

Distintos estudios han sido realizados para la identificación de alternativas al uso tradicional de polietileno. Sandoval (2014) realizó pruebas de biodegradación en bolsas oxobiodegradables, utilizando compost maduro seco, con aireación y simulando condiciones ambientales de humedad y temperatura de un relleno sanitario. Los hallazgos de la investigación permitieron identificar que el aditivo pro-oxidante que se incorpora en las bolsas produce una fragmentación acelerada del producto cuando actúan cantidades de radiación UV, calor y/o esfuerzos mecánicos suficientes, demostrando que en las muestras existió esta etapa de degradación llegando a la pérdida de sus propiedades. La cuantificación de la degradación de las bolsas oxobiodegradables fue realizada a través de la evaluación de las propiedades físicas, mecánicas, térmicas y espectroscópicas, con lo cual se comprobó que las muestras sometidas a experimentación presentaron un inicio de degradación donde existió disminución en el peso molecular, espesor y resistencia a la tracción y formación de grupos carbonilos por oxidación.

En el análisis de la degradación, desintegración y biodegradabilidad de las bolsas de poliéster y almidón en compostaje

de residuos urbanos, a escala de laboratorio industrial, se encontró que las bolsas de poliéster con base de almidón, certificadas según la norma: UNE EN 13432:2001, alcanzaron el 94,3% de desintegración en la etapa de compostaje de fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) con pila volteada; y el 86,3% en la planta de compostaje FORSU con túnel estático, sin diferencias significativas entre técnicas de compostaje (Fernando de Fuentes, 2015).

El método de prueba estándar para las propiedades de tracción de los plásticos está diseñado para producir datos de propiedades de tracción para el control y especificación de materiales plásticos (ASMT D638 – 14). Son varias las propiedades de materiales que pueden ser determinadas a partir de la medición de la fuerza necesaria para colocar una muestra del ensayo hasta llegar a su punto de ruptura (D20 Committe, 2020). Granda y Ramos (2019) realizaron un estudio sobre la resistencia a la tracción y deformación de bioplásticos obtenidos a partir del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) a diferentes porcentajes de plastificante (glicerina), determinando que la resistencia mecánica y la deformación en tracción de bioplásticos para el 12,0% de glicerina alcanza una resistencia a la tracción de 0,17 Mega pascal (Mpa), con un porcentaje de deformación de 13,3%. Así mismo, se identificó que la resistencia mecánica y deformación en tracción de bioplásticos obtenidos a diferentes niveles de porcentaje en peso de glicerina, siendo la máxima de 2,57 MPa para un 3,0% de glicerina y la mínima de 0,17 MPa para el 12,0% del mismo. En cuanto a deformación, se alcanzó a 44,7% de deformación al 3,0% de glicerina y a 13,3% a un 12,0% de glicerina (Granda y Ramos, 2019).

Archila y Figueroa (2017) refieren ensayos de compresión y flexión realizados en

materiales plásticos reciclados, evidenciando un comportamiento elásticamente alto, asociado como un material dúctil, permitiendo llegar a una gran deformación sin fracturarse, dando tiempo para percibir las deformaciones que en él se presentan, con valores de resistencia de 8,9 y 13,0 MPa, respectivamente. El plástico reciclado es un material viscoelástico, cuyas propiedades mecánicas dependen de la temperatura, del tiempo y están sujetas a deformaciones permanentes (fluencia) bajo cargas continuas. Los autores concluyen que este tipo de plásticos, usados como contenedores de suelo y otros materiales, puede ser una opción viable, si no presentan cargas fuertes continuas.

Toala y Sarmiento (2019) reportan el aprovechamiento de los residuos del café y maíz para la elaboración de bolsas biodegradables. El tratamiento compuesto de 85% *Zea mays* (maíz) y 15% *Coffea arabica* (café), con solubilidad de 16%, presentó una biodegradación mayor a 70% en seis semanas de monitoreo, con elongación de 28,0% y resistencia de 0,66 MPa. No obstante, no cumple los requisitos físicos (elongación y tracción) que estipula la norma INEN 2290 2015-12 de fundas plásticas para residuos y desechos sólidos. De otra parte, Yamunaqué et al. (2018) diseñaron un sistema para la obtención de bolsas biodegradables a partir de almidón de yuca, como estrategia para promover una conciencia verde, amigable con el medio ambiente. Lleras y Moreno (2001) evaluaron en condiciones de almacigo y de campo, materiales biodegradables para la fabricación de bolsas de almácigos de café, los resultados indican que esta práctica es inviable económicamente para los caficultores; las estructuras fabricadas con cartón podrían resistir en promedio ocho meses, mientras que las fabricadas con tela de orlón resistirán hasta 10 meses. Para las variables peso fresco, seco y altura de la planta, no hubo diferencias al final del proceso.

En la Tabla 1 se presentan las características de los materiales de fabricación de los diferentes tipos de bolsas con potencial para ser utilizadas en la elaboración de almácigos, con información suministrada por las industrias fabricantes.

Es evidente que las bolsas plásticas derivadas del petróleo producen contaminación en las fincas cafeteras y no existe recomendación de nuevos materiales de bolsas biodegradables como alternativa para su uso en etapa de almácigo y siembra en el campo, que puedan sustituir las actuales. El propósito de la presente contribución es evaluar el efecto del uso de distintas alternativas de bolsas biodegradables en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café durante la etapa de almácigo, con el fin de reducir los impactos ambientales negativos del uso de bolsas de polietileno.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Estación Experimental Naranjal del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), ubicada en el municipio de Chinchiná (Caldas, Colombia) a 04°58' latitud N, 75°39' longitud W y 1.381 m de altitud, con una temperatura promedio de 21,7 °C, humedad relativa de 85% y una precipitación anual promedio de 2.656 mm. El nivel de esta investigación fue explicativo, utilizando el diseño de investigación experimental en una vía, con la que se aborda el fenómeno de estudio (exploratoria, descriptiva o explicativa).

Se evaluaron 10 tratamientos: seis tipos de bolsas con componente biodegradable, dos tipos de bolsas oxobiodegradables y dos bolsas testigos de polietileno de baja densidad (Tablas 1 y 2). Cada tratamiento

Tabla 1. Características de las bolsas con potencial para ser utilizadas en la elaboración de almácigos.

Almidón de yuca (Natpacking, 2022)	Ácido poliláctico (Plastipack, 2022)	PE reciclado con acelerante de biodegradación enzimática (Plastisol, 2022)	Biopolímero compostable (BASF, 2022)	Oxobiodegradable-D2W (Plastipack, 2022)	Polietileno de baja densidad
Degradación en 180 días	Resina 100% biodegradable	Elaborada con 100% plástico reciclado	Contiene un polímero compostable certificado	Contiene aditivo D2W para controlar la vida útil del plástico (dos a cinco años)	Obtenido a partir de la polimerización de etileno iniciada por radicales libres.
100% naturales	No absorbe olores	Aditivo biodegradable BioSphere	Aditivo Ecovio	Devuelve el carbono al ecosistema	Producir 1,0 kg de plástico requiere: 1,8 kg de petróleo, 412 L de agua, 3,5 kg CO ₂ emitidos
Hidrosolubles (80°C)	Puede ser desechado en orgánico	Biodegradación entre uno y cinco años	Resistente al estrés mecánico y humedad	Autodestrucción sin riesgo	
Libres de plástico	No agota recursos naturales		Biodegradable en compostajes	La degradación inicia a los 24 meses	
No tóxicas al consumo por animales					

(tipo de bolsa) estuvo conformado por 500 unidades experimentales (UE). La unidad experimental correspondió a una plántula de café variedad Castillo® sembrada en la respectiva bolsa. Las plántulas de las unidades experimentales correspondientes a los tratamientos del grupo-dimensión 2, se sembraron en octubre de 2019 y las correspondientes al grupo-dimensión 1 en noviembre de 2019, para garantizar la edad adecuada de siembra en el campo. El grupo – dimensión hace referencia al tamaño y la capacidad de las bolsas para contener un volumen de sustrato, con medidas de ancho y largo en centímetros. Para el llenado de las bolsas se utilizó una mezcla de suelo y abono orgánico (pulpa descompuesta) en relación 9:1 para todos los tratamientos. El manejo agronómico de las poblaciones en etapa de almácigo se realizó siguiendo las recomendaciones de Cenicafé.

En el primer muestreo (tiempo cero) se tomaron 20 bolsas nuevas de cada tratamiento y en el segundo muestreo, a los cinco y seis meses después de la siembra de las chapolas, cuando finalizó la etapa de almácigo, se seleccionaron de manera aleatoria 20 plantas para la evaluación de las bolsas. Para ello, se realizaron pruebas de resistencia a esfuerzo mecánico de rotura por tracción, correspondientes a los estándares ASTM 638 – 14 y la resistencia de los materiales a la fuerza estática o aplicada lentamente a través del equipo Instron. Las variables analizadas fueron: fuerza máxima de tracción (N), desplazamiento a la fuerza máxima (mm), tenacidad a la ruptura (N/tex) y módulo de Young o de elasticidad (Mpa). Se utilizaron probetas de dimensiones normalizadas, a partir de las placas de 19 mm de espesor y 115 mm de largo (rectangular), según las dimensiones recogidas en la norma ASTM D638 – 14 (D20 Committee, 2020).

Tabla 2. Materiales, descripción, tratamientos y dimensiones de las bolsas utilizadas en el almácigo de café.

Material de fabricación de la bolsa	Grupo	Dimensiones	Tratamiento
Almidón de yuca	1	13 x 21 cm	1
Resina de ácido poliláctico		13 x 21 cm	2
Polietileno/testigo		13 x 21 cm	3
Polietileno reciclado con acelerante de biodegradación enzimática		13 x 21 cm	5
Biopolímero compostable		15,5 x 21 cm	6
Biopolímero compostable		12,5 x 20,5 cm	10
Oxobiodegradable–D2W 2 al 3% baja densidad	2	17 x 23 cm	7
Oxobiodegradable–D2W 1 al 2% baja densidad		17 x 23 cm	8
Almidón de yuca		17 x 23 cm	9
Polietileno/testigo		17 x 23 cm	11

La propiedad mecánica resistencia a la tracción determina la aptitud o capacidad para resistir las fuerzas externas de un material plástico. Para la evaluación se registraron los tiempos: sin uso (nuevas) o con uso a los cuatro, cinco y seis meses después del establecimiento del almácigo (usadas), sometiendo las bolsas a la fuerza por tracción a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta producir la rotura, en el equipo Instron (ATSM D368 – 14). En esta prueba se midió la deformación (alargamiento) de la probeta entre dos puntos fijos, en la medida que se incrementa la carga o fuerza aplicada (INSTRON, 2022).

Para cada muestreo y tratamiento se obtuvo el promedio y error estándar de las variables de interés. Para cada fecha de muestreo se realizó el análisis de varianza con cada una de las variables y para aquellas que indicaron efecto de tratamientos, se aplicó prueba de Dunnett al 5% para determinar las diferencias del peso seco total de las plantas de almácigo con respecto a los tratamientos 3 y 11 (bolsas de polietileno).

En la evaluación del crecimiento y desarrollo de las plantas, de cada tratamiento se seleccionaron 30 plantas al finalizar la etapa de almácigo y se determinó: la altura de plantas desde la base del tallo hasta el ápice (cm), la materia seca de la raíz (g), materia seca de las hojas (g) y la materia seca total de la planta (g). Para cada tratamiento y variable de respuesta se estimó el promedio con su respectivo intervalo, con un coeficiente de confianza del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pruebas de resistencia de las bolsas en la etapa de almácigo

Según los resultados que se presentan en la Figura 1, mientras el testigo de polietileno

registró valores de 14,2 N en bolsas nuevas y 11,5 N en bolsas usadas, el tratamiento 1 (almidón de yuca) empleó una fuerza de 13,8 y 13,7 N hasta sufrir deformaciones, en bolsas nuevas y usadas, respectivamente (Figura 1). Así mismo, el tratamiento 6 (biopolímero compostable) presentó valores de 5,7 y 3,5 N, en bolsas nuevas y usadas, respectivamente.

En la Figura 1, salvo en el tratamiento 9 (almidón de yuca), los valores iniciales (nueva) son superiores a los valores en las bolsas después de ser usadas. Estos resultados son un indicador del proceso de deterioro y degradación sufrida por los diferentes materiales con algún tipo de biodegradación, una vez fueron sometidos a condiciones abióticas como: radiación solar, humedad, suelo, agua y otros factores bióticos como los microorganismos presentes en el suelo, fertilizantes y las arvenses. En este sentido, las mayores diferencias se presentan en las bolsas fabricadas con ácido poliláctico (tratamiento 2), cuyos valores de esfuerzo de tracción en bolsas nuevas fueron de 15 N, mientras que en las bolsas evaluadas luego del proceso de almácigo fueron de 4 N.

En el caso de las bolsas de polietileno (testigo), se registraron valores de desplazamiento a la fuerza máxima en bolsa nueva de 197 mm hasta su ruptura y pasados los seis meses, en almácigo, su alargamiento fue de 226 mm, en promedio (Figura 2). En el tratamiento 2 (resina de ácido poliláctico), la ruptura del material ocurrió a los 321 mm con la bolsa nueva, en tanto que la bolsa proveniente de almácigos de seis meses se alargó solamente 5 mm hasta su ruptura, indicando su alto valor de degradación.

La tenacidad a la fractura en forma indirecta, a partir de la energía absorbida por la rotura de las probetas, permitió identificar

que los diferentes materiales presentaron disminución en sus valores promedios entre bolsas nuevas y usadas. Las mayores diferencias para esta variable fueron registradas en los tratamientos 2 y 10 (Figura 3).

Selke et al. (2015) evaluaron el efecto de los aditivos que promueven la biodegradación sobre el polietileno (PE) y polietileno tereftalato (PET), utilizando compost, digestión anaeróbica y entierro en el suelo. No se

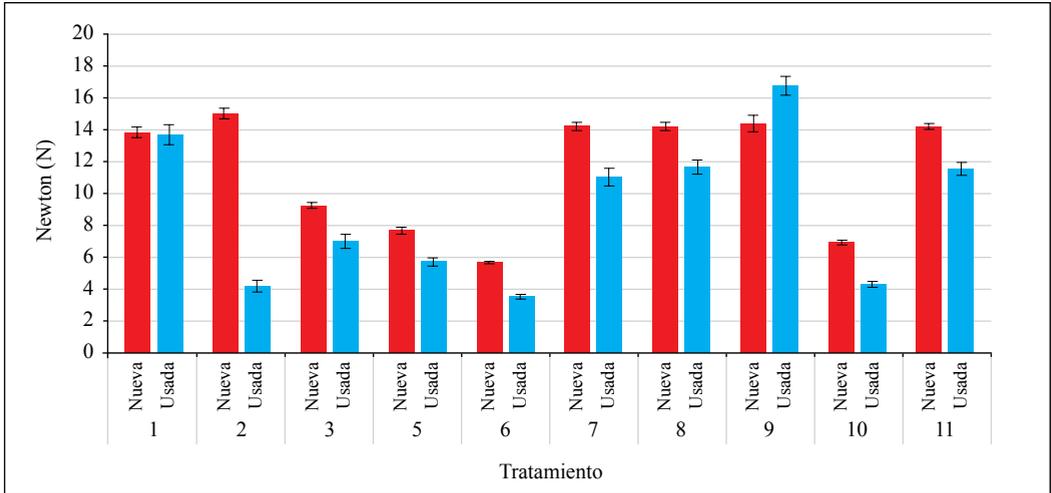


Figura 1. Fuerza máxima de tracción (Newton) empleada en bolsas nuevas y usadas.

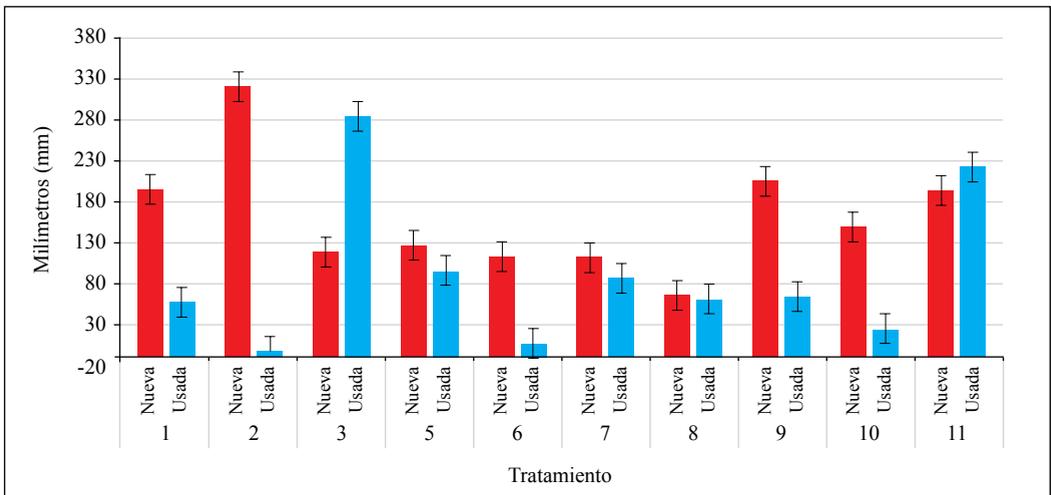


Figura 2. Desplazamiento a la fuerza máxima en bolsas nuevas y usadas (mm).

encontró evidencia de que estos aditivos promueven y/o mejoran la biodegradación de polímeros PE o PET. El hallazgo proporciona evidencia que la biodegradación anaeróbica y aeróbica no son recomendadas como rutas viables de eliminación de plásticos que contengan alguno de los promotores de la biodegradación aditivos (Selke et al., 2015). En esta investigación y mediante la tenacidad a la ruptura, se evidencia que las bolsas que contienen aditivos de biodegradación, tratamientos 5, 6 y 10, pueden incorporarse en procesos de biodegradación en compostaje industrializado (Figura 3).

El valor del módulo de Young o módulo de elasticidad indica la resistencia de los materiales a una extensión longitudinal reversible y constituye un parámetro útil para predecir hasta qué punto se estirará una pieza bajo una carga determinada. Todos los tratamientos, excepto el tratamiento 9 (almidón de yuca), presentaron valores promedios por encima de lo esperado en un polietileno de baja densidad (7 MPa). La resistencia que determina la norma ATSM D368 – 14 para plásticos está entre 14 y 140 MPa (D20 Committee, 2020).

El tratamiento 1 de almidón de yuca, tuvo valores opuestos y diferencias en los valores del módulo de elasticidad para las bolsas nuevas y usadas, pasando de 4 MPa a 9 MPa en promedio. Esto significa que, al aplicar un esfuerzo igual en ambos tiempos, la deformación es mayor en el material nuevo. Este tipo de material fabricado en almidón de yuca, al finalizar el proceso de almácigo y una vez el material fue extraído para la muestra y realización de la probeta, sufrió un proceso de endurecimiento o cristalización del material, aportando resistencia al momento de aplicar las fuerzas.

Los resultados de la Figura 4 son contrastantes con los reportados por Castellón et al. (2016), quienes determinaron para la resistencia a la tensión, antes y después de seis semanas de sometimiento a la degradación, un valor inicial menor en las bolsas degradables (23,4 MPa) comparado con el valor de las bolsas convencionales de polietileno (31,7 MPa). Esta es una de las principales desventajas de los materiales biodegradables, debido a que pierden versatilidad en sus aplicaciones. La resistencia a la tensión al cabo de seis semanas de exposición al ambiente fue 8,1 MPa para las bolsas degradables, disminuyendo en un 65%, y de 13,7 MPa para las bolsas convencionales, disminuyendo un 57% respecto al valor inicial.

Efecto sobre la altura de la planta en etapa de almácigo

El crecimiento de la planta con los diferentes tipos de bolsas, dimensiones y material de fabricación para la variable altura se presenta en la Figura 5. En el caso del tratamiento 9, en la dimensión de bolsa 2, se presentaron diferencias significativas, con un menor valor de altura de la planta en comparación con los demás tratamientos. Así mismo, para la dimensión de bolsa 2, el tratamiento 9 (almidón de yuca), presentó diferencias significativas con menor altura de la planta. Estudios realizados por Salazar (1991) presentan alturas promedio de 20 cm ($\pm 2,45$ cm) en plantas de café en etapa de almácigo, con 4 meses de edad, utilizando bolsas de dimensiones 17 cm x 23 cm. Estos resultados se aproximan a los reportados en esta investigación y confirman condiciones favorables para el crecimiento de las plantas en la mayoría de las bolsas evaluadas.

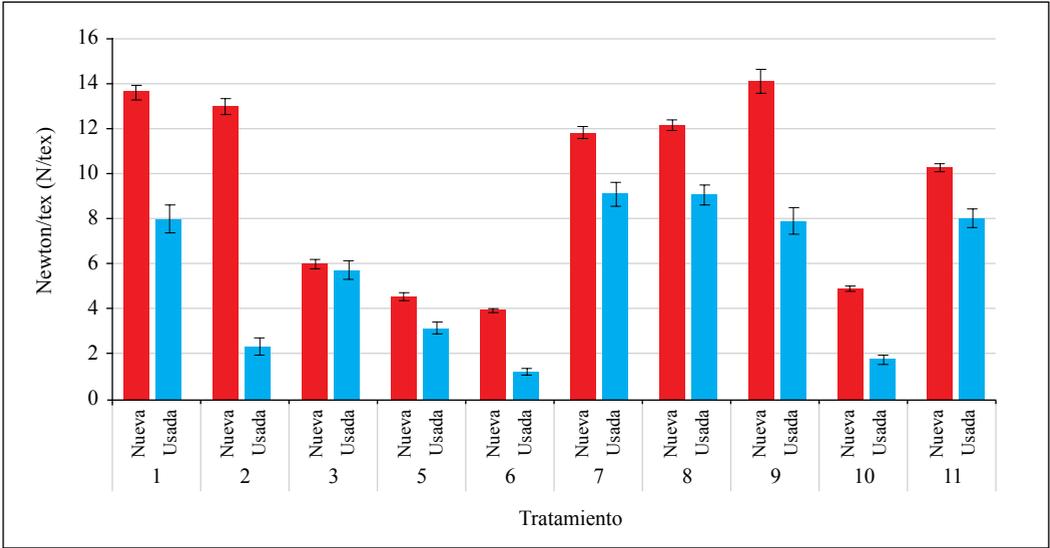


Figura 3. Tenacidad a la ruptura en bolsas nuevas y usadas (Newton/tex).

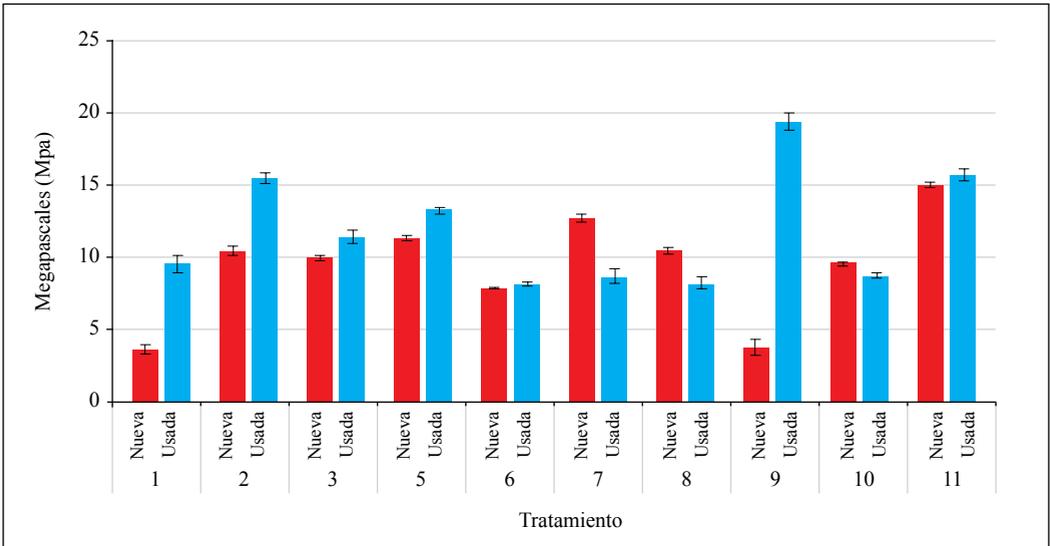


Figura 4. Valores del módulo de Young (módulo de elasticidad) para cada uno de los tratamientos (MPa).

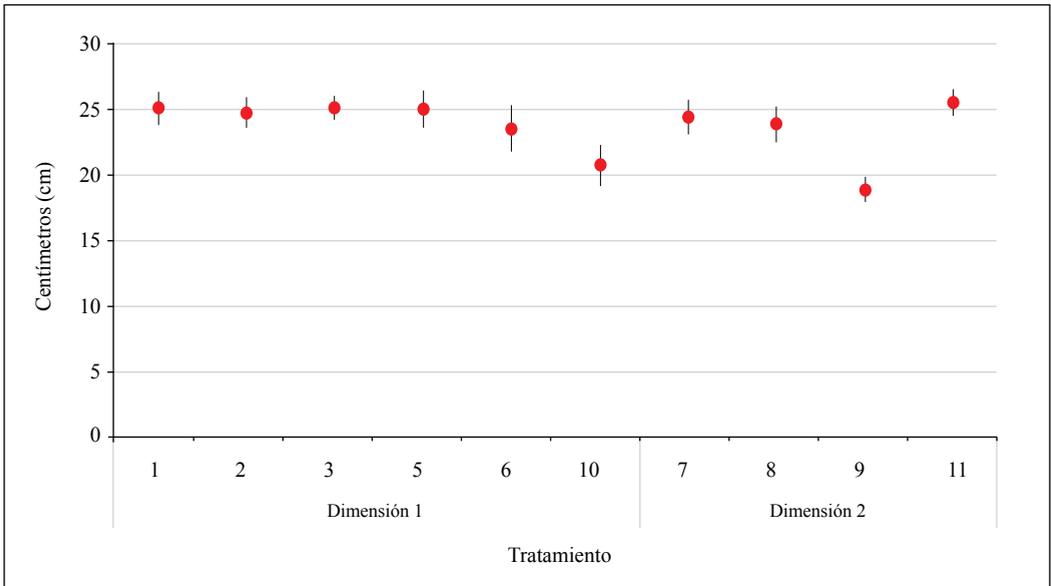


Figura 5. Promedio e intervalo de confianza para la variable altura de la planta (cm) y el efecto de la bolsa en etapa de almácigo.

Efecto sobre la materia seca de la raíz en etapa de almácigo

Las curvas de crecimiento de la planta de café en almácigo han mostrado un crecimiento proporcional entre el sistema de raíces y el desarrollo de la parte aérea. La comparación de los tratamientos mostró que: el peso seco de las raíces a los seis meses de almácigo en los tratamientos 2 y 10 expresaron diferencias significativas con relación al tratamiento testigo 3 en la dimensión 1 y el tratamiento 9, con relación al testigo 11 en la dimensión 2 (Figura 6).

El tratamiento 2 correspondiente con las bolsas de ácido poliláctico y el tratamiento 9 de bolsas provenientes de almidón de yuca, presentaron un promedio de 0,62 y 0,39 g de peso seco, respectivamente, y sus valores están relacionados con las bolsas que sufrieron un deterioro marcado

en el transcurso de la etapa de almácigo (Figura 7).

En este sentido Ávila et al. (2010) registraron en promedio, un peso seco de raíces de 0,8 g en respuesta a la aplicación de 2,0 g del fertilizante DAP (fosfato diamónico). Actualmente, en la etapa de almácigo se recomienda la aplicación de 2,0 g de DAP a los dos y cuatro meses después de la siembra de la chapola (Gaitán et al., 2011). En este orden de ideas y de acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, las bolsas de los tratamientos 5 y 6, polietileno con acelerante de biodegradación enzimática y polietileno de más de un uso con componente biodegradable, presentaron valores promedios de peso seco de las raíces de 0,8 g, similares a los reportados por Ávila et al. (2010). En los tratamientos con bolsas oxobiodegradables (17 cm x 23 cm) y polietileno de baja densidad (Testigo 17 cm x 23 cm) el peso seco de la raíz fue superior a 1,2 g/planta.

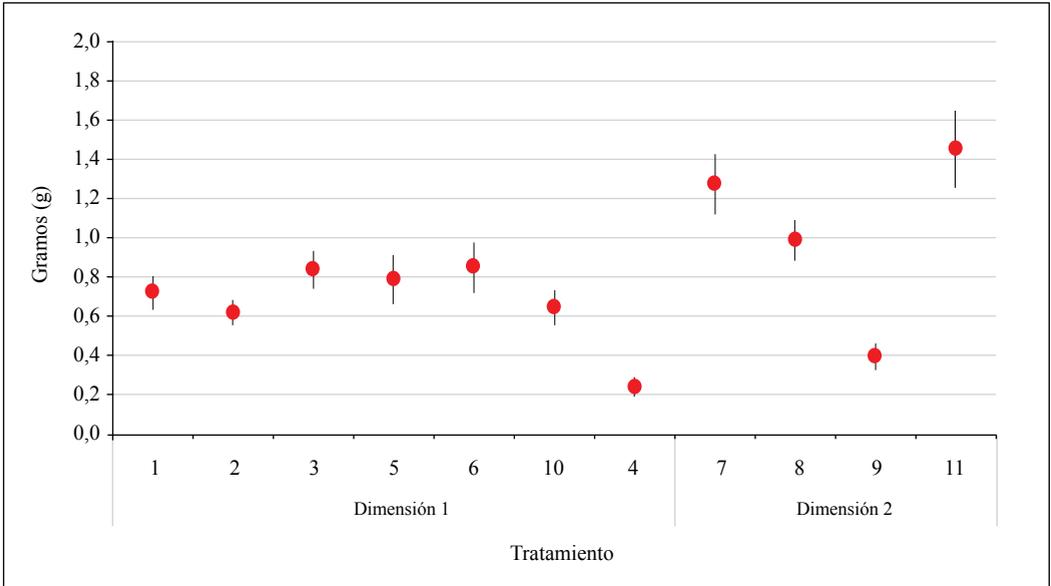


Figura 6. Promedio e intervalo de confianza para la variable peso seco de la raíz (g) y el efecto de la bolsa en etapa de almácigo.



Figura 7. Bolsa de ácido poliláctico (T2) y bolsa de almidón de yuca (T9).

Efecto sobre la materia seca de las hojas de la planta en etapa de almácigo

De cada nudo formado en el tallo se desarrollan dos hojas laterales durante la etapa de almácigo. En los primeros tres a cuatro nudos de una planta joven (almácigo) sólo brotan hojas, a partir de este, comienza a emitir ramas laterales originadas de yemas que se forman en las axilas superiores de las hojas (Arcila et al., 2001).

En el caso del peso seco de las hojas, los tratamientos de las bolsas pertenecientes a las dimensiones de 17 cm x 23 cm, mostraron diferencias significativas para el tratamiento 11, con 2,89 g, frente a los demás tratamientos (Figura 8).

Efecto sobre la materia seca total de la planta en etapa de almácigo

Los resultados de materia seca de 30 plantas por tratamiento indicaron que no existen diferencias significativas para las variables peso seco de raíz, tallo, hojas y peso total de las plantas en las bolsas de la dimensión 1 (13 cm x 21 cm) en los tratamientos 1, 2, 3, 5, y 6. Para el caso de la dimensión 2 (17 cm x 23 cm) se obtuvieron diferencias entre el tratamiento 9 (almidón de yuca) con relación al testigo (tratamiento 11) y entre los tratamientos 7 y 8. De las bolsas evaluadas en la dimensión uno, el tratamiento de las bolsas de biopolímeros compostables (10) fue menor con respecto al tratamiento de polietileno de baja densidad (3) según prueba de Dunnett.

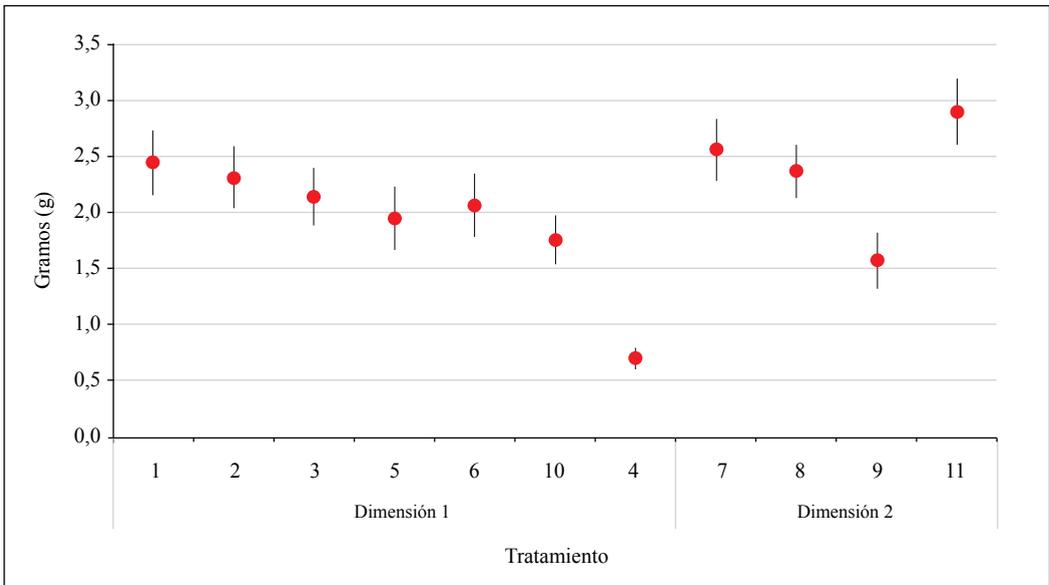


Figura 8. Promedio e intervalo de confianza para la variable peso seco de las hojas de la planta y el efecto de la bolsa en etapa de almácigo.

Para las bolsas de la dimensión 2, todos los valores promedios fueron inferiores a las bolsas testigos de polietileno de baja densidad (11), según prueba de Dunnett (Figura 9).

Puede concluirse que, la evaluación de los diferentes tipos de bolsas mediante las pruebas de resistencia o tracción, permitieron identificar que, los materiales de bolsas con algún tipo de biodegradación y con potencial de uso para el proceso de almácigo, deberán resistir al menos 6,0 N de fuerza, mediante la aplicación de la metodología expuesta en la ASTM DS 168, y para la variable alargamiento entre los 80 y 100 mm (D20 Committee, 2020). De otro lado, el módulo de Young debe registrar valores superiores a los 5,0 MPa, para que la relación entre la tensión y la deformación en la zona de comportamiento proporcional sea un referente de la resistencia de las bolsas en la etapa de almácigo.

Con la evaluación del crecimiento y desarrollo de las plantas de café utilizando los diferentes tipos de bolsas en la etapa de almácigo, se presentaron diferencias significativas para los tratamientos 2, 9 y 10, con menores promedios en las variables peso seco de las hojas, tallo, raíz y peso seco total de la planta. Considerando estos resultados, para la etapa de almácigo se tienen como opciones los tipos de bolsa: oxobiodegradable, polietileno reciclado con acelerante de degradación y biopolímero compostable, cuya destinación final sean compostajes industrializados.

En el caso de las bolsas de almidón de yuca tratamiento 1, dimensión 1, (13 x 21 cm) puede usarse en etapa de almácigo, y su descomposición puede realizarse bajo condiciones de compostaje de la finca o en el mismo lote, gracias a su composición 100% degradable bajo condiciones naturales.

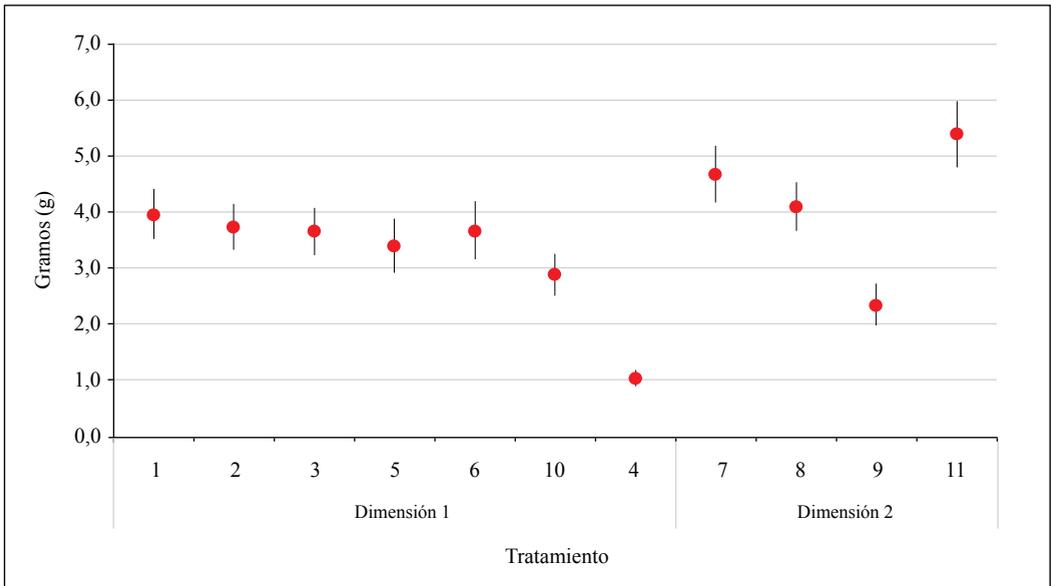


Figura 9. Promedio e intervalo de confianza para la variable peso seco total de las plantas (g) en etapa de almácigo.

AGRADECIMIENTOS

A la Federación Nacional de Cafeteros y al personal del Centro Nacional de Investigaciones de Café por brindar todos los recursos necesarios para llevar a cabo la investigación en la Estación Experimental Naranjal. A Rubén Darío Medina por el apoyo en los análisis estadísticos. Al Ingeniero Álvaro Guerrero por sus aportes en el uso del equipo INSTRON de la Disciplina de Poscosecha. Al Personal de la Estación Experimental por el apoyo en la toma de datos y registro de la información. Esta investigación fue financiada por el Centro Nacional de Investigaciones

de Café (Crossref Funder ID 100019597), proyecto número FIT101004.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización, Curación de datos, Investigación, Visualización, Redacción-borrador original: **JF**; Análisis formal, Metodología, Validación: **JF**, **JR** y **BR**; Administración de proyecto, Redacción-revisión y edición: **JF** y **JR** y **BR**; Adquisición de fondos: **JF**; Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Archila, D. J., & Figueroa, G. C. (2017). *Análisis de la resistencia al corte, tracción, flexión y compresión en probetas de plástico reciclado* [Tesis de pregrado, Universidad La Gran Colombia]. <http://hdl.handle.net/11396/5517>
- Arcila, J., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H., & Wicke, H. (2001). Aplicación de la “Escala BBCH ampliada” para la descripción de las fases fenológicas del desarrollo de la planta de café (*Coffea sp.*). *Boletín Técnico Cenicafé*, 23, 1–32. <http://hdl.handle.net/10778/578>
- Ávila, W., Sadeghian, S., Sánchez, P., & Castro, H. (2010). Respuesta del café al fósforo y abonos orgánicos en la etapa de almácigo. *Revista Cenicafé*, 61(4), 358–369. <http://hdl.handle.net/10778/509>
- BASF. (s/f). Ecovio® (PBAT, PLA) – Polímero compostable certificado con contenido de base biológica. Recuperado el 15 de junio de 2022, de https://plastics-rubber.basf.com/southamerica/es/performance_polymers/products/ecovio.html
- Congreso de la República de Colombia. (2022). *Ley 2232 de 2022 por la cual se establecen medidas tendientes a la reducción gradual de la producción y consumo de ciertos productos plásticos de un solo uso y se dictan otras disposiciones*. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/30044415#>
- D20 Committee. (2022). *ASTM D6866-22 Standard Test Methods for Determining the Biobased Content of Solid, Liquid, and Gaseous Samples Using Radiocarbon Analysis*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D6866-22>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2013). *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0026>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2021). Caracterización ambiental del sector cafetero en Colombia. *Ensayos de Economía Cafetera*, 34(1), 051–073. <https://doi.org/10.38141/10788/034-1-4>
- Fernando de Fuentes, A. (2015). *Análisis de la degradación, desintegración y biodegradabilidad de bolsas de poliéster y almidón en compostaje de residuos urbanos: Escalas de laboratorio e industrial* [Tesis de Doctorado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía]. <https://oa.upm.es/39321/>
- Gaitán, A., Villegas, C., Rivillas-Osorio, C. A., Hincapié, E., & Arcila, J. (2011). Almacigos de café: Calidad fitosanitaria manejo y siembra en el campo. *Avances Técnicos Cenicafé*, 404, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/350>
- Granda, J. J., & Ramos, Y. M. (2019). *Estudio de la resistencia a la tracción y deformación de bioplásticos obtenidos a partir de almidón de Solanum Tuberosum a diferentes porcentajes de plastificante* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13393>

- Illinois Tool Works Inc. (2022). Out of Production 5900 Series Universal Testing Systems. <https://www.instron.com/es-ar/products/testing-systems/universal-testing-systems/low-force-universal-testing-systems/5900-series?region=South%20America&lang=es-AR>
- Lleras-Díaz, S., & Moreno-Berrocal, A. M. (2001). Desarrollo y evaluación de bolsas biodegradables para almáccigos de café. *Revista Cenicafé*, 52(1), 20–28. <http://hdl.handle.net/10778/766>
- Natpacking. (2022, marzo 22). Bolsa Semillero o Chapola Agrícola Natpacking®. Natpacking—Biodegradable por naturaleza y Orgullosamente colombiano. <https://natpacking.com/producto/bolsa-para-semillero-o-chapola-agricola-natpacking/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2018). *El estado de los plásticos. Perspectiva del día mundial del medio ambiente 2018*. UNEP. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/25513>
- Plastipack. (2022). Aditivos Oxo-Biodegradables. Materiales. <https://plastipacksa.com/materiales/aditivos/>
- Plastisol. (2022). Polietileno reciclado con acelerante de biodegradación enzimática <http://www.plastisol.com.co/productos.php>
- Salazar Arias, J. N. (1991). Efecto del tamaño de bolsa sobre el desarrollo de colinos de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 170, 1–4. <http://hdl.handle.net/10778/945>
- Sandoval, M. I. (2014). *Estudio de la biodegradación de bolsas oxo—Biodegradables utilizando compost maduro seco, con aireación y simulando condiciones ambientales de humedad y temperatura de un relleno sanitario ubicado en la costa ecuatoriana*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7144>
- Selke, S., Auras, R., Nguyen, T. A., Castro Aguirre, E., Cheruvathur, R., & Liu, Y. (2015). Evaluation of Biodegradation-Promoting Additives for Plastics. *Environmental Science & Technology*, 49(6), 3769–3777. <https://doi.org/10.1021/es504258u>
- Toala Loor, M. F., & Sarmiento García, V. V. (2019). *Aprovechamiento de los residuos de café (Coffea arabica) y maíz (Zea mays) para la elaboración de bolsas biodegradables, ESPAM MFL* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1194>
- Yamunaqué, K. S., Farfán, M., Maza, J. C., Navarro, E. J., & Saavedra, O. A. (2019). *Diseño de un sistema productivo para la obtención de bolsas biodegradables a partir del almidón de yuca en la empresa Polimeros del Norte S.A.C.* [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. <https://hdl.handle.net/11042/3830>