

**EVALUACIÓN TÉCNICA Y AMBIENTAL DEL USO DE BOLSAS
BIODEGRADABLES COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA ALMÁCIGOS
Y SIEMBRA EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN CAFETERO**

Jhon Félix Trejos Pinzón

**Universidad de Caldas
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Manizales, Caldas
2022**

**EVALUACIÓN TÉCNICA Y AMBIENTAL DEL USO DE BOLSAS
BIODEGRADABLES COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA ALMÁCIGOS
Y SIEMBRA EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN CAFETERO**

Jhon Félix Trejos Pinzón

Tesis de grado presentada como requisito para optar al título de:

Magister en Sistemas de Producción Agropecuaria

Director

**José Raúl Rendón Sáenz.
Ingeniero Agrónomo - MSc.**

Co-director

**Bernardo Rivera Sánchez
Médico Veterinario. Dr. Sc. Agr.**

**Grupo de Investigación:
Producción Agropecuaria – GIPPA**

**Universidad de Caldas
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Manizales, Caldas
2022**



Dedicatoria

A Dios y mis padres...

“Es a través de la gratitud por el momento presente que se abre la dimensión espiritual de la vida” Eckhart Tolle

Agradecimientos:

A la Federación Nacional de Cafeteros – Cenicafé por haber permitido la realización de la investigación, al Ingeniero José Raúl Rendón por su apoyo incondicional, al Dr. Bernardo Rivera por las diferentes oportunidades brindadas durante este proceso y al personal de la Estación Experimental Naranjal en Chinchiná por toda su valiosa colaboración y sustento.

Resumen

La utilización del plástico en la agricultura genera desechos que se convierten en contaminación ambiental y visual, este problema tiene alcance en la mayoría de los sectores encargados de cultivar especies vegetales, entre ellos el sector cafetero, para el cual aún no existe la recomendación de implementar el uso de materiales biodegradables como una alternativa para la etapa de almácigo y siembra en campo. Con el objetivo de explorar alternativas de bolsas biodegradables, se evaluaron 11 tipos de bolsas en etapa de almácigo y la posterior siembra en campo en la Estación Experimental Naranjal de Cenicafé en Chinchiná, Caldas. Se midieron los tiempos de llenado, encarre y enchapole. 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; además se determinó la proporción de bolsas en buen estado durante el traslado y distribución en campo. 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, esto en las dimensiones de bolsa iguales o cercanas a 13 cm x 21 cm. Por el contrario, con la dimensión de bolsas iguales o cercanas a 17 cm x 23 cm se identificaron diferencias entre tratamientos. Las pruebas de resistencia al esfuerzo mecánico de rotura por tracción, las cuales consistieron en someter una probeta normalizada (19 mm de ancho por 115 mm de largo) a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta el punto que se produjera la rotura de la misma, derivó que existen bolsas biodegradables con resistencia cercana o superior a los promedios presentados por el testigo de polietileno. Finalizada la etapa de almácigo se evaluó la capacidad de 420 bolsas por tratamiento para resistir las labores de empaque, traslado al lote y distribución para siembra. Posteriormente, se evaluó el efecto sobre el crecimiento y

desarrollo de las raíces en la etapa de levante. Para ello, se establecieron en campo bloques de 420 plantas de café, sembradas con bolsa y que corresponden a seis tipos de materiales degradables que resistieron la etapa de almácigo (almidón de yuca, biopolímeros compostable, polietileno reciclado con acelerante de biodegradación y oxobiodegradable) y un testigo sembrado sin bolsa. Se registraron los tiempos de transporte, distribución y siembras por cada tipo de material y luego de seis meses de la etapa de levante, se midió la longitud y desarrollo de la raíz principal y el peso seco de las raíces. Según los resultados, se determinó que las plantas establecidas con bolsas de almidón de yuca y polietileno reciclado con acelerante de biodegradación, presentaron para la labor de siembra en campo, una reducción de 0,7 jornales con relación al testigo sembrado sin bolsa, en un total de 420 plantas establecidas. Para los valores promedio de la longitud de la raíz principal, el tratamiento 10 (Biopolímero compostable) difiere de los demás materiales evaluados. Para la variable peso seco de las raíces a los seis meses, el testigo sembrado sin bolsa presentó mayor promedio con relación a los tratamientos 1, 5, 6 y 10 sembrados con bolsa (almidón de yuca, biopolímeros compostable, polietileno reciclado con acelerante de biodegradación). En la evaluación de los aspectos relacionados con el uso de las bolsas biodegradables en la etapa de almácigo y siembra en campo, se concluye que no existen diferencias en el crecimiento y desarrollo de las plantas durante la etapa de almácigo y se presenta reducción en el crecimiento de las raíces durante el establecimiento, cuando se siembra directamente con la bolsa. Al mismo tiempo, se concluye que existe un impacto ambiental positivo cuando se usan las bolsas biodegradables de almidón de yuca.



Abstract

The use of plastic in agriculture generates waste that becomes environmental and visual pollution. In coffee growing there is no recommendation yet for biodegradable materials as an alternative for the nursery stage and planting in the field. In order to explore alternatives for biodegradable bags, 11 types of bags were evaluated in the nursery stage, and subsequent planting in the field at Naranjal Experimental Estation of Cenicafé, in Chinchiná, Caldas. The filling, carrying, and germination timing was measured correspondingly.

During the nursery stage, the dry matter of the plants and the resistance to mechanical stress of the new and used bags were determined with the INSTRON equipment. In addition, the proportion of the bags in good condition during carrying and distribution in the field was determined. The dry matter evaluated in 30 plants per treatment did not show significant differences in the dry weight variables of root, stem, leaves and total weight, this in bag dimensions equal to or close to 13 cm by 21 cm. On the contrary, with the dimension of bags equal to or close to 17 cm by 23 cm differences between treatments were identified.

The tests of resistance to the mechanical stress of breakage by traction, which consisted of subjecting a standardized specimen (19 mm wide by 115 mm long) to an axial stress of increasing traction to the point that it would break, derived that there are biodegradable bags with a resistance close to or higher than the averages presented by the polyethylene control. After the nursey stage, the capacity of 420 bags per treatment was evaluated to withstand the packing, carrying to the lot, and distribution for planting tasks. Subsequently, the effect on the growth and development of the roots in the lifting stage was evaluated. To do this, blocks of 420 coffee plants were established in the field, planted with

bags and corresponding to six types of degradable materials that resisted the nursery stage (cassava starch, compostable biopolymers, recycled polyethylene with biodegradation accelerator and oxobiodegradable) and a witness sown without a bag.

The transportation, distribution and planting timing for each type of material were recorded and after six months of raising stage, the length and development of the main root and the dry weight of the roots were measured. According to the results, it was determined that the plants established with bags of cassava starch and recycled polyethylene with a biodegradation accelerator presented a reduction of 0.7 wages for planting in the field in relation to the control planted without a bag in a total of 420 planted plants.

For the average values of the length of the main root, treatment 10 (Compostable Biopolymer) differs from the other materials evaluated. For the variable dry weight of the roots at six months, the control planted without a bag presented a higher average in relation to treatments 1, 5, 6 and 10 planted with a bag (cassava starch, compostable biopolymers, recycled polyethylene with biodegradation accelerator). In the evaluation of the aspects related to the use of biodegradable bags in the nursery stage and planting in the field, it is concluded that there are no differences in the growth and development of the plants during the nursery stage and there is a reduction in growth of the roots during establishment when planting directly with the bag. At the same time, it is concluded that there is a positive environmental impact when biodegradable cassava starch bags are used.

Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN	15
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
2.1	Descripción Del Problema.....	18
3.	JUSTIFICACIÓN.....	21
4.	ANTECEDENTES	24
5.	MARCO TEÓRICO	30
5.1	La Caficultura en Colombia y su aporte a la sostenibilidad ambiental	30
5.2	Sistemas de Producción de Café en Colombia	32
5.3	Proceso de almácigo en la Caficultura Colombiana.....	34
5.4	Adopción de tecnologías de bajo impacto ambiental en la agricultura	36
5.4.1	Situación actual de la producción de plásticos y su impacto ambiental	39
5.5	Pruebas de tracción para la evaluación de los plásticos y tipos de bolsa	41
5.5.1	Método de prueba estándar para las propiedades de tracción de los plásticos	41
5.5.2	Ensayos de Tracción	44
5.5.3	Módulo de Automático de Young (Mpa)	45
5.5.4	La zona plástica o desplazamiento a la fuerza máxima.	46
5.6	Evaluación de los impactos ambientales	47
5.6.1	La Matriz De Leopold.....	48
5.7	Marco legal	52
5.7.1	Producción de plásticos	52
5.7.2	Plásticos biodegradables.....	57
5.7.3	Plásticos oxobiodegradables	58
5.7.4	Plásticos reciclados o con más de un uso.....	61
5.8	Características de los tipos de bolsas utilizadas en la investigación	61
5.8.1	Almidón de yuca.....	61
5.8.2	Ácido Poliláctico.....	62
5.8.3	Polietileno reciclado con acelerante de biodegradación enzimática.....	63
5.8.4	Biopolímero compostable	63
5.8.5	Oxobiodegradable - D2W	64
6	OBJETIVOS.....	65
6.1	General.....	65
6.2	Específicos.....	65

7	METODOLOGÍA	66
7.1	Localización y características de clima	66
7.2	Diseño experimental y tratamientos	66
7.3	Pruebas de resistencia de las bolsas en etapa de almácigo y siembra	67
7.4	Crecimiento y desarrollo de las plántulas	71
7.5	Impacto ambiental del uso de las bolsas.....	73
7.6	Análisis de los indicadores técnicos.....	74
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	76
8.1.	Pruebas de resistencia de las bolsas en etapa de almácigo y siembra	76
8.2.	Efecto de los tratamientos sobre el crecimiento y desarrollo de las plántulas	82
8.2.1.	Altura de la planta en etapa de almácigo	83
8.2.2.	Materia seca de la raíz en etapa de almácigo	84
8.2.3.	Relación peso seco de la raíz/altura de la planta en etapa de almácigo	86
8.2.4.	Materia seca de las hojas de la planta en etapa de almácigo	87
8.2.5.	Materia seca total de la planta en etapa de almácigo	88
8.2.6.	Crecimiento de la rama más larga.....	90
8.2.7.	Número de nudos por rama a los seis meses de establecimiento en campo	91
8.2.8.	Altura de la planta a los seis meses de establecimiento en campo	92
8.2.9.	Crecimiento de las raíces laterales	93
8.2.10.	Longitud de raíz principal a los seis meses de establecimiento en campo.	95
8.2.11.	Peso seco de las raíces a los seis meses de establecimiento en campo.....	95
8.3.	Impacto ambiental del uso de las bolsas.....	102
8.4.	Análisis de los indicadores técnicos.....	108
8.4.1.	Etapa de almácigo	108
8.4.2.	Etapa de establecimiento en campo	110
9.	CONCLUSIONES	113
10.	RECOMENDACIONES	116

Lista de Gráficos

Gráfica 1. Características de la probeta según el tipo de material plástico a utilizar.	44
Gráfica 2. Fuerza en Newton empleada en bolsas nuevas y usadas.	78
Gráfica 3. Valores en megapascal (MPa) del Módulo de Young para cada uno de los tratamientos.	79
Gráfica 4. Desplazamiento a la fuerza máxima en milímetros en bolsas nuevas y usadas	81
Gráfica 5. Tenacidad a la ruptura en newton.	82
Gráfica 6. Promedio e intervalo de confianza para la variable altura de la planta y el efecto de la bolsa en etapa de almácigo (Usada)	84
Gráfica 7. Promedio e intervalo de confianza para la variable peso seco de la raíz de planta y el efecto de la bolsa en etapa de almácigo	85
Gráfica 8. Relación altura de la planta/peso seco total y el efecto de la bolsa en etapa de almácigo.....	87
Gráfica 9. 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.	88
Gráfica 10. Promedio e intervalo de confianza para la variable peso seco total de las plantas y el efecto de la bolsa en etapa de almácigo	89
Gráfica 11. Promedio e intervalo de confianza para la variable longitud de la rama más larga seis meses después del establecimiento en campo.	91
Gráfica 12. Promedio e intervalo de confianza para la variable longitud de los nudos de la rama más larga seis meses después del establecimiento en campo.	92
Gráfica 13. Valores promedios e intervalos de confianza para la variable altura de planta seis meses después del establecimiento en campo.	93
Gráfica 14. Promedio e intervalo de confianza para la variable longitud de la raíz lateral seis meses después del establecimiento en campo.....	94
Gráfica 15. Promedio e intervalo de confianza para la variable longitud de la raíz lateral seis meses después del establecimiento en campo.....	95
Gráfica 16. Valores promedio e intervalos de confianza para la variable peso seco de raíz.....	97
Gráfica 17. Valoración de los impactos ambientales, según los resultados de la medición en la Matriz de Leopold.	104
Gráfica 18. Tiempo en jornales de llenado de bolsas, enchapole, encarre y total.....	110
Gráfica 19. Tiempo en jornales de transporte, distribución y siembra.....	112

Lista de Imágenes

Imagen 1. Uso y equipo Instron® 5569	69
Imagen 2. Mordazas diseñadas para el equipo Instron® 5569.....	70
Imagen 3. Mordazas diseñadas para el equipo Instron® 5569	71
Imagen 4. Bolsa de ácido poliláctico (T2) y Bolsa de almidón de yuca (T9)	86
Imagen 5. Bolsas de almidón de yuca. Tratamiento 1.....	98
Imagen 6. Polietileno reciclado con acelerante de biodegradación enzimática. Tratamiento 5.	99
Imagen 7. Biopolímero compostable. Tratamiento 6.	99
Imagen 8. Biopolímero compostable. Tratamiento 10.	100
Imagen 9. Oxobiodegradable. Tratamientos 7.	100
Imagen 10. Oxobiodegradable. Tratamientos 8.	101
Imagen 11. Polietileno testigo sin bolsa. Tratamiento 11.	101
Imagen 12. Labores de llenado de bolsa, encarre y enchapole.	109
Imagen 13. Transporte desde el almacigo en canastillas de los diferentes materiales a campo.	111

Lista de Tablas

Tabla 1. Estimación del número de plantas de café establecidas por año en Colombia	20
Tabla 2. Descripción de los diferentes tipos de dimensiones para la probeta.	44
Tabla 3. Calificación de la magnitud e importancia del impacto ambiental negativa.....	52
Tabla 4. Calificación de la magnitud e importancia del impacto ambiental positivo	52
Tabla 5. Materiales, descripción, tratamientos y dimensiones de las bolsas.....	66
Tabla 6. Impactos ambientales según resultados del análisis de ciclo de vida propuesto por la Unión Europea y ajustado al análisis de las bolsas biodegradables.	102
Tabla 7. Matriz de valoración de impactos ambientales de Leopold, para todos los tipos de bolsas.	105

1. Introducción

Los plásticos sintéticos que se han desarrollado en la industria química desde las primeras décadas del siglo XX, tuvieron su máximo impulso durante la II Guerra Mundial. Debido a su utilidad, el crecimiento de la industria del plástico ha sido progresivo generando avances, innovaciones y satisfacción de muchas necesidades, tal situación ha hecho que los plásticos sean un material de consumo masivo presente en una gran cantidad de bienes y en la actualidad representan una problemática relacionada a su uso intensivo, la baja biodegradabilidad (alta recalcitrancia) y, por consiguiente, la alta generación de residuos (García, 2009)

Una gran parte de los plásticos usados en la actualidad son derivados del petróleo y dependen en su totalidad de este recurso fósil no renovable, algunas cifras indican que del total del petróleo extraído en el mundo alrededor de un 5 % se destina a la industria del plástico. De otro lado el mineral fósil experimenta en la actualidad un crecimiento continuo en su precio y las proyecciones afirman que se agotará en menos de 50 años si el ritmo de consumo sigue creciendo, vale decir que en el proceso de fabricación de un kilogramo de plástico: se emiten 3,5 kilogramos de CO₂ y se emplean 412 litros de agua (Plastisol, 2022)

Según la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2021) la producción mundial de residuos plásticos es de 359 millones de toneladas en el año, siendo Asia con un porcentaje del 51% y América con el 19%, sus mayores productores y consumidores. Dentro de esta industria las cadenas agroalimentarias utilizan 12,5 millones de toneladas en el año de plásticos.

El análisis discriminado por sectores, indica que la ganadería y la agricultura son los principales usuarios del plástico (10,2 Millones de Toneladas año), seguidos de la pesca y

acuicultura (2,1 Millones) y la silvicultura (0,2 Millones). De otro lado, la distribución de los plásticos por continente, corresponde a 6,5 Millones de Asia (52%), 3,7 Millones de América (29,6%), 1,29 Millones de Europa (11%), África consume 0,88 Millones de toneladas año (M Ton/año) (6,4%) y Oceanía 0,13 M t/año (1%). En la Unión Europea (UE), la legislación vigente establece requisitos severos en cuanto al uso y reciclaje de los plásticos. Anualmente se generan en Europa 25,8 Millones de toneladas de residuos plásticos, de los cuales el 5% (1,29 Millones) proceden de la agricultura y el 59% (15,22 Millones) de envases. (FAO) (2021)

El análisis regional del uso de bolsas plásticas en la agricultura tropical presenta los mayores indicadores en la producción de banano, plátano y forestales. Así mismo, según información de CropLife en América Latina se distribuyeron 330.000 toneladas de envases plásticos de pesticidas para la producción de alimentos y otros durante el año 2019 (FAO, 2021).

De otro lado, en el sector agrícola los principales materiales usados para el empaque, embalaje, transporte, riego y viveros, provienen en un alto porcentaje de productos derivados de la industria del petróleo. Puntualmente, en los sistemas de producción de café en Colombia, por ejemplo, se utiliza el plástico de polietileno de baja densidad de un solo uso como contenedor para la etapa de almácigo, y esta práctica, garantiza que anualmente se lleven a campo durante los procesos de renovaciones por siembra, alrededor de 176 millones de plantas de café, demandando en consecuencia el uso del mismo número de bolsas plásticas en diferentes dimensiones. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC, 2021).

Dada la problemática descrita, algunos avances en el desarrollo de materiales con capacidad de biodegradación, entre ellos los fabricados a base del ácido poliláctico,

almidón de yuca, polietileno reciclados con acelerante de la degradación enzimática, oxobiodegradables, biopolímero compostable, se constituyen en alternativas disponibles a nivel comercial y de interés para explorar su utilidad en actividades agrícolas de alto impacto en la generación de residuos.

En este sentido, para dar alcance al objetivo de esta investigación se evaluaron materiales contenedores para almácigos de café, fabricados a partir de recursos naturales renovables, con características que hacen más eficiente el manejo de los desechos y reducen los impactos negativos sobre el medio ambiente y la población humana.

El estudio realizado describe las diferentes propiedades mecánicas de los materiales evaluados, esto de acuerdo con las pruebas de tensión realizadas bajo las normas ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, por sus siglas en inglés). La resistencia de los materiales a la fuerza estática o aplicada lentamente, se evaluó a través de máquinas de pruebas universales, también conocidas como máquinas de pruebas de tracción, que incluyen sistemas electromecánicos e hidráulicos para realizar pruebas de tracción, compresión, flexión, pelado, desgarrado, cizallamiento, fricción y otros tipos de pruebas mecánicas de acuerdo con las normas ASTM. Las variables derivadas fueron las siguientes: fuerza máxima de tracción (Newton), Tenacidad al máximo esfuerzo (N/tex), Desplazamiento al máximo esfuerzo (milímetros), Deformación por tracción al máximo esfuerzo (Porcentaje %), Tenacidad a la Rotura (Estándar), estas pruebas se realizaron en probetas normalizadas según la norma ASTM D638.

Asimismo, se evaluaron los efectos de las bolsas biodegradables durante las etapas de almácigo y siembra de café en campo, para lo cual se analizó el crecimiento y el desarrollo de las plantas, a través del peso seco de los diferentes órganos: hojas y tallo (parte aérea), raíces y peso total de la planta.

2. Planteamiento Del Problema

2.1 Descripción Del Problema

El proceso de producción de almácigos para la caficultura colombiana ha demandado por muchos años el uso de bolsas plásticas derivadas de materiales contaminantes como el polietileno de baja densidad. Para entender el impacto ambiental por el uso indiscriminado de bolsas plásticas, un concepto clave a considerar es el análisis del ciclo de vida del producto, tal análisis permite valorar el impacto potencial en el ambiente durante todas las etapas de su vida, desde la extracción de los recursos naturales necesarios para su producción, hasta el tratamiento final de los desechos. En la actualidad existen en el mercado bolsas fabricadas con materiales biodegradables y otros tipos de compuestos amigables con el ambiente, que no se han incorporado al proceso de vivero o almácigo.

Pese a la disponibilidad de acceso a materiales biodegradables se evidencia en la actualidad una alta dependencia del uso de bolsas plásticas en las diferentes prácticas agrícolas, ante esta situación un informe de la FAO (2021) prevé que el consumo de plásticos en el sector agroalimentario continuará creciendo, en este sentido, a nivel mundial se estima un aumento de más del 50% en la demanda de películas para invernaderos y ensilaje, pasando de 6,1 millones de toneladas en 2018 a una estimación de 9,5 millones de toneladas en 2030. De forma específica en la actividad agrícola, las bolsas biodegradables son una solución eficiente para ser usadas como contenedores en almácigo, este tipo de bolsas se desintegran en menor tiempo y pueden reciclarse como productos orgánicos.

De otro lado, la utilización o manejo de las bolsas biodegradables contribuirá a minimizar los impactos negativos al medio ambiente, y en ese sentido, es necesario mencionar que algunos de los impactos ocasionados por el uso de bolsas de polietileno son: altos niveles de contaminación por dióxido de carbono, contaminación marina, impacto negativo a los suelos, contaminación y dependencia del petróleo, variabilidad climática y problemas a la salud humana.

La caficultura colombiana demanda la utilización de bolsas plásticas en la etapa de almácigo, esta etapa se inicia una vez las chapolas tienen las dos hojas cotiledonares completamente extendidas, no presentan síntomas de volcamiento o de cualquier otra pudrición; para la siembra en el almácigo, las chapolas deben quedar con la raíz derecha y bien ajustada dentro de una bolsa de polietileno de baja densidad, de manera que las raíces hagan buen contacto con el suelo; esto se logra introduciendo lateralmente un palo ahoyador luego de colocar la raíz, y presionando hacia el centro. Consecuentemente, el almácigo debe tener un sombrero regulado de acuerdo a las condiciones climáticas (mayor humedad por lluvia requiere menos sombrero). Para mantener el almácigo hasta por 6 meses, es necesario utilizar una bolsa con dimensiones de 17 x 23 cm, es decir, de 2,0 kg aproximadamente; cuando se utilizan bolsas de menor tamaño, con capacidad de 1,0 kg, solo permiten un adecuado crecimiento de la raíz durante los primeros 4 meses (Cenicafé, 2021).

Anualmente, en Colombia en el proceso de renovación de cafetales se alcanzan los 176 millones de plantas (Tabla 1), esta información se deriva y guarda relación con el número hectáreas renovadas en el año por siembra y la multiplicación por la densidad promedio o número de sitios por hectárea. De acuerdo a la información de la Tabla 1, para el año 2021 se establecieron 173 millones de plantas provenientes de almácigos,

equivalente al mismo número de bolsas plásticas usadas y que representan alrededor de 440.000 toneladas de plástico aproximadamente (FNC, 2018) (FNC, 2019) (FNC, 2020) (FNC, 2021).

De acuerdo al escenario descrito, en este estudio se planteó la evaluación del uso de materiales biodegradables con una mayor tasa de descomposición en relación con el plástico de un solo uso provenientes de la industria nacional. De esta forma, el material biodegradable podría constituir una alternativa viable para su uso en las etapas de almácigo y en la renovación del café por siembra, prácticas agrícolas que contribuyan a la sostenibilidad ambiental.

Tabla 1.

Estimación del número de plantas de café establecidas por año en Colombia

Año	Renovación (Ha)	Siembras (Ha)	Densidad promedio (Ha)	siembra	Número total plantas
2018	80.000	33.977	5.196		176.544.492*
2019	82.303	27.105	5.232		141.813.360*
2020	61.462	11.666	5.261		61.374.826*
2021	81.304	32.990	5.268		173.791.320*

Fuente: Informes del congreso cafetero 2018 – 2019 – 2020 – 2021*

Según lo expuesto, 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 campo que puedan sustituir las actuales.

3. Justificación

El cultivo del café se ha convertido en una actividad que ha significado grandes aportes a los sectores económico, político y social de la nación, desde la creación de la Federación de Cafeteros en 1927 a la fecha continúa aportando al desarrollo de las diferentes zonas donde se produce el grano, trayendo bienestar y rentabilidad a las más de 546.000 familias cafeteras ubicadas en 23 departamentos y 604 municipios, generando empleo a toda su cadena de valor, en gran medida gracias a las 844.000 hectáreas que soportan el parque productor de café en el país (FNC, 2022).

La Federación Nacional de Cafeteros busca hacer de la caficultura, en el corto, mediano y largo plazo, un negocio rentable, que contribuya al desarrollo económico y social de las familias cafeteras, siempre privilegiando el cuidado de los recursos naturales. Y en la búsqueda del logro de este objetivo, la FNC ha desarrollado un programa de sostenibilidad sustentado en cuatro ejes fundamentales:

- En el social se trabaja en seis caminos: educación, infraestructura, protección social, participación comunitaria y asociatividad, equidad de género y empalme generacional.
- En el económico se trabaja bajo tres ejes: precio, productividad y reducción de costos.
- En el eje ambiental se gestiona: el recurso hídrico, reforestación, suelos, fertilización, biodiversidad en los sistemas de producción de café y se enfoca en las siguientes prácticas ambientalmente responsables: agua, energía y residuos sólidos (FNC, 2022).

Dado lo anterior, en el marco de la estrategia “Más agronomía, más productividad, más calidad”, que busca elevar la productividad y mejorar la calidad del café para que los caficultores obtengan mejores ingresos y mayor rentabilidad, se han consolidado indicadores agronómicos, entre los cuales vale la pena citar: la caficultura cuenta con el

85% del área sembrada en variedades resistentes, edad promedio de 6,79 años, productividad de 19,32 sacos/ha, densidad promedio de los cafetales 5.268 árboles por hectárea (FNC, 2021).

Los anteriores indicadores, no podrían alcanzarse sin una caficultura joven y productiva y la implementación de prácticas de manejo agronómico del cultivo, entre ellas: la renovación de cafetales en función de la edad, el uso de variedades resistentes a la roya del café, el establecimiento de altas densidades de plantas, la recuperación oportuna de sitios perdidos y el manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo. Acorde con lo anterior, la obtención de un material vegetal sano y vigoroso en las etapas de germinador y almácigo, garantizan que, al establecer el cultivo, se pueda lograr una máxima productividad, manteniendo el número adecuado de plantas por unidad de área, con todas las plantas sanas y productivas durante todo el ciclo del cultivo.

En consecuencia, el proceso de producción de almácigos para la caficultura de Colombia ha demandado por muchos años el uso de bolsas plásticas derivadas de materiales contaminantes como el polietileno de baja densidad. Para entender el impacto ambiental sobre el uso indiscriminado de bolsas plásticas es importante hacer un análisis relacionado del ciclo de vida del producto, esto permite valorar el impacto potencial en el ambiente durante todas las etapas de su vida, desde la extracción de los recursos naturales necesarios para su producción, hasta el tratamiento final de los desechos.

Ante la problemática ambiental por el uso de bolsas plásticas de polietileno de un solo uso, es necesario identificar alternativas con materiales contenedores o bolsas que resulten viables ambientalmente y que aporten a la reducción de impactos locales y particulares en la producción de café en Colombia. Así mismo, contribuir al ahorro espacial en los rellenos sanitarios, evitar quemas indiscriminadas de residuos, ahorrar recursos

naturales no renovables, aumentar el reciclaje de la bolsa plástica, controlar y reducir los desechos plásticos que tienen como destino final los cuerpos hídricos y vertederos, reducir la mancha de desechos plásticos existentes en los océanos y reducir el uso energético para su fabricación.

Los resultados de esta investigación contribuyen a minimizar aspectos negativos ambientales a través del uso de bolsas biodegradables como contenedores en el almácigo, con alta capacidad de degradación, descomposición en compostajes industriales y reciclaje como productos orgánicos.

4. Antecedentes

A continuación, se citan algunos de los trabajos de investigación de los últimos años y que están relacionados con la respuesta a la aplicabilidad y uso de las bolsas con componentes de biodegradación, desarrollo de pruebas de tracción, respuesta al desarrollo de las plantas y metodologías de evaluaciones de impacto ambiental sobre el uso de diferentes tipos de empaques o contenedores:

De acuerdo al Sistema de Información de Hogares Cafeteros (SIHC) (FNC, 2021) mediante la aplicación de una encuesta a 2.477 productores por muestreo probabilístico representativos 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, un 22% utilizan el servicio de aseo, 12% los entierran y el 11% respondieron que arrojan al patio, lote o zanja sus residuos sólidos. El anterior escenario de la disposición final de los residuos sólidos, entre ellos, las bolsas utilizadas en el proceso de almácigo, conllevan a realizar un estudio de impacto sobre el uso de materiales biodegradables, consumos circulares y su posible uso en la etapa de almácigo, menguando así la contaminación generada por los plásticos convencionales de un solo uso.

Adicionalmente, el Sistema de Información de Hogares Cafeteros creado en 2020 por la FNC, permitió obtener estadísticas sobre la vivienda cafetera, los elementos identificados son de gran relevancia para entender la forma en que los hogares cafeteros cuidan el medio ambiente. De otro lado, la eliminación y tratamiento de residuos sólidos también es una preocupación del gremio, por eso desde la FNC se recomienda tener una disposición adecuada de residuos de todas las actividades agropecuarias y domésticas de la finca. 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, y esto se explica porque la cobertura de los servicios de aseo en las zonas cafeteras es relativamente baja (22%) (FNC, 2021).

De otro lado, el 6 de junio del 2022, el Congreso de la República de Colombia aprobó un proyecto de ley cuyo objeto tiene la prohibición en el territorio nacional a partir del año 2030, la fabricación, importación, venta y distribución de plásticos de un solo uso y se dictaron otras disposiciones que permitan 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 este sentido y anticipándose a la normativa de tipo ambiental que se podía llegar a presentar la Federación Nacional de Cafeteros formuló y desarrolló investigaciones y estrategias que condujeran al cumplimiento en el largo plazo de las prohibiciones que se pueden llegar a establecer sobre el uso de plásticos de un solo uso en Colombia.

Salvador (2017), en España, determinó la huella ambiental mediante el análisis de ciclo de vida; analizando para ello 15 formas de impacto ambiental de tres tipos de bolsas: polietileno, polipropileno y Kraft que ejercen la misma función en tres de las fases principales fabricación y montaje, fin de vida y ciclo completo. En la investigación se realizó un análisis, a través del software Sima Pro, de las entradas y salidas del sistema desde su extracción, producción, fin de vida por incineración y transporte para los siguientes destinos: Malasia a España para las bolsas de polietileno, Vietnam a España para las bolsas de polipropileno y Alemania a España las bolsas Kraft. Los análisis realizados permitieron concluir que: para las bolsas de polietileno se obtuvo que el mayor impacto se genera en la extrusión, comparado con el impacto de la extracción de materia prima y energía para su fabricación, sin desconocer las altas emisiones que este proceso genera; en

cuanto a su disposición final tiene un impacto positivo en la incineración para recuperación de energía, pero a su vez un impacto negativo mayor respecto a la recuperación energética por la generación de emisiones contaminantes y la materia no disponible para su reutilización. En la fase de fabricación y montaje de los 15 impactos categorizados se tienen que en la escala son mayor al 40% y son los siguientes: Cambio climático, destrucción de la capa de ozono, toxicidad humana sin efectos cancerígenos, material articulado, radiación ionizante, radiación de ozono fotoquímico, acidificación, eutrofización terrestre y acuática, eco toxicidad en medio acuático, uso de recurso agua.

Sandoval (2014) desarrolló pruebas de biodegradación realizadas 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 fue realizada evaluando 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, halló que las bolsas de poliéster con base de almidón certificadas (UNE EN 13432:2001) alcanzaron el 94,37% de desintegración en la etapa de compostaje de FORSU con pila

volteada; y el 86,36 en la planta de compostaje FORSU con túnel estático. A pesar de la aparente diferencia, el resultado del análisis concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas entre técnicas de compostaje (Fernando de Fuentes, 2015)

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% de glicerina alcanza una resistencia a la tracción de 0,17 Mega pascal con un porcentaje de deformación de 13,37%. 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 Mega pascal para un 3% de glicerina y la mínima de 0,17 MPa para el 12% del mismo. En cuanto a deformación se alcanzó a 44.76 % de deformación al 3% de glicerina y a 13,37 % a un 12% de glicerina (Granda y Ramos, 2019).

Archila y Figueroa (2017) refieren ensayos de compresión y flexión realizados en materiales plásticos reciclados, evidenciando un comportamiento alto elásticamente asociado como un material dúctil, permitiendo llegar a una gran deformación sin fracturarse, dando tiempo para percibir las deformaciones que en él se presentan. los valores de resistencia respectivamente fueron 8,9 MPa y 13,01 MPa. El plástico reciclado es un material viscoelástico, esto significa que las propiedades mecánicas dependen de la temperatura, del tiempo y están sujetas a deformaciones permanentes (fluencia) bajo cargas continuas. Se concluye que este tipo de plásticos usados como contenedores de suelo y otros materiales, puede ser una opción viable, al no presentar cargas fuertes continuas.

Romero (1997) presenta algunos resultados derivados de la evaluación de materiales biodegradables a diferentes medios y su descomposición, identificando que los polímeros

biodegradables sufren disminución en el peso situación atribuible al hecho que los microorganismos encontrados en los distintos ambientes, pudieron hidrolizar y utilizar como fuente de carbono a los compuestos de quitina y almidón contenidos en estos formulados. Cuando los materiales son expuestos a degradación en composta, se obtuvieron los mayores porcentajes en la pérdida en peso para los plásticos biodegradables. Aunque las propiedades físico-mecánicas de los plásticos biodegradables no son comparables con los plásticos sintéticos, la pérdida en peso, fuerza de tensión y porcentaje de elongación se afectan en biodegradables.

Toala y Sarmiento (2019) indican que varios estudios han evaluado, diseñado y estructurado bolsas con diferentes materiales naturales que se biodegradan, tal es el caso de la investigación que buscó el aprovechamiento de los residuos del café y maíz para la elaboración de bolsas biodegradables. El tratamiento que mejor resultado obtuvo fue el T1, el cual estuvo compuesto de 85% maíz (*Zea mays*) y 15% de café (*Coffea arábica*), con solubilidad de 16%, la biodegradación fue mayor a 70% en 6 semanas de monitoreo y su elongación fue la más elevada con 28,03% y su resistencia fue de 0,66 MPa, sin embargo, se rechaza la hipótesis ya que no cumple los requisitos físicos (elongación y tracción) que estipula la norma INEN 2290 2015-12 de fundas plásticas para residuos y desechos sólidos.

Por otra parte, Yamunaqué et al., (2019) diseñaron un sistema productivo para la obtención de bolsas biodegradables a partir de almidón de yuca y una de sus principales conclusiones determinó que proyectos de este tipo permiten aprovechar productos naturales como el almidón de yuca, al tiempo que promueven la producción de esta raíz tuberosa; así como también promover una conciencia verde, amigable con el medio ambiente.

Lleras y Moreno (2001) argumentan que teniendo como referente y pese a que, se han realizado estudios en la caficultura colombiana donde se evaluaron en condiciones de

almácigo y de campo durante seis meses materiales biodegradables utilizados en la fabricación de bolsas para la elaboración de almácigos de café, estos no llegaron a representar y convertir en una viabilidad comercial para los caficultores. En este sentido, en el proceso investigativo se analizaron cartones reciclados con aplicaciones superficiales de urea-formaldehído al 0,6; 0,9 y 1,2% en peso; fibra de fique en tejido cafetal (urdimbre 17-trama 17, urdimbre 17-trama 19, urdimbre 17-trama 21, urdimbre 17-trama 23 y urdimbre 17-trama 25) y tela de orlón. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado, con seis repeticiones y bolsas de polietileno como testigo. Los resultados, en condiciones de almácigo y en campo concluyen que las estructuras fabricadas con cartón podrían resistir en promedio ocho meses, mientras que las fabricadas con tela de orlón resistirán 10 meses. Para las variables peso fresco, seco y altura de la planta, no hubo diferencias al final del proceso.

A nivel mundial, la tipología de Propiedad Industrial de acuerdo a la base PatSnap y según el tipo de invención registrada en torno a los “Empaques Verdes”, se divide en: 506 patentes y 59 modelos de utilidad y 2 diseños industriales. De estas 567 familias de patentes, únicamente 103 corresponden a patentes otorgadas que continúan vigentes, más de la mitad (321) han sido declaradas inactivas; 56 están en proceso de patentamiento; y, existen 88 documentos de los que se desconoce su estado. De acuerdo a los datos de PatentInspiration, los países en los que se presentan solicitudes y se otorgan el mayor número de patentes corresponden a: Estados Unidos con 205 familias de patentes, seguido por China con 94 y Japón con 60. A nivel Latinoamericano, existen 22 familias de patentes registradas, encontrándose en Brasil (8), México (5), Colombia (5), así como en Argentina (2), Perú (1) y Panamá (Bravo, 2020)

5. Marco Teórico

5.1 La Caficultura en Colombia y su aporte a la sostenibilidad ambiental

En 1927, los cafeteros colombianos se unieron con el fin de crear una organización que los representara nacional e internacionalmente y que velara por su bienestar y el mejoramiento de su calidad de vida. Así nació la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC), considerada hoy como una de las ONG rurales más grandes del mundo. La Federación es una entidad sin ánimo de lucro, y no está afiliada a ningún partido político. El Sistema de Información de Hogares Cafeteros (SIHC) fue creado por la FNC para mejorar el seguimiento a la estrategia de valor del gremio cafetero en los ámbitos sociales, ambientales y de gobernanza. La información y los indicadores de SIHC se presentan a escala departamental y municipal y cubre a los productores cafeteros y los miembros de sus hogares. De acuerdo con la información del SIHC, para enero de 2020, en Colombia había 540.362 productores, los cuales viven en 483.389 hogares con una población estimada de 1.498.526 personas (FNC, 2021). Así mismo, la SIHC estableció que el 82,9% de los hogares cafeteros residen en el área rural y 17,1% en el área urbana, consolidando al café como uno de los productos con importante arraigo en la ruralidad, que, además, genera un alto valor económico.

La Federación Nacional de Cafeteros (FNC) y los caficultores colombianos continúan robusteciendo su gran potencial para mitigar acciones que deterioran el medio ambiente. Para el año 2021, la FNC puso en marcha la nueva estrategia ambiental a partir de: **Implementar** los nodos de trabajo para fortalecer y visibilizar acciones en materia ambiental. **Fortalecer** la conservación, reforestación y ahorro de agua en las fincas cafeteras. **Impulsar** la gestión ambiental en la institucionalidad cafetera (FNC, 2021)

En 2027 la FNC cumple 100 años y como parte de su compromiso con la sostenibilidad, trabaja para que en las fincas cafeteras se incorporen criterios de sostenibilidad para ese momento. En esta línea, en 2021, con la cadena canadiense Tim Hortons, iniciaron actividades del piloto para mejorar la sostenibilidad de fincas cafeteras de Antioquia, Huila y Santander. Las metas de este proyecto son: 1.400 fincas fertilizadas según análisis de suelos, 200 fincas con mejor infraestructura de beneficio, 1.000 hectáreas de bosques naturales bajo acuerdos voluntarios de conservación, 1.415 filtros de agua potable instalados para beneficiar a más de 5.900 personas, y 2.500 caficultores capacitados para mejorar las condiciones de salud y seguridad en finca, así como en prácticas y tecnologías de producción de café (FNC, 2021)

La FNC (2021) tiene una estrategia sostenible para hacer de la caficultura, en el corto, mediano y largo plazo, un negocio rentable, que contribuya al desarrollo económico y social de las familias cafeteras siempre privilegiando el cuidado de los recursos naturales. La propuesta de sostenibilidad se desarrolla en cuatro ejes fundamentales, cada uno con un objetivo estratégico específico: Económico, Ambiental, Social y Gobernanza.

En el eje ambiental; **Agua:** El agua es un recurso muy valioso y escaso, por eso trabajamos en conservarla protegiendo sus nacimientos y los causes de las quebradas. También buscamos reducir su uso y lograr su descontaminación o disposición adecuada. **Suelos:** Sin suelos nos hay vida ni hay café. En la FNC trabajamos por conservarlo y protegerlo.

Biodiversidad: Colombia es uno de los 17 países del mundo clasificados como “megadiversos” y en la FNC trabajamos para que siga siendo así, conectando y conservando esta gran diversidad de flora y fauna que hay en nuestro país. **Residuos:** Tanto en el campo como en nuestras oficinas, trabajamos continuamente en disminuir los residuos

mediante un uso racional, reducción, compras inteligentes, reutilización y reciclaje.

Energía: Trabajamos en reducir el consumo de energía, sobre todo de fuentes no renovables y explorar alternativas de sustitución hacia fuentes más sostenibles, como por ejemplo energía solar. **Emisiones:** Las emisiones de gases efecto invernadero son unos de las principales causantes del cambio climático, por lo cual trabajamos en encontrar soluciones para reducirlas (FNC, 2021)

De acuerdo a FNC, (2021), dentro de los aportes destacados en gestión ambiental de la Federación Nacional de Cafeteros se destacan: Cenicafé como brazo científico ha contribuido al desarrollo de una caficultura más limpia y respetuosa con el entorno: A través del desarrollo de variedades resistentes a enfermedades y la promoción de prácticas de manejo integral evitando el uso de fungicidas, insecticidas y herbicidas. El desarrollo de tecnologías para el beneficio húmedo del café: tanque-tina, Becolsub, Ecomill® ha significado: **Ahorro de 10 mil millones de litros de agua al año. Reducir o incluso eliminar los vertimientos.** Al primer trimestre de 2018, más de 30% de los beneficiaderos de café ya eran ecológicos y más del 50% estaban en transición hacia esta tecnología. Según un riguroso estudio bajo el concepto de Acción Nacional de Mitigación Apropriada (NAMA), el cultivo de café en Colombia captura 5,2 veces el carbono que emite, cifra muy elocuente en materia ambiental.

5.2 Sistemas de Producción de Café en Colombia

Un sistema de producción de café en Colombia se define como el conjunto de factores y opciones tecnológicas que, al interactuar entre ellos, permiten obtener la máxima productividad desde el punto de vista biológico, económico y social. El sinnúmero de características edafológicas, climáticas y socioeconómicas en que se cultiva el café en

Colombia da lugar a una amplia gama de sistemas de producción. La Federación Nacional de Cafeteros como parte operativa para el alindamiento de los lotes cafeteros, mediante aerofotografía, sugirió como conceptos básicos a ser aplicados, entre otros, los siguientes:

Lote cafetero a plena exposición solar. Es aquel en el cual el efecto de la regulación de la luz incidente proviene de cualquier especie arbórea permanente, inferior a 20 árboles por hectárea o inferior de 300 especies arbustivas semipermanentes. **Lote cafetero con**

semisombra: Es aquel en el cual el efecto de la regulación de la luz incidente proviene de cualquier especie arbórea superior a 20 e inferior a 50 árboles por hectárea o cualquier especie arbustiva semipermanente, con más de 300 y menos de 750 sitios por hectárea.

Lote cafetero con sombra: Cuando el efecto de la regulación de la luz incidente se debe a la presencia de cualquier especie arbórea permanente con densidad superior a 50 árboles por hectárea, igual a una distancia de siembra aproximada de 14,0 x 14,0 m o cualquier especie arbustiva semipermanente, con más de 750 sitios por hectárea, es decir, distancias de siembra de 3,7 x 3,7 m (Citado por Farfán, 2020).

De otro lado, mediante la estrategia “Más Agronomía, Más Productividad, Más Calidad” formulada por la Federación Nacional de Cafeteros, se ha enfatizado la toma de decisiones correctas basadas en conceptos agronómicos estudiados por el Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé y difundidos a través del Servicio de Extensión de una manera consistente y homogénea, a lo largo y ancho de los departamentos cafeteros que conforman a Colombia. La citada estrategia se enfoca en estas ocho prácticas:

1. Sembrar variedades mejoradas con resistencia durable a la roya
2. Utilizar colinos de café de origen conocido
3. Sembrar o renovar los cultivos en las épocas correctas
4. Establecer la densidad de siembra óptima

5. Definir los ciclos de renovación para mantener los cultivos jóvenes
6. Conocer la acidez del suelo y corregirla para el cultivo del café
7. Nutrir apropiadamente los cultivos
8. Manejar la luminosidad del cultivo (Cenicafé, 2021)

Para reducir las brechas entre productividades actuales y las que ya se logran por parte de caficultores que adoptan las tecnologías, es prioritario seguir de manera correcta la implementación de las prácticas de la estrategia en la conformación de los sistemas de producción, entendiendo que estos sistemas funcionan como un conjunto de componentes que están unidos o relacionados por alguna forma de interacción e interdependencia, y que operan en el marco de un límite para lograr el objetivo de producir y generar ingresos para sus beneficiarios. En esa conformación es importante que cada lote de la finca sea ajustado a las condiciones de siembra y manejo agronómico que le permitan aproximarse a su potencial productivo particular. En este sentido se debe evitar que las plantas se expongan a condiciones de estrés que afecten los procesos de fotosíntesis y de formación de las cosechas (Cenicafé, 2021).

5.3 Proceso de almácigo en la Caficultura Colombiana

El cultivo de café comienza con la selección de la variedad a sembrar, esta debe tener características propias de la producción de café de Colombia, entre ellas, resistencia a la roya del café, alta producción y calidad en la bebida. La primera etapa del crecimiento vegetativo ocurre en el germinador. Esta etapa es importante en la medida que se inicia el desarrollo de los órganos vegetativos, que incluyen la raíz, el tallo y las hojas, que serán el soporte de los órganos reproductivos, directamente relacionados con la producción. Un buen comienzo en el germinador mantendrá al máximo el potencial de crecimiento en las

fases del cultivo, y es la base para el éxito de una inversión a largo plazo, cuando se renueva en cafetal por siembra nueva. El café es una planta perenne, de la cual se espera una vida productiva de por lo menos 20 años; es por esta razón que, al renovar los cafetales por medio de siembras nuevas, es importante obtener el mejor y más vigoroso material de siembra para iniciar el cultivo. Es así como la planeación y manejo adecuado en la finca de plántulas durante la etapa de almácigo, es determinante tanto para la calidad de las plantas obtenidas como para el éxito de la empresa cafetera (FNC, 2013).

Una vez las chapolas han alcanzado el estado de trasplante (+/- 75 días) y que son provenientes del proceso de germinador, se debe verificar que éstas se encuentren libres de *Rhizoctonia solani* o cualquier otra pudrición radical, evidente esta situación por el color café oscuro o negro en las raíces o en el cuello de la raíz. El crecimiento y desarrollo normal de la raíz del colino de café está limitado por el tamaño de la bolsa, Cenicafé recomienda utilizar bolsas de 17 cm de ancho por 23 cm de alto, con capacidad para contener 2 kilogramos de sustrato, estas bolsas 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 cm por 17 cm o 13 cm por 21 cm con capacidad entre 1,0 y 1,5 kg, solo permiten un adecuado crecimiento de la raíz durante los primeros 4 meses o máximo 5.

De otro lado, el sustrato debe contener de dos a tres partes de suelo por una parte de abono orgánico. En este proceso se recomienda el uso de fuentes de materia orgánica bien descompuesta, como: pulpa de café, gallinaza, pollinaza, cenichaza o lombricompuesto. Es significativo evitar usar suelo proveniente de lotes con presencia de cochinillas harinosas, puesto que es el principal medio de diseminación de esta plaga que afecta las raíces del café. Del mismo modo, utilizar suelo libre de la presencia de nemátodos y residuos de raíces, para evitar daños por llagas radicales (Cenicafé, 2011).

5.4 Adopción de tecnologías de bajo impacto ambiental en la agricultura

Al considerarse e incluirse el uso de bolsas biodegradables en la producción de viveros y almácigos en la caficultura, es sustancial plantear como se llevará a cabo el proceso de implementación y adopción de tecnologías a nivel de este importante sector rural. Desde el punto de vista general, Rogers (1995), citado por Duque et al., (2021), plantea que hay cuatro elementos principales que interactúan con el concepto clave de difusión y adopción de innovaciones: en primer lugar, define innovación como la idea, práctica u objeto que se percibe como nuevo por un individuo, grupo u organización. La práctica u objeto puede ser una tecnología que se busca sea adoptada. En segundo lugar, precisa que la comunicación es el proceso mediante el cual los participantes crean y comparten información entre ellos, para llegar a un entendimiento mutuo. En tercer lugar, plantea que el tiempo corresponde al tiempo involucrado en el proceso de decisión por parte del adoptante y la tasa de adopción en el sistema social. Por último, proyecta que el sistema social, es un conjunto de unidades sociales interrelacionadas, por ejemplo, individuos, grupos formales u organizaciones, que se dedican a la resolución de problemas para lograr un objetivo común. Este sistema determina el límite para un proceso de difusión (Rogers, citado por Duque et al., 2021).

De forma consecuente, la ejecución de medidas de obtención de producciones más limpias en el sector agrícola, sin importar el tamaño de la finca y el nivel de producción obtenida, significa fundamentalmente crear prácticas preventivas tendientes a reducir la generación de residuos sólidos contaminantes y emisiones, usar en mejor forma los recursos disponibles, mejorar la calidad de la producción y proteger el medio ambiente.

De otro lado, para ser adoptada de manera generalizada, toda nueva tecnología según la FAO (2022) ha de presentar beneficios y ventajas que atraigan a un amplio conjunto de agricultores que entiendan la diferencia entre lo que están haciendo y lo que necesitan. En el caso de la agricultura de conservación, estos beneficios pueden agruparse como: Beneficios sociales y económicos que mejoran la eficiencia de la producción; beneficios agronómicos que mejoren la productividad del suelo y beneficios ambientales que protegen el suelo y hacen más sostenible la agricultura y en este último hace referencia a la reducción de la erosión del suelo, mejorar la calidad del agua y el aire, aumento de la biodiversidad y retención de carbono.

En un trabajo realizado sobre la adopción de tecnologías verdes y la influencia en las prácticas de responsabilidad social, se determinó que la adopción de tecnologías verdes, a través de la estructura de costo, el ahorro de recursos y el beneficio ambiental, tiene una influencia fuerte en las prácticas de responsabilidad ambiental. El diagnóstico mostró que estos dos constructos en los hoteles de la Ciudad de México (Martínez rubio y otros, 2021) son percibidos por los trabajadores de manera positiva, pero en un nivel bajo-medio. En este sentido, si la adopción de tecnologías es baja o llegara a tener mayores dificultades, entonces las prácticas vinculadas con las políticas ambientales, la regulación y certificación, la oferta de servicios y la satisfacción de la demanda podrían verse afectadas.

En este mismo sentido, Palacios et al., (2016) refieren que, mediante encuesta realizada a 52 expositores de la feria de cafés Expoespeciales año 2015 y que indicaron ser productores de cafés especiales, determinaron mediante un estudio exploratorio la aceptación de una bolsa biodegradable para los almácigos de café. En este estudio, indagaron sobre la cantidad de bolsas para almácigo solicitada por predio y encontraron que el 61% de los encuestados compraron en promedio menos de 10 millares de bolsas

plásticas, el 35% compraron entre 11 y 50 millares y el 4% compra entre 50 y 100 millares. Por otra parte, consultaron la opinión acerca de qué les parece las bolsas biodegradables para almácigos de café y las opiniones con relación al prototipo de bolsas biodegradable a base de almidón fueron: muy interesante 35%, interesante 35% y ninguno de ellos mostró indiferencia o poco interés hacía la bolsa. Entre las respuestas se asoció la no contaminación del entorno y evitar la acumulación de residuos plásticos, además de la siembra directa con bolsa (Palacios et al., 2016).

De otro lado, en un estudio de caso sobre bioalmácigos donde se evaluó la apropiación de conocimiento en su etapa inicial entre investigadores y productores de café, (Palacios et al., 2020), se plasmaron las principales reflexiones iniciales de un proceso de apropiación social de conocimiento desarrollado entre investigadores de la Universidad del Cauca, las Empresarias Cafeteras Sur Huilenses y la Central Cooperativa Indígena del Cauca (Cencoic), donde por medio de la Sistematización de Experiencias, su ordenamiento y reconstrucción, se trató de descubrir los principales determinantes de un proceso de apropiación en su etapa inicial. Como resultado se identificó que los caficultores para una primera etapa, a través de su experiencia y conocimiento, permitieron determinar los factores que pueden dinamizar la apropiación de conocimiento de la tecnología. Lo anterior es relevante para el presente estudio, ya que muchas investigaciones han fracasado al tratar de comunicar los resultados más allá de la comunidad científica, por no involucrar adoptantes tempranos de las tecnologías.

5.4.1 Situación actual de la producción de plásticos y su impacto ambiental

Se estima que cada año en el mundo se consumen 5 billones de bolsas de plástico, lo que supone casi 10 millones de bolsas de plástico cada minuto según la UNEP(2021), al tiempo que el 30% de los 290 millones de toneladas de plástico fabricados anualmente, corresponden a productos de un solo uso (WWF Colombia, 2017). Hasta 2018, se generaron 6.300 millones de toneladas de residuos plásticos, de los cuales el 9% es reciclado, 12% incinerado y 79% al entorno natural. De otro lado, se estima que para el año 2050 habrá aproximadamente 12.000 millones de toneladas de bolsas de plástico, (ONU, 2018) proyectando que menos del 10% de los plásticos utilizados durante la pandemia se reciclarán, y más del 70% llegará a los vertederos o al medio ambiente (UNEP, 2021); finalmente los colombianos usan en promedio 6 bolsas plásticas semanales y 22.000 a lo largo de una vida de 77 años (WWFColombia, 2017).

En este mismo sentido, según Plastics Europe (2020), en 2019, China alcanzó el 31% de la producción mundial de plásticos estimada en 368 millones de toneladas en el mundo frente a 359 millones de toneladas producidas en el 2018, notándose con esto un aumento del 2,44%. Este mismo estudio determinó los siguientes porcentajes de producción de plásticos: Asia produce 51%, Europa 16% y América Latina el 4%, identificando que la demanda de plásticos con destino a la agricultura en Europa está alrededor del 3,4% en el año 2019 (PLASTICS EUROPE, 2020). De otro lado, en Colombia durante el año 2018 el sector de bolsas plásticas reportó un consumo de 1,28 millones de toneladas de resinas plásticas, importando 792.640 toneladas y exportando 692.970 toneladas. Dentro de las aplicaciones más importantes en las cuales se utilizan los plásticos, se destacan el 54% en

envases y empaques de la industria (alimentos, cosméticos y aseo) 22% construcción y 7% agricultura, entre otros (GQSP, 2020).

Con base en las cifras anteriormente expuestas bien puede plantearse que la situación actual de la producción de plásticos de un solo uso ha desbordado la capacidad para su disposición final o manejo en lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación, de tal forma que se han registrados impactos negativos en ecosistemas marinos y terrestres cuyas consecuencias se evidencian en procesos de colapsamiento y declive de sus recursos primarios ocasionando que sus hábitats están siendo ocupados por los diferentes tipos de plásticos.

Reconocida esa situación de impacto medio ambiental se ha recurrido a la incineración como una práctica para la eliminación de los plásticos derivados del petróleo, sin embargo, esta alternativa es altamente contaminante y causa efectos negativos en el ambiente, dentro los cuales pueden reconocerse el incremento de CO₂ en la atmósfera y la liberación de compuestos químicos muy peligrosos como son el caso de las dioxinas, el cloruro y el cianuro de hidrógeno. Como estrategia alterna ha surgido el reciclaje, representado esto en la recolección, acopio, reprocesamiento y remercadeo de productos plásticos que podrían ser considerados desecho. Sin embargo, la práctica del reciclaje de plásticos genera una serie de inconvenientes entre los cuales se identifica que los plásticos objeto de recicle deben ser manejados adecuadamente, esto es, no sólo en su recolección y procesamiento, sino en la limpieza, selección y separación de los materiales a reciclar, proceso que no se cumple en una gran mayoría de casos. De otro lado, los artículos plásticos no pueden ser reciclados indefinidamente, sólo se pueden reciclar tantas veces como lo permitan las condiciones físicas y químicas en las que queda el material después de su procesamiento. Adicionalmente, sólo pueden ser reciclados los termoplásticos, los

plásticos termoestables (aquellos que al ser moldeados sufren modificaciones irreversibles) no pueden ser reciclados (Ballesteros, 2014)

La capacidad de producción mundial de bioplásticos alcanzó 2,11 millones de toneladas en 2019, de las cuales el 55,5% son plásticos biodegradables, aproximadamente 1,17 millones de toneladas (European Bioplastics, 2020). El ácido poliláctico (PLA) es probablemente el plástico biodegradable más conocido, pero hay más de 20 grupos de biodegradables. existen polímeros plásticos. De esos 20, solo 3 grupos se producen en una producción comercial a escala: (i) mezclas de almidón; (ii) PLA; y (iii) polímeros a base de polibutileno, que incluyen PBS (abreviatura de succinato de polibutileno) y PBAT (abreviatura de tereftalato de adipato de polibutileno), que se basan principalmente en combustibles fósiles. Casi el 95% de la capacidad de producción de biodegradables, se encuentran entre estos 3 grupos (European Bioplastics, 2020)

5.5 Pruebas de tracción para la evaluación de los plásticos y tipos de bolsa

5.5.1 Método de prueba estándar para las propiedades de tracción de los plásticos

Este método de prueba está diseñado para producir datos de propiedades de tracción para el control y especificación de materiales plásticos (ASMT D638 – 14). Los datos analizados son de gran utilidad para la caracterización cualitativa y para la investigación y el desarrollo. Algunas especificaciones de materiales que requieren el uso de este método de prueba, pero con algunas modificaciones de procedimiento que tienen prioridad al adherirse a la especificación. Por lo tanto, es aconsejable consultar la especificación de ese material antes de utilizar este método de prueba (D20 Committe, 2020).

Ahora, los ensayos de tensión de materiales plásticos, según (D20 Committe, 2020) son métodos de ensayos ampliamente utilizados y extremadamente importantes. En este sentido, 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. Estos datos hacen posible que tanto los ingenieros de diseño de productos como los responsables de calidad puedan predecir con exactitud el rendimiento de sus productos en las aplicaciones finales. Esta información es crítica para desarrollar nuevos productos, garantizar el cumplimiento de las normas gubernamentales o de la industria, mejorar la fabricación y reducir los costos de producción. Las máquinas de pruebas universales, también conocidas como máquinas de pruebas de tracción, incluyen sistemas electromecánicos e hidráulicos para realizar pruebas de tracción, compresión, flexión, pelado, desgarrado, cizallamiento, fricción y otros tipos de pruebas mecánicas de acuerdo con las normas ASTM, ISO y otras normas del sector.

Algunas características de los equipos universales Instron serie 5500 (Instron, 2022) se detallan a continuación:

- Precisión de la medición de carga: $\pm 0,5\%$ de la lectura hasta 1/1000 de la opción de capacidad de la celda de carga (celdas de carga de la serie 2580)
- Opción de tasa de adquisición de datos de hasta 2,5 kHz simultáneamente en canales de carga, extensión y deformación.
- Rango de velocidad de 0.001 - 3000 mm/min (0.00004 -120 in/min), dependiendo del modelo.
- Panel de control personalizable.
- Ajuste automático de ganancia (permite control de tensión de circuito cerrado)

- Compatible con el software Bluehill® / Soporte técnico remoto Instron® (RTS)
- Protección de muestras.
- Reconocimiento automático de transductores para celdas de carga y extensómetros.
- Opciones adicionales de alto y ancho disponible.
- Miles de empuñaduras y accesorios opcionales.
- Cámaras de temperatura opcionales.
- Cumplimiento total de CE.

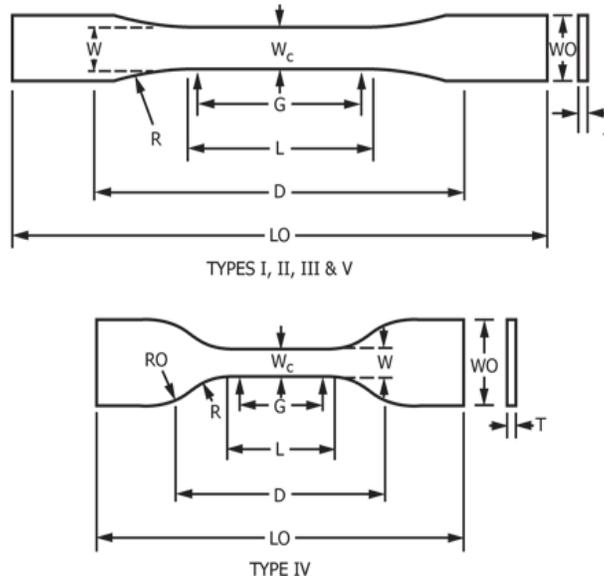
Continuando con algunas consideraciones técnicas, las muestras de prueba deben reunir las siguientes características según la Norma ASMT D638 – 14 (D20 Committee, 2020):

- Para el caso de las láminas, placas y plásticos moldeados, estos son los requisitos básicos para realizar la prueba y definir la probeta:
- Para los **Plásticos rígidos y semirrígidos**: la muestra de ensayo deberá ajustarse a las dimensiones mostradas en la Gráfica 1. El Tipo I el espécimen preferido y se utilizará cuando material suficiente con un espesor de 7 mm (0,28 pulgadas) o menos está disponible. La muestra de tipo II se recomienda cuando un El material no se rompe en la sección estrecha con el preferido Especimen tipo I. La muestra de tipo V se utilizará cuando solo material limitado que tenga un espesor de 4 mm (0,16 pulgadas.) o hay menos disponible para la evaluación, o cuando un gran número de los especímenes deben exponerse en un espacio limitado (térmico y pruebas de estabilidad ambiental, etc.). El espécimen tipo IV es generalmente se usa cuando se requieren comparaciones directas entre materiales en diferentes casos de rigidez (es decir, no rígidos y semirrígido). La

muestra de tipo III debe utilizarse para todos materiales con un espesor superior a 7 mm (0,28 pulgadas) pero no más de 14 mm (0,55 pulgadas).

Gráfica 1.

Características de la probeta según el tipo de material plástico a utilizar.



Fuente: norma ASMT D638 – 14. (2022)

Tabla 2.

Descripción de los diferentes tipos de dimensiones para la probeta.

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}	
W—Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02) ^{B,C}
L—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02) ^C
WO—Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)
WO—Width overall, min ^G	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO—Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G—Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010) ^C
G—Gage length ^I	...	...	...	25 (1.00)	...	±0.13 (±0.005)
D—Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^J	25.4 (1.0)	±5 (±0.2)
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04) ^C
RO—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	±1 (±0.04)

Fuete: norma D20 Committe, (2020).

5.5.2 Ensayos de Tracción

La norma ISO 527-2 es un estándar internacional para determinar las propiedades de tracción de plásticos reforzados y no reforzados. Aunque los resultados logrados con la

norma ISO 527-2 se asemejan a los de la ASTM D638, estas no se consideran equivalentes desde el punto de vista técnico, puesto que existen diferencias en cuanto al tamaño de la muestra y los requisitos de cada ensayo. Mientras que algunos fabricantes mundiales importantes ensayan sus productos tanto con la norma ASTM D638 como con la ISO 527-2. Por lo general, los fabricantes de Norteamérica usan la norma ASTM D638, mientras que los europeos y asiáticos suelen usar, en su mayoría, la ISO 527-2. Los clientes de China usan tanto la ASTM D638 como la ISO 527-2 para ensayar sus productos (INSTRON, 2022).

En este punto vale la pena acotar que la resistencia a la tracción se define como el esfuerzo de tracción máximo soportado por una probeta durante un ensayo de tracción. Cuando un esfuerzo máximo ocurre en su punto de fluencia se designa como resistencia a la tracción en la fluencia, mientras que cuando un esfuerzo máximo ocurre en la ruptura se denomina como resistencia a la tracción en la rotura. Cuando un cuerpo sólido está siendo alargado (o comprimido) por una fuerza uniaxial, este experimentará extensión (o compresión) en la dirección en la cual la fuerza está actuando. Esta deformación también estará acompañada por una deformación lateral: una contracción si la deformación axial es en extensión, o una expansión si la fuerza axial es en compresión (Roa, 2017).

5.5.3 Módulo de Automático de Young (Mpa)

El módulo de elasticidad (E); en ingeniería se diseñan estructuras con el fin de sufrir deformaciones relativamente pequeñas que involucran solo la parte inicial del diagrama que es una recta, la pendiente de la recta en la zona elástica establece la ley de Hooke o módulo de Young, también conocida así en honor a los científico ingleses Robert Hooke y Thomas Young, su unidad de medida es igual a la del esfuerzo (σ) en el sistema internacional (SI),

Pascales (N/m²) dice que tan rígido es un material o la capacidad de resistir deformaciones (Salazar, 2007). La zona elástica por lo general presenta un comportamiento lineal, de allí se obtiene el límite de proporcionalidad, el cual corresponde al punto en el que la curva comienza a desviarse de la linealidad, la pendiente en este tramo es el módulo de elasticidad o de Young. La zona de deformación plástica va hasta el punto de tracción máxima, llamado por algunos, tracción o resistencia última (Archila y Figueroa, 2017).

5.5.4 La zona plástica o desplazamiento a la fuerza máxima.

La zona con cargas superiores a las correspondientes al límite elástico, se caracteriza por:

Mayor sensibilidad a los alargamientos para el mismo incremento de carga. En efecto, las pendientes a la curva son siempre inferiores al módulo de Young, E.

$$E1 = (ds/de)l \ll E \quad P \quad tg \quad a \quad l \ll tg \quad a$$

Los alargamientos conseguidos son remanentes, es decir, no se recuperan cuando cesa el esfuerzo, como se muestra en el punto c del desarrollo.

Ambas características se cumplen en todo el campo de tensiones superiores al límite elástico lo que significa la denominada zona plástica.

La respuesta plástica de un material metálico, se identifica por el carácter remanente de la deformación, e, que determina valores del módulo virtual E1 muy inferiores al de Young E.

Según Guede et al., (2013), la elasticidad es la propiedad de un material de recuperar su forma inicial una vez que deja de aplicarse sobre él una fuerza. La plasticidad es la propiedad opuesta: la deformación plástica se mantiene incluso cuando cesa la fuerza.

Las proporciones de la resistencia total soportadas en condiciones de comportamiento elástico y plástico se pueden expresar de la siguiente manera:

$$\text{Elasticidad} = \sigma_{ult} - \sigma_y$$

$$\text{Plasticidad} = (\sigma_{ult} - \sigma_y) / \sigma_{ult}$$

Un ejemplo de material elástico es el caucho, mientras que un material plástico sería la plastilina.

Ortiz (2007) define otras de las variables medidas en el ensayo de tracción y que permiten identificar las propiedades de los materiales plásticos

La resistencia a la rotura, se define como la tensión soportada por la probeta en el momento de la rotura. Siempre que la probeta no sufra estricción, su valor es próximo al de la resistencia a la tracción. Una vez superada la resistencia a la tracción, la probeta se considera rota. **El alargamiento de rotura (A)**, específica que, como el mayor alargamiento plástico alcanzado por la probeta, este se mide en porcentaje. **La Estricción de rotura (Z)**, que consiste en la disminución de sección que se produce después de la rotura. Se mide porcentaje. **El trabajo de deformación**, reside en el área bajo la curva fuerza-alargamiento y representa el trabajo que es necesario desarrollar para conseguir la rotura de la probeta y la capacidad que tiene el material para absorber trabajo.

5.6 Evaluación de los impactos ambientales

La evaluación de los impactos ambientales se fundamenta en el conjunto de estudios, informes técnicos y consultas que permiten estimar las consecuencias que un determinado proyecto, instalación o actividad causa sobre el medio ambiente. Se trata de un

análisis a través del cual sea posible formar un juicio objetivo y a partir del cual aprobar o rechazar un proyecto valorando para ellos efectos diferentes a los meramente ambientales.

En este sentido, García (2004) describe que existen numerosos tipos de métodos usados en el proceso de evaluación del impacto ambiental de proyectos. Además, estos deben seleccionarse a partir de una valoración apropiada producto de la experiencia profesional y con la aplicación continuada del juicio crítico sobre los insumos de datos y el análisis e interpretación de los resultados. Una de las primeras clasificaciones, relaciona los métodos en cinco grupos: Métodos “ad hoc”, técnicas gráficas mediante mapas y superposiciones, listas de chequeo, diagramas y matrices. De esta última se hará referencia en el desarrollo y metodología de este trabajo de investigación. Realmente, no es un sistema de evaluación ambiental, es esencialmente un método de identificación y puede ser usado como un método de resumen para la comunicación de resultados.

5.6.1 La Matriz De Leopold

Para efectos de la evaluación del impacto ambiental del uso de las bolsas biodegradables, se implementaron análisis basados en la matriz de Leopold denominada “Matriz de Interacciones de Leopold”, ésta es una matriz de interacción simple para identificar los diferentes impactos ambientales potenciales de un proyecto determinado. La matriz de Leopold (ML) fue desarrollada en 1971 en respuesta a la Ley de Política Ambiental de los EE.UU. de 1969. La ML establece un sistema para el análisis de los diversos impactos, el análisis no produce un resultado cuantitativo, sino más bien un conjunto de juicios de valor. El principal objetivo es garantizar que los impactos de diversas acciones sean evaluados y propiamente considerados en la etapa de planeación del proyecto (Leopold et al., 1971).

En esta metodología se utilizan dos tipos de matrices en etapas sucesivas de análisis:

Matriz de identificación de impactos ambientales a partir de la relación entre las acciones del proyecto y los factores a ser evaluados. Estos factores se identifican previamente a partir de listas de chequeo o verificación, extractadas de la bibliografía y discutidas por todos los profesionales que conforman el grupo de trabajo. Pueden realizarse algunos ajustes para su adaptación en proyectos diferentes. **Matriz de importancia como primera valoración** cualitativa de los impactos ambientales identificados sobre los diversos factores ambientales. Esta matriz permite valorar tanto la agresividad de las acciones como los factores ambientales que sufrirán en mayor o menor grado las consecuencias de la actividad en cuestión (Coria, 2008).

De acuerdo con Ponce (1999) la evaluación del impacto ambiental es la penúltima de una serie de pasos o etapas que se describen a continuación:

1. Declaración de los objetivos del proyecto.
2. Análisis de las posibilidades tecnológicas para lograr el objetivo.
3. Declaración de una o varias acciones propuestas, incluyendo alternativas, que puedan causar impacto ambiental.
4. Descripción de las características y condiciones del medio ambiente, antes del inicio de las actividades.
5. Descripción de las acciones propuestas, incluyendo un análisis de costos y beneficios.
6. Análisis de los impactos ambientales de las acciones propuestas.
7. Evaluación de los impactos de las acciones propuestas sobre el medio ambiente.
8. Resumen y recomendaciones.

Ahora, la formulación de una declaración de impacto ambiental (DIA) se compone de cuatro elementos básicos:

1. Análisis de la necesidad de las acciones propuestas (A, B y C).
2. Descripción del entorno en el cual las acciones se llevarán a cabo (D).
3. Discusión de las acciones propuestas (E).
4. Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) de las acciones propuestas sobre diversos factores ambientales (F y G), y un resumen y recomendaciones (H).

La Matriz de Leopold tiene como objetivo identificar, predecir y evaluar los impactos ambientales de las actividades de un proyecto. Esta metodología permite la interacción de las acciones del proyecto en un eje y de los factores ambientales que podrían ser afectados en el otro eje, la interacción de ambas determinaría los posibles impactos.

Continuando con Leopold (1971) la matriz permite estimar subjetivamente los impactos a través de una escala numérica en la que cada casilla es dividida con una línea diagonal y es evaluada según:

- **Magnitud:** La magnitud va del 1 al 10 siendo 1 la alteración mínima y 10 la alteración máxima de los factores ambientales considerados, Este número se anota en la parte superior de la casilla
- **Importancia:** La importancia da el peso relativo que tiene el factor ambiental dentro del proyecto. Este número va anotado en la parte inferior de la casilla. Este valor siempre es positivo. El rango va del 1 al 10.

• **Naturaleza del Impacto:** Si este es (+) el impacto es beneficioso y si es (-) es perjudicial para el medio ambiente. Cuando se quiere determinar el valor de la casilla se debe multiplicar ambas calificaciones, luego seleccionar que acciones son positivas y negativas para el medio ambiente. De la misma manera se determina cuántos factores ambientales son afectados, posteriormente se realiza la suma de cada columna y fila para determinar si las acciones son beneficiosas o perjudiciales y que tan afectados están los factores ambientales.

Descripción de resumen: ¹

Rango de Magnitud: -10 hasta +10

Rango de Magnitud: +1 hasta +10

Valor de cada celda: Magnitud x Importancia

Rango de valor de cada celda: -100 hasta +100

Total: Suma algebraica del valor de las celdas en cada columna o fila

En las Tablas 3 y 4 se detalla, que la magnitud se debe tomar en cuenta la intensidad y afectación y para calificar la importancia se considera la duración e influencia del impacto.

¹ Resumen de los rangos de magnitud e importancia y valores de las celdas. Adaptado de "Guía para la elaboración e interpretación de la matriz de Leopold" por ESPOL, s.f.

Tabla 3.

Calificación de la magnitud e importancia del impacto ambiental negativa

MAGNITUD			IMPORTANCIA		
Intensidad	Afectación	Calificación	Duración	Influencia	Calificación
Baja	Baja	-1	Temporal	Puntual	-1
Baja	Media	-2	Media	Puntual	-2
Baja	Alta	-3	Permanente	Puntual	-3
Media	Baja	-4	Temporal	Local	-4
Media	Media	-5	Media	Local	-5
Media	Alta	-6	Permanente	Local	-6
Alta	Baja	-7	Temporal	Regional	-7
Alta	Media	-8	Media	Regional	-8
Alta	Alta	-9	Permanente	Regional	-9
Muy Alta	Alta	-10	Permanente	Nacional	-10

Fuente: Guía para la elaboración e importancia de la matriz de Leopold. (s.f).

Tabla 4.

Calificación de la magnitud e importancia del impacto ambiental positivo

MAGNITUD			IMPORTANCIA		
Intensidad	Afectación	Calificación	Duración	Influencia	Calificación
Baja	Baja	+1	Temporal	Puntual	+1
Baja	Media	+2	Media	Puntual	+2
Baja	Alta	+3	Permanente	Puntual	+3
Media	Baja	+4	Temporal	Local	+4
Media	Media	+5	Media	Local	+5
Media	Alta	+6	Permanente	Local	+6
Alta	Baja	+7	Temporal	Regional	+7
Alta	Media	+8	Media	Regional	+8
Alta	Alta	+9	Permanente	Regional	+9
Muy Alta	Alta	+10	Permanente	Nacional	+10

Fuente: Guía para la elaboración e importancia de la matriz de Leopold. (s.f).

5.7 Marco legal

5.7.1 Producción de plásticos

Desde los años 70's se ha reglamentado la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de plástico y otros materiales en Colombia, el Gobierno Nacional ha implementado diferentes resoluciones, planes, decretos entre otros tipos de actos

administrativos orientados regular la gestión ambiental en lo referente a la disposición final de material de plástico. Inicialmente se estableció el decreto ley 2811 de 1974 código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente.

Posteriormente, en el año 2002 se establece el decreto 1713 que reglamentó la ley 142 de 1994, ley 632 de 2000 y la ley 689 del 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el decreto ley 2811 de 1974 y la ley 99 de 1993 en relación con la gestión integral de residuos sólidos. En el 2014, la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) mediante el Programa de Evaluaciones del desempeño ambiental proporcionó valoraciones independientes de los avances que Colombia viene cumpliendo frente a los compromisos de sus políticas ambientales nacionales e internacionales y realizó las recomendaciones pertinentes sobre esas políticas (OECD, 2014).

De igual forma, en el año 2014 se actualizan los planes de gestión de los residuos sólidos por parte del Ministerio de Vivienda (Resolución 0754 2014).

En el Decreto 1076 de 2015, expedido por el presidente de la República y cuyo objetivo era compilar y racionalizar las normas de carácter reglamentario que rigen el sector Ambiente, se definieron los diferentes tipos de conductas, que dan lugar a un comparendo ambiental, entre ellas: extraer parcial o totalmente el contenido de las bolsas y recipientes para los residuos sólidos una vez presentados para su recolección, este comportamiento representa una infracción a las disposiciones sobre recuperación y aprovechamiento previstas en las normas sobre servicio público de aseo contempladas en la reglamentación única para el sector de Vivienda, Ciudad y Territorio (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015).

A través del plan Nacional de Desarrollo 2014 – 2018 (Ley 1735 del 2015) se establece como estrategia el crecimiento verde. Bajo esta ley el Gobierno nacional, a través del Departamento Nacional de Planeación en coordinación con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y con participación de los ministerios, formulará una política de crecimiento verde de largo plazo en la cual se definan los objetivos y metas de crecimiento económico sostenible. Dentro de sus estrategias se diseñará un programa de promoción de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación para el fortalecimiento de la competitividad nacional y regional a partir de productos y actividades que contribuyan con el desarrollo sostenible y que aporten al crecimiento verde. Asimismo, se revisarán los mecanismos e instrumentos de mercado existentes que puedan tener efectos adversos sobre el medio ambiente, con el fin de proponer su desmonte gradual y nuevos mecanismos e instrumentos de mercado que fomenten el crecimiento verde.

En el año 2015 se modifica y adiciona el Decreto número 1077 de 2015 en lo relativo con el esquema de la actividad de aprovechamiento del servicio público de aseo y el régimen transitorio para la formalización de los recicladores de oficio, y se dictan otras disposiciones. En las actividades de aprovechamiento, los residuos deben cumplir por lo menos con los siguientes criterios básicos y requerimientos para que los métodos de aprovechamiento se realicen en forma óptima:

1. Los residuos sólidos deben estar debidamente separados por tipo de material, de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) o en su defecto sujetándose a lo establecido en el programa de prestación por la persona prestadora de la actividad de aprovechamiento.

2. No deben estar contaminados con residuos peligrosos, metales pesados, ni bifenilos policlorados. Parágrafo. En el caso de las fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables, el almacenamiento temporal no puede superar las cuarenta y ocho (48) horas (Ley 1077, 2015).

En el mismo orden de ideas, el CONPES 3874 de 2016, resolución 2184 del 26 de diciembre del 2016, describe el enfoque de la política de gestión de los residuos no peligrosos buscando con ello aportar tanto al desarrollo sostenible como a la adaptación y mitigación del cambio climático. Por lo anterior, en el citado documento CONPES se desarrolló la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos como una política nacional de interés social, económico, ambiental y sanitario. Esta política se compone de cuatro ejes estratégicos:

El primer eje busca adoptar medidas encaminadas hacia (i) la prevención en la generación de residuos; (ii) la minimización de aquellos que van a sitios de disposición final; (iii) la promoción de la reutilización, aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos; y (iv) evitar la generación de gases de efecto invernadero. Como complemento, el segundo eje apunta a mejorar la cultura ciudadana, la educación e innovación en gestión integral de residuos sólidos para incrementar los niveles de separación en la fuente, de aprovechamiento y de tratamiento. Los residuos peligrosos presentan una dinámica propia y cuentan con una política y normatividad que promueve su prevención y minimización (Departamento Nacional de Planeación, 2016).

Continuando con los documentos CONPES vale la pena citar el CONPES 3934 en el cual se define que el Crecimiento Verde hace referencia a aquellas trayectorias de crecimiento que garantizan el bienestar económico y social de la población en el largo plazo, asegurando la conservación del capital natural y la seguridad climática. Con el fin de

llevar al país a una transición hacia un modelo económico más sostenible, competitivo e inclusivo, el citado documento CONPES contiene la política de crecimiento verde para el país, la cual se compone de cinco ejes estratégicos. El primer eje está orientado a generar nuevas oportunidades económicas que permitan diversificar la economía a partir de la producción de bienes y servicios basados en el uso sostenible del capital natural. El segundo eje busca mejorar el uso de los recursos naturales en los sectores económicos de manera que sean más eficientes y productivos, y se reduzcan y minimicen los impactos ambientales y sociales generados por el desarrollo de las actividades productivas. El tercer eje promueve la generación y el fortalecimiento del capital humano para afrontar los nuevos retos de conocimiento y experiencia que genera el crecimiento verde. El cuarto eje establece acciones estratégicas en materia de ciencia, tecnología e innovación como herramienta necesaria para avanzar hacia cambios en los sectores productivos y encontrar nuevos procesos, insumos y tecnologías más eficientes que generen valor agregado a la economía nacional. El quinto eje expone las acciones para asegurar una coordinación y articulación interinstitucional requeridas para la implementación de la presente Política, al igual que el fortalecimiento de las capacidades para la generación de información necesaria para la toma de decisiones en crecimiento verde y mecanismos para la financiación de proyectos sostenibles (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

Finalmente, la resolución 2184 de 2019 “Por la cual se modifica la resolución 668 de 2016 sobre el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones” determina, por un lado, las modificaciones que recaen sobre los indicadores del programa de uso racional de bolsas plásticas, y de otro lado, establece el formato único nacional para la presentación de dicho programa y la distribución de colores para la separación de residuos sólidos en el país. Mediante la mencionada resolución el Ministerio de Ambiente y

Desarrollo Sostenible -MADS- modificó los indicadores sobre los cuales se determina el Porcentaje de Reducción de Bolsas Vendidas respecto al año base – PRBV. Así mismo, la norma ordena a los distribuidores de bolsas plásticas incorporar dichos indicadores en el reporte anual de cantidad de bolsas vendidas que debe ser entregado a la autoridad, (resolución 2184 de 2019), en este sentido los datos reportados le servirán al MADS para consolidar la información y a su vez, medir los resultados y el impacto ambiental del programa de Uso Racional de Bolsas Plásticas (República de Colombia Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

Actualmente, se está tramitando un proyecto de ley en la Cámara de Representantes por medio del cual se establecen medidas tendientes a la reducción de la producción y el consumo de los plásticos de un solo uso en el territorio nacional, se regula un régimen de transición para reemplazar progresivamente por alternativas reutilizables biodegradables u otras cuya degradación no genere contaminación, se crean mecanismos de financiación y se dictan otras disposiciones".

5.7.2 Plásticos biodegradables

La EN 13432 de 2002 es una norma armonizada del Comité europeo de normalización (Asociación Española de Normalización, 2001) sobre las características que un material debe poseer para poder ser definido biodegradable o compostable. El término “compostable” se refiere a normas relacionadas con la toxicidad del material descompuesto si se abandona en el medio ambiente. Esta norma lleva por título: “Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación. Programa de ensayo y criterios de evaluación para la aceptación final del envase o embalaje”. Uno de los objetivos de la norma consiste en definir conceptos cada vez más difundidos, pero no

siempre igual de claros, como biodegradación, compostabilidad, materiales biodegradables y compostables. Según la norma EN 13432, un material para ser definido “compostable” debe poseer las características siguientes:

- Degradarse como mínimo del 90% en 6 meses, si es sometido a un ambiente rico de dióxido de carbono. Estos valores deben probarse con el método estándar EN 14046 (que también recibe el nombre de ISO 14855).
- En contacto con materiales orgánicos, al cabo de 3 meses la masa del material debe estar constituida como mínimo por el 90% de fragmentos de dimensiones inferiores a 2 mm. Estos valores deben probarse con el método estándar EN 14045.
- El material no debe tener efectos negativos sobre el proceso de compostaje.
- Baja concentración de metales pesados incorporados en el material.
- Valores de pH dentro de los límites establecidos.
- Contenido salino dentro de los límites establecidos.
- Concentración de sólidos volátiles dentro de los límites establecidos.
- Concentración de nitrógeno, fosforo, magnesio y potasio dentro de los límites establecidos (Campuzano et al., 2020).

5.7.3 Plásticos oxobiodegradables

La norma ASTM D6954-18, guía estándar para exponer y probar plásticos que se degradan en el ambiente por combinación de oxidación y biodegradación, es el principal estándar internacional que respalda los criterios de calidad para plásticos biodegradables y

busca determinar el grado y la velocidad de degradación de estos. El procedimiento consta de tres pasos realizados consecutivamente (D20 Committe, 2018):

El primero evalúa y calcula la pérdida de propiedades físicas del plástico luego de someter el material a un proceso de foto degradación, para el cual se tienen en cuenta los rangos de humedad de la materia sometida al proceso, y se establecen a que rango de temperatura debe ser expuesto. Esto con el fin de simular las condiciones ambientales reales en las cuales el plástico debería ser degradado. Eventualmente los residuos obtenidos de la práctica anterior pasan a ser evaluados con el fin de medir el grado de descomposición una vez finaliza el proceso de foto degradación al que fueron sometidos. Seguidamente el material resultante es expuesto a diferentes métodos de prueba, considerando las diferentes condiciones en que se presenta la biodegradación tanto aeróbica o anaeróbica. Por último, los resultados obtenidos son sometidos a pruebas que designan el impacto ecológico a causa del material plástico biodegradable (D20 Committe, 2018).

Si bien es cierto existen algunas normas legales que regulan el expendio de polietileno de baja densidad (PEBD tradicional), tales como la resolución 1407 y el decreto 2198 mediante las cuales se especifica el manejo, la producción y adquisición de cualquier material que este hecho o diseñado con PEBD tradicional; no existe información en el país que respalde las bolsas oxo-biodegradables, ni su uso, ni su producción y mucho menos las ventajas que estas poseen frente a las bolsas o materiales hechos de PEBD tradicional. En síntesis, Colombia presenta una brecha en normas que regulen nuevos plásticos más amigables con el medio ambiente, entre ellos los oxo-biodegradables (Álvarez y Andrade, 2021).

De acuerdo con los estándares nacionales e internacionales sobre la producción de plásticos oxo-biodegradable (Alvares y Andrade, 2021), en la norma ISO 17556 se aclara que el enfoque de simular un proceso degradativo a nivel ambiental, más los resultados entre una y varias réplicas pueden ser distintas; esto quiere decir que aunque se está tratando de replicar el suceso degradativo que puede ocurrir con el PEBD oxobiodegradable a nivel ambiental, no siempre se van a lograr los mismo resultados entre cada una de las réplicas, esto en virtud a márgenes de error propios del proceso, sin embargo, cabe resaltar que este margen de error trata de reducirse mediante el control de la humedad en la prueba.

El factor clave a analizar es si las bolsas logran degradarse en cualquier tipo de ambiente, teniendo en cuenta lo anterior y que para obtener un porcentaje de degradación del 70% se debe dejar el material plástico un tiempo mínimo de 8 meses a humedad controlada, la respuesta puede ser negativa. En países como Francia aún no se considera que el plástico oxobiodegradable tenga las propiedades para reemplazar completamente a los demás plásticos, por ende, se vienen realizando pruebas tanto en el medio terrestre, como en el marítimo, “un estudio importante aún en proceso, es el estudio de Oxomar; el cuál analiza el porcentaje de degradación del plástico en el mar” (S. environmental, 2018).

También se encuentra que a diferencia de la norma ISO 11266 (ISO, 2019), que se utiliza para una variedad de compuestos orgánicos, la ISO 17556 está especialmente diseñada para determinar la biodegradabilidad de materiales plásticos, de forma práctica la empresa “Symphony environmental” (S. environmental, 2018) la utiliza como base para los plásticos oxo-biodegradables.

5.7.4 Plásticos reciclados o con más de un uso.

Desde el Gobierno Nacional, específicamente desde el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se han generado iniciativas con el fin de lograr que, a 2030, el 100 % de los plásticos que circulen en el mercado sean reutilizables, reciclables o compostables (Minambiente, 2021). El primer paso para lograr esa meta será conseguir que, a 2023, los empresarios hayan avanzado en la sustitución de plásticos en las etapas de producción, distribución y comercialización. A 2025, se espera que el 25 % de los productos sean fabricados con materiales sostenibles y reciclados para con ello conseguir que los desechos plásticos sean usados como insumos por otras industrias. Paralelamente, el gobierno nacional ha avanzado en medidas como prohibir el ingreso de plásticos de un solo uso al sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia y desarrollar 27 proyectos piloto colectivos de gestión de envases y empaques. Estos están enmarcados en la reglamentación de la gestión ambiental de residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio y metal.

5.8 Características de los tipos de bolsas utilizadas en la investigación

A continuación, se describen los tipos, materiales de fabricación y otra información relevante de las bolsas usadas en el estudio.

5.8.1 Almidón de yuca

Frente a este componente Natpacking, (2022) define las siguientes características

- **Compostables:** Degradación en condiciones de compostaje natural por la acción de microorganismos (bacterias, hongos, algas) en máximo 180 días.

- **100% naturales.** Están hechas principalmente de almidón natural y aceites vegetales que no contaminan el medio ambiente.
- **Hidrosolubles:** Se pueden disolverse en agua caliente a 80° centígrados.
- **Libres de plástico:** No contienen plástico, ni derivados del petróleo. No contaminan nuestras fuentes hídricas.
- **No tóxicas:** Al no contener derivados del petróleo, no son tóxicas y pueden ser consumidas por animales.

5.8.2 Ácido Poliláctico

Dentro de la familia de compuestos biodegradables y compostables, uno de los más comunes y versátiles es el ácido poli láctico o mejor conocido como PLA. Plastipack (2022) define alguna de sus características:

- Esta resina es 100% biodegradable bajo condiciones de compostaje adecuadas. Con esta resina se pueden fabricar todo tipo de envases y empaques. El material en sí es impermeable, no absorbe olores ni sabores, se puede personalizar de manera sencilla, es resistente, tiene resistencia al impacto, y se puede usar para embalar todo tipo de productos de uso común y cotidiano incluidos alimentos, bebidas, insumos, y medicinas.
- Puede ser desechado junto con los demás residuos orgánicos
- No agota los recursos naturales
- Es económicamente viable

5.8.3 Polietileno reciclado con acelerante de biodegradación enzimática

- Elaboradas con plástico 100% reciclado. Por cada Kilo de plástico reciclado, se ahorra 1,8 kg de petróleo.
- Para fabricar un kg de plástico de cero, se emiten 3,5 kg de CO₂. El ahorro de emisiones de plástico reciclado es de 1,8 kg de CO₂.
- Se emplean 412 litros de agua por cada kilogramo de plástico producido nuevo. Por cada kilogramo de plástico reciclado producido se emplean 1,7 litros de agua.
- Contienen un aditivo biodegradable BioSphere. enzimático de última tecnología que permite iniciar un proceso de biodegradación acelerado, una vez llega a un ambiente microbianamente activo.
- Biodegradación entre 1 y 5 años (Plastisol, 2022)

5.8.4 Biopolímero compostable

- Con ecovio®, BASF ofrece un polímero compostable certificado que también contiene un contenido de base biológica variable. Consiste en el polímero compostable BASF ecoflex®, ácido poliláctido (PLA) y otros aditivos. A diferencia de los bioplásticos simples a base de almidón, ecovio® es más resistente al estrés mecánico y la humedad.
- Está compuesto por un polímero compostable certificado que también contiene una base biológica variable.
- Polímero compostable, ácido poliláctido (PLA) y otros aditivos.
- Las propiedades del producto se diseñaron de tal manera que los productos solo se biodegraden completamente en abono después de su uso (BASF, 2022)

5.8.5 Oxobiodegradable - D2W

- D2W convierte el plástico ordinario (al final de su vida útil, en presencia de oxígeno) en un material que es biodegradable en el medio ambiente (no sólo en el compost).
- Devuelve de materiales orgánicos a base de carbono de nuevo al eco-sistema en una escala de tiempo medido.
- Se va a autodestrucción sin riesgo alguno dentro del plazo especificado en la fabricación.
- No se degradará antes de tiempo. Aditivo adicionado al polietileno inicia degradación a partir de 24 meses (Plastipack, 2022)

6 Objetivos.

6.1 General

Evaluar técnica y ambientalmente el uso de bolsas biodegradables como alternativa sostenible en los procesos de almácigo y siembra en el sistema de producción de café.

6.2 Específicos

1. Analizar los parámetros de resistencia física y deterioro de las bolsas biodegradables para uso en almácigos de café.
2. Evaluar el crecimiento y desarrollo vegetativo de plántulas de café en la etapa de almácigo y siembra en campo durante seis meses.
3. Determinar el impacto ambiental del uso de diferentes bolsas biodegradables.
4. Estimar los indicadores técnicos asociados a las labores de almácigo y siembra en campo.

7 Metodología

7.1 Localización y características de clima

El proceso investigativo se realizó en la Estación Experimental Naranjal del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), ubicada en Chinchiná, Caldas, Colombia (04°58' N y 75°39' W, a 1381 m de altura). Con una temperatura promedio de 21,7 °C, humedad relativa 85% y una precipitación anual promedio de 2.656 mm.

7.2 Diseño experimental y tratamientos

El Nivel de esta investigación es explicativo, utilizando el diseño de investigación experimental en una vía, el cual se describe más adelante en cada una de las fases de desarrollo de esta investigación, con la que se aborda el fenómeno de estudio (Exploratoria, descriptiva o explicativa). Para ello se definieron los tratamientos que se describen en la Tabla 5, las dimensiones de las bolsas y la descripción de cada una de ellas: seis tipos de bolsas con componente biodegradable, dos tipos de bolsas oxobiodegradables y tres bolsas testigos de polietileno de baja densidad.

Tabla 5.

Materiales, descripción, tratamientos y dimensiones de las bolsas.

Descripción	Grupo – Dimensiones	Tratamiento	
Almidón de yuca	1	13 cm x 21 cm	1
Resina de ácido poliláctico		13 cm x 21 cm	2
Polietileno Testigo		13 cm x 21 cm	3
Polietileno Testigo		13 cm x 17 cm	4
Polietileno reciclado con acelerante de biodegradación enzimática		13 cm x 21 cm	5
Biopolímero compostable		15,5 cm x 21 cm	6
Biopolímero compostable		12,5 cm x 20,5 cm	10
Oxobiodegradable - D2W 2 al 3% baja densidad		2	17 cm x 23 cm	7
Oxobiodegradable - D2W 1 al 2% baja densidad	17 cm x 23 cm		8
Almidón de yuca	17 cm x 23 cm		9
Polietileno Testigo	17 cm x 23 cm		11

Fuente: Elaboración propia (2022).

Cada tratamiento (tipo de bolsa) estuvo conformado por 500 unidades experimentales. La unidad experimental (UE) correspondía 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 campo (Tabla 5). El manejo agronómico de las poblaciones en etapa de almácigo, se realizó siguiendo las recomendaciones de Cenicafé (Gaitán et al, 2011). Una vez las plántulas fueron establecidas en campo, las prácticas de manejo agronómico se realizaron con base en los criterios descritos en el manual de cafetero colombiano para el establecimiento y levante del cultivo (FNC, 2013). Las plantas fueron establecidas o sembradas en campo, con una densidad de siembra de 10.000 plantas por hectárea, con distancias de un metro entre plantas por un metro entre surcos.

En la determinación del efecto del tipo de bolsa biodegradable sobre el crecimiento y desarrollo de la planta en etapa de almácigo y siembra en campo, se realizaron las siguientes fases, según los objetivos planteados:

7.3 Pruebas de resistencia de las bolsas en etapa de almácigo y siembra

Corresponde al desarrollo del objetivo número 1: analizar los parámetros de resistencia física y deterioro de bolsas biodegradables para uso en almácigos de café.

Esta primera etapa se inició con la siembra de 500 chapolas en bolsas (UE) para cada uno de los tratamientos. Durante el proceso se midieron los tiempos de llenado, encarre y enchapole (variables de interés), se realizaron dos evaluaciones para medir la resistencia de las bolsas, 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.

Se determinó la degradación de los materiales de las bolsas tales como almidón de yuca, resina de ácido poliláctico, biopolímero compostable, polietileno reciclado con acelerante de biodegradación enzimática, oxobiodegradables y los testigos de polietileno. Para ello, se realizaron pruebas de resistencia a esfuerzo mecánico de rotura por tracción, correspondientes a los estándares ASTM 638 – 14 (variable de interés). A su vez, se utilizó la máquina universal de pruebas Instron, donde se aplicaron los parámetros de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, por sus siglas en inglés ASTM; organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios. (D20 Committe, 2020).

El equipo INSTRON 5569 es denominado también como máquina universal, la cual se asemeja a una prensa con la que es posible someter materiales a ensayos de tracción y compresión para medir sus propiedades. La presión se logra mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o un sistema hidráulico (Imagen 1).

Imagen 1.

Uso y equipo Instron® 5569



Fuente: Archivo personal del investigador (2022).

En esta investigación se midió la resistencia de los materiales a la fuerza estática o aplicada lentamente a través del equipo Instron. Las variables derivadas para cada tratamiento en cada muestreo fueron las siguientes: fuerza máxima de tracción (Newton), Tenacidad al máximo esfuerzo (N/tex), Desplazamiento al máximo esfuerzo (milímetros), Deformación por tracción al máximo esfuerzo (Porcentaje %), Tenacidad a la Rotura (Estándar). Estas pruebas se realizaron en probetas normalizadas según la norma ASTM D638 (D20 Committe, 2020). Para la aplicación del test de la norma ASTM638 – 14, se emplearon mordazas como las que se muestran en la Imagen 2.

Imagen 2.

Mordazas diseñadas para el equipo Instron® 5569



Fuente: Archivo personal del investigador (2022).

Continuando con el proceso experimental, 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 (Imagen 3). La propiedad mecánica resistencia a la tracción determina la aptitud o capacidad para resistir las fuerzas externas de un material plástico, para la evaluación de esta variable con los diferentes materiales se registraron los tiempos: sin uso (Nuevas) o con uso a los 4, 5 y 6 meses después del establecimiento del almacigo (Usadas) sometiendo las bolsas a la fuerza por tracción en el equipo Instron (ATSM D368 – 14) a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura. En esta prueba se mide la deformación (alargamiento) de la probeta entre dos puntos fijos, en la medida que se incrementa la carga o fuerza aplicada (INSTRON, 2022).

Imagen 3.

Mordazas diseñadas para el equipo Instron® 5569



Fuente: Archivo personal del investigador (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 análisis de varianza con cada una de las variables y para aquellas que indicaron efecto de tratamientos, se aplicó la prueba de Dunnett al 5% para determinar las diferencias con respecto al tratamiento 11 (Bolsas de Polietileno).

7.4 Crecimiento y desarrollo de las plántulas

Corresponde al desarrollo del objetivo número 2: evaluar el crecimiento y desarrollo vegetativo de plántulas de café en la etapa de almacigo y siembra en campo.

Para la evaluación del crecimiento y desarrollo de las plantas, se seleccionaron de cada tratamiento 30 plantas al finalizar la etapa de almacigo y se determinó: la altura de plantas en centímetros desde la base del tallo hasta el ápice, la materia seca en gramos de

raíz, hojas y tallo, además se establecieron relaciones entre los valores de los diferentes órganos evaluados en las plantas (Hunt, 1990) (variables de interés).

Para cada tratamiento y variable de respuesta, se estimó el promedio con su respectivo intervalo con un coeficiente de confianza del 95%. Las variables altura de la planta y peso seco se analizaron a partir de modelos lineales generalizados, asumiendo la distribución gamma con función de enlace Logarítmica dado que las distribuciones de las variables no presentaron distribución normal.

Para la evaluación de los tratamientos en la etapa de siembra en campo se establecieron aquellos donde al menos el 99% de 420 plantas, es decir, al menos 416 bolsas por tratamiento en la etapa de almácigo fueran resistentes al proceso de cargue, transporte, distribución y siembra. A los seis meses, en 30 plantas seleccionadas, según un muestreo $1/k$ en cada tratamiento, se determinó el estado de desarrollo de la raíz con relación al testigo establecido sin bolsa. Para esta variable se determinó adicionalmente la longitud de las raíces laterales y raíz principal. Además, para todos los tratamientos incluido el testigo, se determinó la materia seca de la raíz (variable de interés), altura de planta (cm) número de cruces, diámetro de copa, longitud de la rama más larga, número de nudos por rama, y diámetro del tallo.

El análisis de la información consistió en estimar para cada tratamiento y variable de respuesta el promedio con su respectivo intervalo, esto con un coeficiente de confianza del 95%. Se hizo un análisis de componentes principales con el fin de determinar las variables que mayor peso y variación aportan para explicar las diferencias entre los diferentes tratamientos, donde a partir de los resultados se realizó el análisis de varianza para las variables altura (cm) y diámetro de la copa (cm), usando la prueba de comparación de Dunnett al 5% con respecto al tratamiento 11.

Con el fin de evaluar la hipótesis de investigación, correspondiente al peso seco de la raíz en la cual se esperaba que el peso seco de la raíz fuese igual o superior al tratamiento testigo, se recurre a modelos lineales generalizados como técnica de análisis, asumiendo para ello la distribución gamma con función de enlace logarítmica.

7.5 Impacto ambiental del uso de las bolsas

Corresponde al desarrollo del objetivo número 3: determinar el impacto ambiental del uso de diferentes bolsas biodegradables.

Para efectos de la evaluación del impacto ambiental del uso de las bolsas biodegradables, se aplicó el análisis basado en la matriz de Leopold, denominada “Matriz de Interacciones de Leopold”, ésta es una matriz de interacción simple para identificar los diferentes impactos ambientales potenciales de un proyecto determinado. Esta matriz de doble entrada tiene como filas los factores ambientales que pueden ser afectados y como columnas las acciones que tendrán lugar y que pueden causar impactos. Luego de la depuración de la matriz de identificación (primera etapa) se obtiene la matriz de importancia (segunda etapa). Cada cuadro se divide en diagonal. En la parte superior se coloca la magnitud M (extensión del impacto) precedida del signo “+” o bien “-”, según el impacto sea positivo o negativo, respectivamente. La escala empleada incluye valores del 1 al 10, siendo 1 la alteración mínima y 10 la alteración máxima. En el triángulo inferior se coloca la importancia – I (intensidad) –, también en escala del 1 al 10. La suma por filas indica las incidencias del conjunto de acciones sobre cada factor, y por lo tanto su grado de fragilidad. La suma por columnas provee la valoración relativa del efecto que cada acción producirá, es decir, su agresividad (Coria, 2008).

De igual forma se establecieron los impactos ambientales, siguiendo la recomendación metodológica establecida por la comisión de la unión europea (UE, 2013). La Huella Ambiental de Producto (HAP) de la Unión Europea es una metodología para calcular el impacto medioambiental total de los productos. Su objetivo es permitir el suministro de información fidedigna y comparable sobre los productos. En este análisis se substraen de la matriz de Leopold, la valoración de la magnitud (Intensidad y afectación) la importancia (duración e influencia) y su estimación con relación a los 14 impactos determinados por la comisión de la unión europea para cada tipo de bolsa evaluada en esta investigación: acidificación del suelo, estructura y composición del suelo, eutrofización terrestre, cambio climático, calidad del aire, eutrofización acuática, turbidez, ecotoxicidad agua dulce, agotamiento del recurso, estructura y composición de la vegetación, hábitat de la fauna, variedad de especies, hábitat de la flora y consumo de fósiles.

7.6 Análisis de los indicadores técnicos.

Corresponde al desarrollo del objetivo número 4: Estimar los indicadores técnicos asociados a las labores de almácigo y siembra en campo.

En la evaluación del tiempo empleado en la ejecución de las labores asociadas al proceso de manejo del almácigo a nivel experimental, se tuvo como referente cada unidad operativa con base en un jornal de 9 horas de trabajo y el indicador correspondiente para la obtención de 500 plantas por cada tratamiento. Se calcularon los tiempos de realización de las labores de llenado de las bolsas, encarre en eras y enchapole o siembra de las chapolas, constatando la resistencia a la manipulación de los materiales de fabricación de las bolsas.

Los colinos establecidos en contenedores biodegradables se sembraron con bolsa y como testigo se establecieron sin bolsa los colinos provenientes de polietileno. De cada tratamiento se llevaron a campo 420 plantas y se tomaron los tiempos de transporte, distribución y siembra, verificando la resistencia a la manipulación de cada tratamiento en el desarrollo de estas actividades.

8. Resultados y Discusión

8.1. Pruebas de resistencia de las bolsas en etapa de almácigo y siembra

Corresponde al desarrollo del objetivo número 1: analizar los parámetros de resistencia física y deterioro de bolsas biodegradables para uso en almácigos de café.

Al momento de someter el plástico a un proceso de estiramiento se pudo determinar la reacción ante la fuerza aplicada. A medida que el material fue sometido a la prueba se registró la fuerza en cada momento (Newton) y el desplazamiento del material (Alargamiento en milímetros). Según los resultados que se presentan en la Gráfica 2, el tratamiento 1 empleó proporcionalmente una fuerza de 13,8 y 13,7 Newton (N) hasta sufrir deformaciones en bolsas nuevas y usadas. Así mismo, el tratamiento 6 mostró valores de 5,7 y 3,5 Newton, mientras el testigo registró valores de 14,2 N en bolsas nuevas y 11,5 N en bolsas usadas.

En la Gráfica 2 puede observarse que los valores iniciales (Nueva) en la mayoría de los tratamientos, son superiores a los valores en las bolsas después de ser usadas (Usada), estos resultados son un indicador del proceso de deterioro y degradación sufrida por los diferentes materiales, una vez son 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 se observa, que las bolsas fabricadas con ácido poliláctico (Tratamiento 2) presentaron valores de esfuerzo de tracción mayores en bolsas nuevas (15 Newton) en comparación con las bolsas evaluadas luego del proceso de almácigo con 4 Newton.

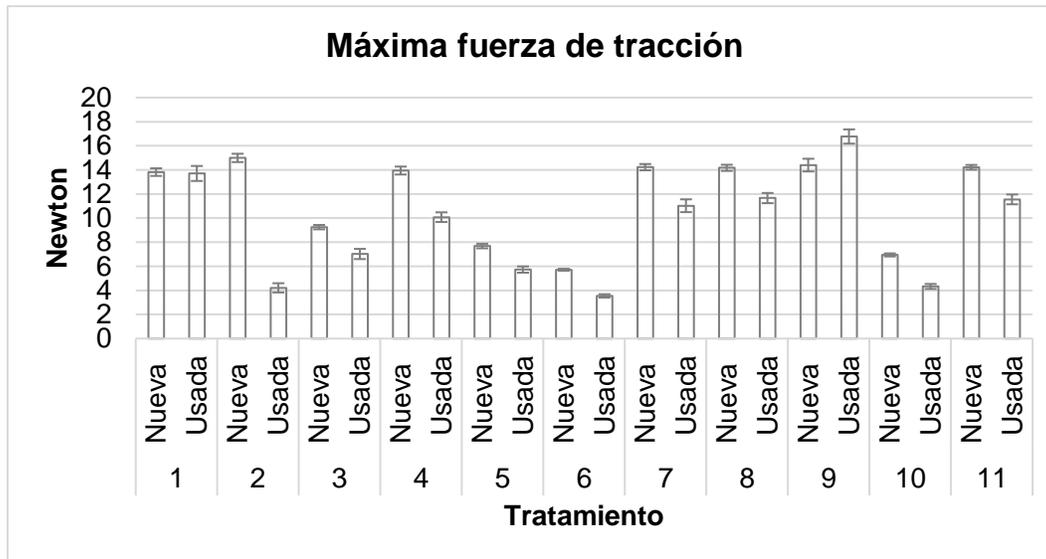
Estos compuestos de ácido poliláctico se caracterizan por sus propiedades biodegradables y para la evaluación en la etapa de almácigo no surtió los tiempos y parámetros de resistencia establecidos para su uso como contenedor, esto debido a su temprana biodegradación y pérdida de resistencia o rompimiento de las bolsas en los procesos de selección en almácigo, transporte y distribución en el lote definitivo de siembra. Lo anterior la clasifica como un material frágil y su característica principal es la alta capacidad de deformarse ante fuerzas externas antes de registrar un rompimiento.

En los biopolímeros compostables, tratamientos 6 y 10, por ser un polímero compostable que contiene una base biológica variable con ácido poliláctico (PLA) y otros aditivos; a diferencia de los bioplásticos simples a base de almidón, este biopolímero es más resistente al estrés mecánico y la humedad. Si bien es cierto, estos dos tratamientos presentaron valores inferiores a los tratamientos testigos (3, 4 y 11) con relación a los esfuerzos por tracción, durante el proceso de almácigo las bolsas lograron resistir hasta la siembra en campo.

De otro lado, los tratamientos 7 y 8, asociados a las bolsas oxobiodegradables presentaron altos valores a los esfuerzos por tracción, caracterizándose como un material dúctil o que tiene la capacidad para estirarse. Cuando estas bolsas se sometieron a dos cargas de igual dirección, sentido contrario y divergentes, expresaron valores promedios de 14 Newton en bolsas nuevas y 12 Newton en bolsas usadas, situación que demuestra su resistencia y durabilidad al proceso de almácigo.

Gráfica 2.

Fuerza en Newton empleada en bolsas nuevas y usadas.



Fuente: Elaboración propia (2022).

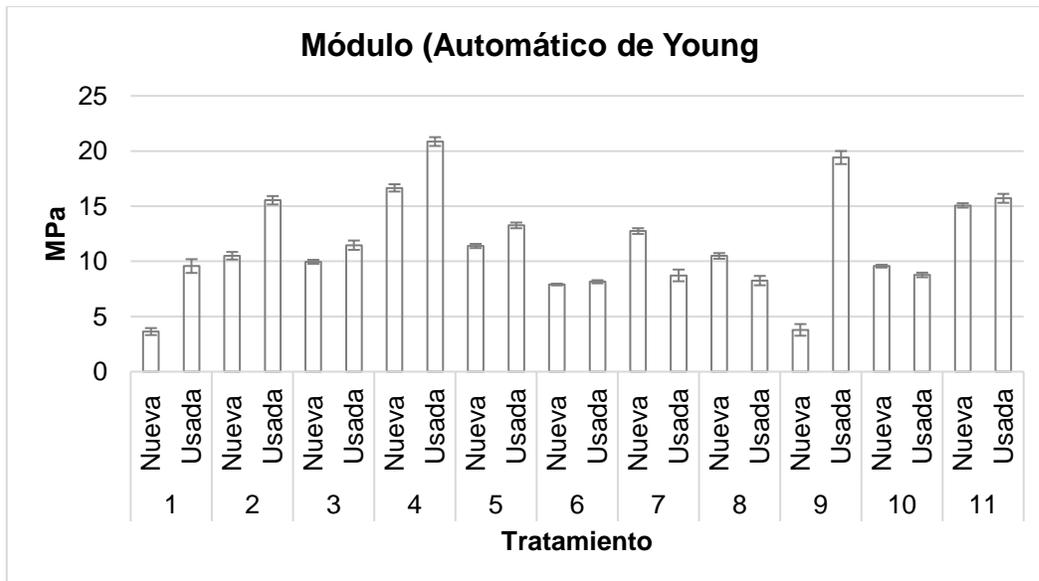
El módulo de Young o módulo de elasticidad, es la constante que relaciona para cada uno de los tratamientos evaluados en las bolsas nuevas y usadas el esfuerzo de tracción o compresión con el respectivo aumento o disminución de longitud que tiene el objeto sometido a estas fuerzas. De acuerdo con lo ilustrado en la Gráfica 3, el valor del módulo de Young indica la resistencia de los materiales a una extensión longitudinal reversible y se constituye en un parámetro útil para predecir hasta qué punto se estirará una pieza bajo una carga determinada.

De forma particular para este caso todos los tratamientos, a diferencia del tratamiento 9, presentaron valores promedios por encima de los esperados en un polietileno de baja densidad (7 MPa). El tratamiento 1 de almidón de yuca, tuvo valores contrarios y diferencias en los valores del módulo de elasticidad para las bolsas nuevas y usadas, pasando de 4 MPa a 9 MPa promedio. Esto significa que, al aplicar un esfuerzo igual en ambos tiempos, la deformación es mayor en el material no usado o nuevo (0 meses). 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. Estos resultados contrastan con Castellón et al., (2016) quienes determinaron para la resistencia a la tensión antes y después de seis semanas de sometimiento a la degradación; el valor inicial mucho menor de las bolsas degradables (23,4 MPa) comparado con el valor de las bolsas convencionales de polietileno (31,7 MPa), 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.

Gráfica 3.

Valores en megapascal (MPa) del Módulo de Young para cada uno de los tratamientos.



Fuente: elaboración propia. (2022)

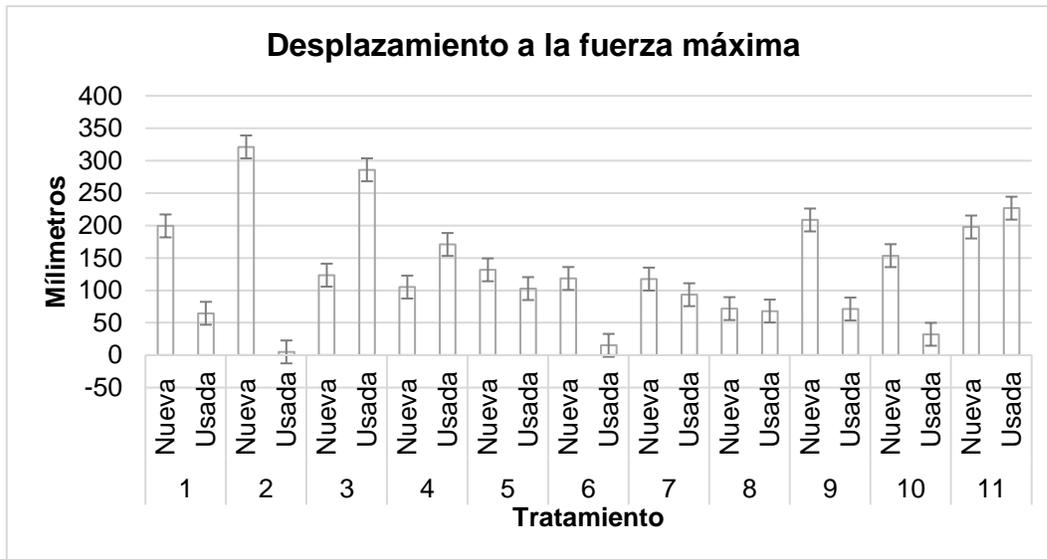
Respecto al desplazamiento a la fuerza máxima, esta prueba mide la deformación (alargamiento) de la probeta entre dos puntos fijos de la misma a medida que se incrementa la carga aplicada. Para este caso se registraron datos de carga cada 0,5 mm de deformación. El esfuerzo o carga de fractura se define como el punto en el cual la probeta registra rompimiento. Según la Gráfica 4, para el tratamiento 2 la ruptura del material ocurrió a los 321 milímetros (mm) con la bolsa nueva, en tanto que la bolsa proveniente de almacigos de seis meses se alargó solamente 5 mm hasta su ruptura, esto indica que esta bolsa tuvo un alto valor de degradación y su resistencia fue inferior con relación a la medición con la bolsa nueva. En el caso de las bolsas testigo de polietileno, los valores no presentaron grandes cambios, en bolsa nueva este plástico se alargó 197 mm y pasados los seis meses en almacigo su alargamiento fue de 226 mm en promedio ver Gráfica 4.

En términos generales, la resistencia elástica y plasticidad del material permiten definir en la etapa de almacigo el grado de resistencia a los esfuerzos realizados en los procesos de cargue y distribución en campo de los colinos de café. De esta forma, al estirarse el polietileno de baja densidad (tratamiento 11) alcanza mayor elongación (deformación), mientras que los Biopolímeros compostables (tratamiento 6 y 10) al ser más frágiles, se estiran menos.

Como consecuencia, la tenacidad del polietileno de baja densidad es mayor toda vez que se necesita mayor energía para fracturar este material en comparación con los biopolímeros compostables y almidón de yuca; una vez estos son usados o surten el proceso de almacigo los materiales se fracturan pasado el límite elástico.

Gráfica 4.

Desplazamiento a la fuerza máxima en milímetros en bolsas nuevas y usadas



Fuente: elaboración propia. (2022)

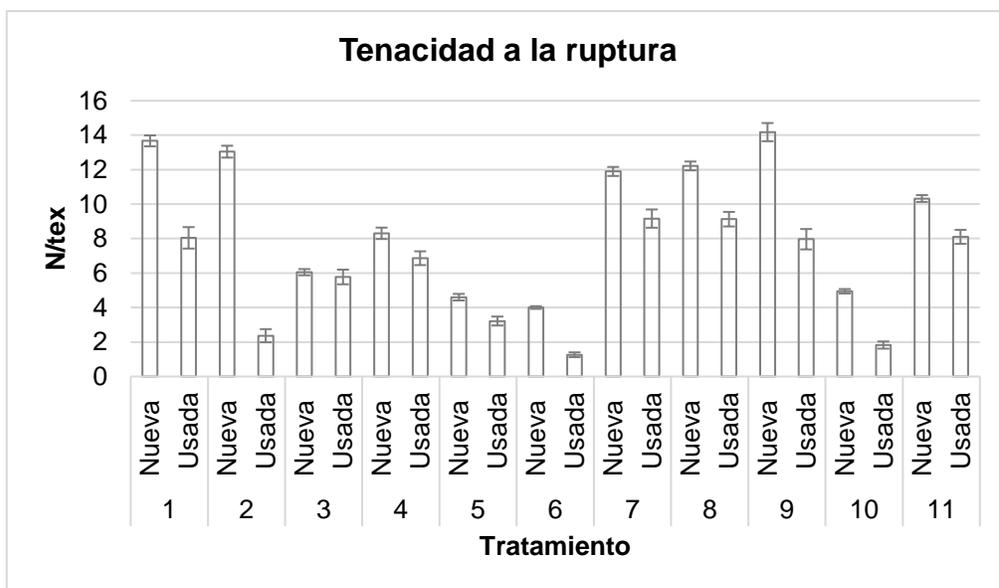
La tenacidad a la fractura en forma indirecta a partir de la energía absorbida por la rotura de las probetas permitió identificar que, los diferentes materiales presentaron disminución en sus valores promedios entre una bolsa nueva y una usada. Las disminuciones más grandes las registraron los tratamientos 2 y 10. Ver Gráfica 5

En un estudio, Selke et al. (2015) examinó el efecto de los aditivos que promueven la biodegradación sobre la biodegradación de PE y polietileno tereftalato (PET). Se evaluó la biodegradación en compost, digestión anaeróbica y entierro en el suelo entornos. Ninguno de los aditivos probados aumento significativo de la biodegradación en cualquiera de estos entornos. Por lo tanto, no se encontró evidencia de que estos los 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 contenga alguno de los promotores de la

biodegradación aditivos (Selke et al., 2015). En esta investigación y mediante la tenacidad a la ruptura, se puede evidenciar que las bolsas que contienen aditivos de biodegradación, los tratamientos 5, 6 y 10, estos aditivos influyen directamente entre su resistencia inicial y luego la bolsa usada en el proceso de almácigo.

Gráfica 5.

Tenacidad a la ruptura en newton.



Fuente: elaboración propia (2022).

8.2. Efecto de los tratamientos sobre el crecimiento y desarrollo de las plántulas

Corresponde al desarrollo del objetivo número 2: evaluar el crecimiento y desarrollo vegetativo de plántulas de café en la etapa de almácigo y siembra en campo.

Para la evaluación de los efectos de las bolsas biodegradables durante la etapa de almácigo (5 y 6 meses) se evaluó el crecimiento y el desarrollo de las plantas en 30 unidades de observación seleccionadas aleatoriamente. El crecimiento de la planta de café

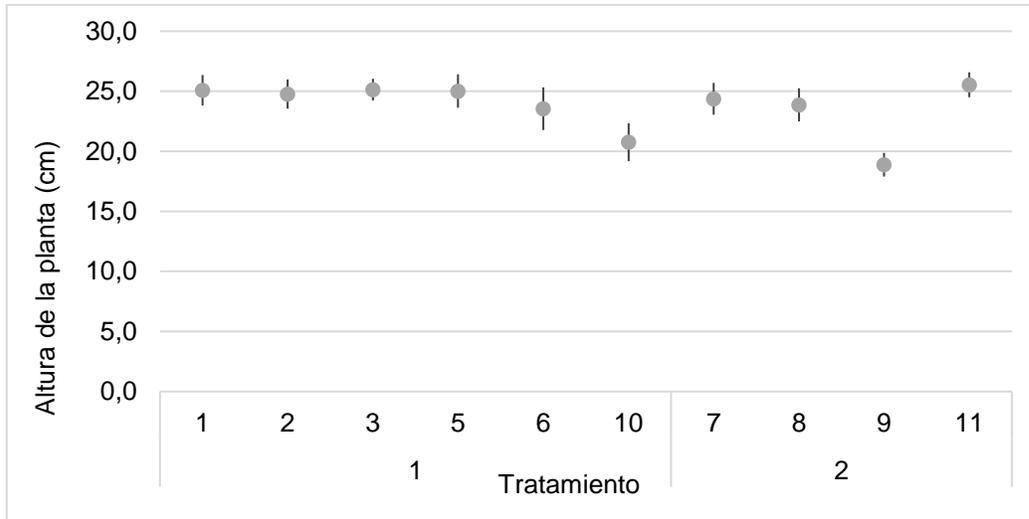
en etapa de almácigo puede ser cuantificada a través de la materia seca de los diferentes órganos: hojas y tallo (parte aérea), raíces y su peso total. En este estudio, se analizaron por separado cada uno de los órganos de la planta, esto con el objetivo de establecer las diferencias entre el crecimiento de la planta y el uso de las bolsas biodegradables.

8.2.1. 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 Gráfica 6, detallando para ello los respectivos promedios e intervalo de confianza. En el caso del tratamiento 9 en la dimensión de bolsa 1, este presentó diferencias significativas con un menor valor de altura de la planta en comparación con los demás tratamientos. Asimismo, para la dimensión de bolsa 2, el tratamiento 9, 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 x 23. Estos resultados se aproximan a los reportados en esta investigación y confirman condiciones favorables para el crecimiento de las plantas en la mayoría de bolsas evaluadas.

Gráfica 6.

Promedio e intervalo de confianza para la variable altura de la planta y el efecto de la bolsa en etapa de almácigo (Usada)



Fuente: elaboración propia (2022).

8.2.2. Materia seca de la raíz en etapa de almácigo

El sistema de raíces de una planta de café durante la etapa de almácigo conforma su estructura a partir de una raíz principal muy ramificada que predomina sobre las raíces secundarias. 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 9 expresaron diferencias significativas con relación al tratamiento testigo 3 en la dimensión 1 y el tratamiento 11 en la dimensión 2. ver Gráfica 7.

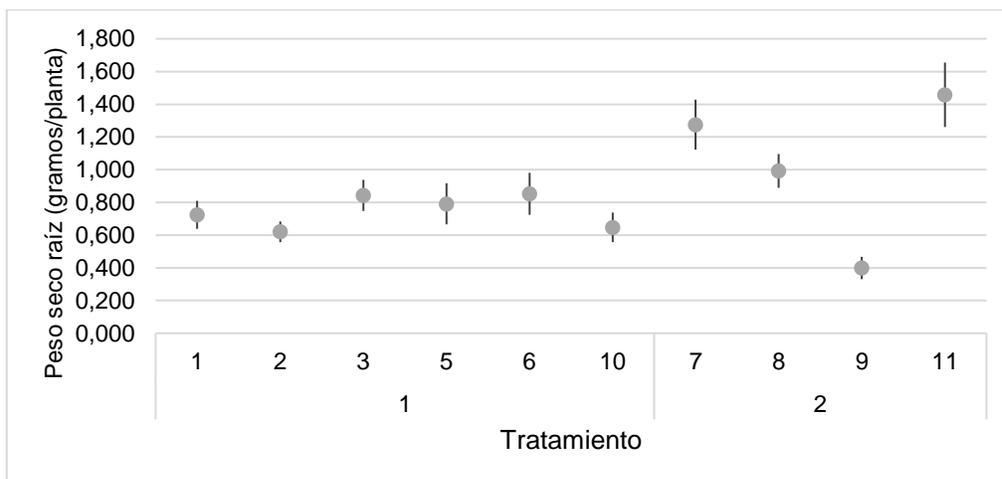
El tratamiento 2 correspondiente con las bolsas de ácido poliláctico y el tratamiento 9 de bolsas provenientes de almidón de yuca, presentaron un promedio de 0,62 y 0,39 gramos de peso seco, respectivamente y sus valores están relacionados con las bolsas que sufrieron un deterioro marcado en el transcurso de la etapa de almácigo (Imagen 4).

En este sentido Ávila, et al (2010) registraron un peso seco promedio de raíces de 0,8 en respuesta a la aplicación de 2 gramos del fertilizante DAP (Fosfato Diamónico). En cuanto al DAP, el análisis de varianza indicó efecto de su aplicación en el peso seco de las raíces, el promedio obtenido con 1 g. de P_2O_5 fue mayor que 4 g de P_2O_5 de esta fuente ($p < 5\%$).

Actualmente, en la etapa de almácigo se recomienda la aplicación de 2 gramos 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 gramos, similares a los reportados por Ávila et al (2010). En los tratamientos con bolsas oxobiodegradables (17x23) y polietileno de baja densidad (Testigo 17x23) el peso seco de la raíz fue superior a 1,2 gramos por planta.

Gráfica 7.

Promedio e intervalo de confianza para la variable peso seco de la raíz de planta y el efecto de la bolsa en etapa de almácigo



Fuente: elaboración propia. (2022).

Imagen 4.

Bolsa de ácido poliláctico (T2) y Bolsa de almidón de yuca (T9)



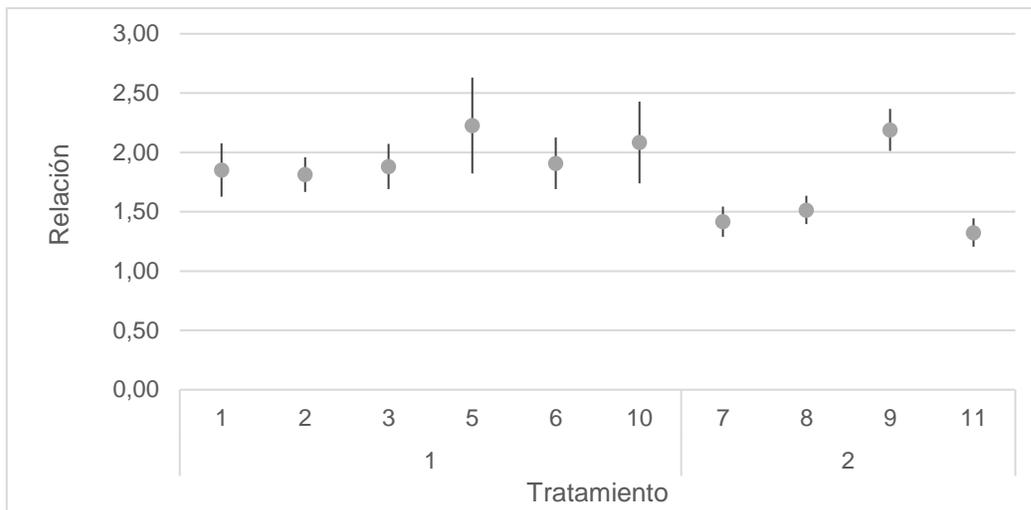
Fuente: Archivo personal del investigador (2022).

8.2.3. Relación peso seco de la raíz/altura de la planta en etapa de almácigo

Pese a que los promedios del crecimiento en la variable altura de la planta muestran diferencias significativas en las dimensiones y una marcada diferencia con relación a dos tratamientos (9, 10), se establecieron relaciones entre la altura de la planta y el peso seco de la raíz, con el objetivo de complementar la interpretación sobre el efecto de aquellos tratamientos que presentan un mejor desarrollo de las estructuras de la planta. En la Gráfica 8, se establece la relación altura de la planta con el peso seco total planta, indicando que, a mayor relación, existe un menor peso seco de la planta y altura promedio de la planta en óptimas condiciones. Esto permite precisar que no hay un efecto directo entre la parte área de la planta y el desarrollo de las raíces. Entre mayor sea la relación (≥ 2) menor es el peso seco de las raíces. Ocurre lo contrario cuando el peso seco de la raíz es superior a 1,4 g. y la altura cercana a 25 cm, en este caso, la relación es cercana a 1,3.

Gráfica 8.

Relación altura de la planta/peso seco total y el efecto de la bolsa en etapa de almácigo



Fuente: Elaboración propia (2022).

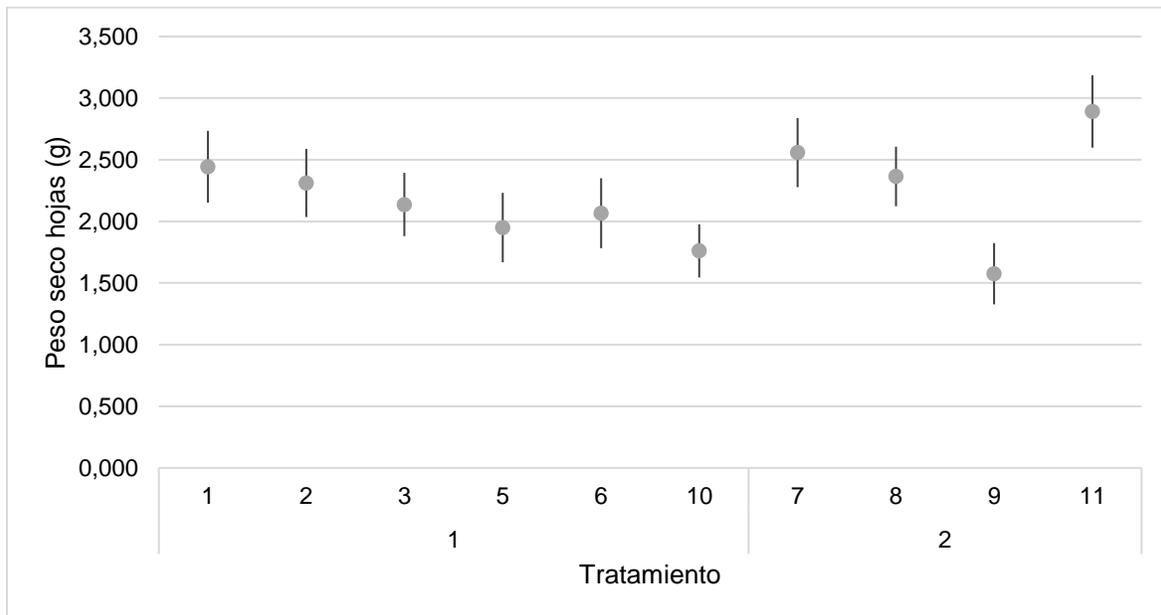
8.2.4. Materia seca de las hojas de la planta en etapa de almácigo

La función fundamental de una hoja normal es la elaboración y exportación de alimentos y son las estructuras más importantes de la planta, pues a través de ellas ocurren procesos vitales para su crecimiento y sostenimiento, tales como: fotosíntesis, respiración y transpiración. Un desarrollo vigoroso y sano de estas estructuras se convierte en un buen crecimiento de la planta en el proceso de almácigo. De cada nudo formado en el tallo se desarrollan dos hojas laterales durante la etapa de almácigo. En los primeros 3 a 4 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 17x23, mostraron diferencias significativas para el tratamiento 11, con 2,89 gramos, frente a los demás tratamientos (Ver Gráfica 9).

Gráfica 9.

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.



Fuente: Elaboración propia (2022).

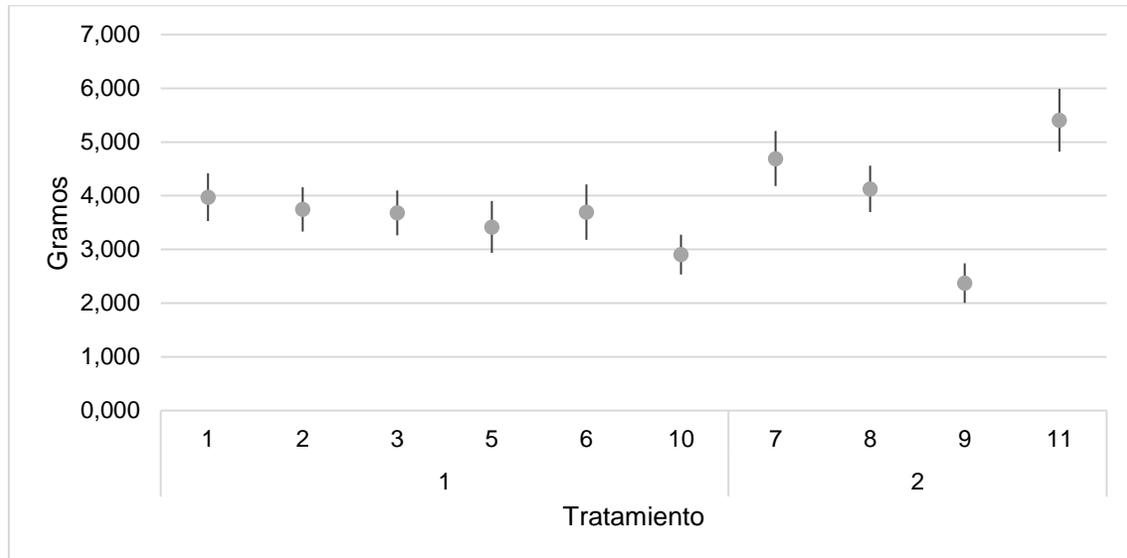
8.2.5. Materia seca total de la planta en etapa de almácigo

Entre los caracteres que más influyeron sobre el peso seco total de las plantas se destacaron: el número de hojas/planta y la altura de la planta, un incremento de estos dos caracteres conlleva a un aumento del peso seco de las plantas. 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 obtuvo diferencias entre el tratamiento 9 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 diferencia mínima significativa al 5%. 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 DMS al 5% (Gráfica 10).

Gráfica 10.

Promedio e intervalo de confianza para la variable peso seco total de las plantas y el efecto de la bolsa en etapa de almácigo



Fuente: Elaboración propia (2022).

Teniendo en cuenta los resultados descritos para la etapa de almácigo, para las variables de resistencia y para las variables de crecimiento, se pudo determinar que únicamente el tratamiento 2 correspondiente a la bolsa de ácido poliláctico no se pueden recomendar para la etapa de almácigo, y el tratamiento 1 de almidón de yuca deberá mejorar la resistencia para que logre concluir la etapa de almácigo, al menos hasta el mes 4

o 5 máximo. En la evaluación de los diferentes tipos de bolsas mediante las pruebas de resistencia o tracción, permiten especificar que cualquier material con algún tipo de biodegradación y que se quiera incorporar al proceso de almácigo deberá resistir a los 6 newton de fuerza mediante la aplicación de la metodología expuesta en la ASTM DS 168, y para la variable alargamiento en milímetros entre los 80 y 100 mm. De otro lado, el módulo de Young deber ser superior a los 5 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.

En la evaluación de los posibles efectos adversos del uso de los diferentes tipos de bolsas en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café en el proceso de almácigo, se evidenció que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos por cada dimensión a excepción del tratamiento 2, 9 y 10 que tuvieron un comportamiento inferior en las variables crecimiento de las hojas, tallo, raíz y peso seco de las plantas. Considerando lo anterior, se recomienda hasta etapa de almácigo los siguientes tipos de bolsa: Oxobiodegradable, polietileno reciclado con acelerante de degradación y biopolímero compostable, en cuya destinación sean compostajes industrializados.

En el caso de las bolsas de almidón, se pueden usar en etapa de almácigo y su descomposición se puede realizar bajo condiciones de compostaje de la finca o en el mismo lote, gracias a su composición 100% degradable bajo condiciones naturales.

8.2.6. Crecimiento de la rama más larga

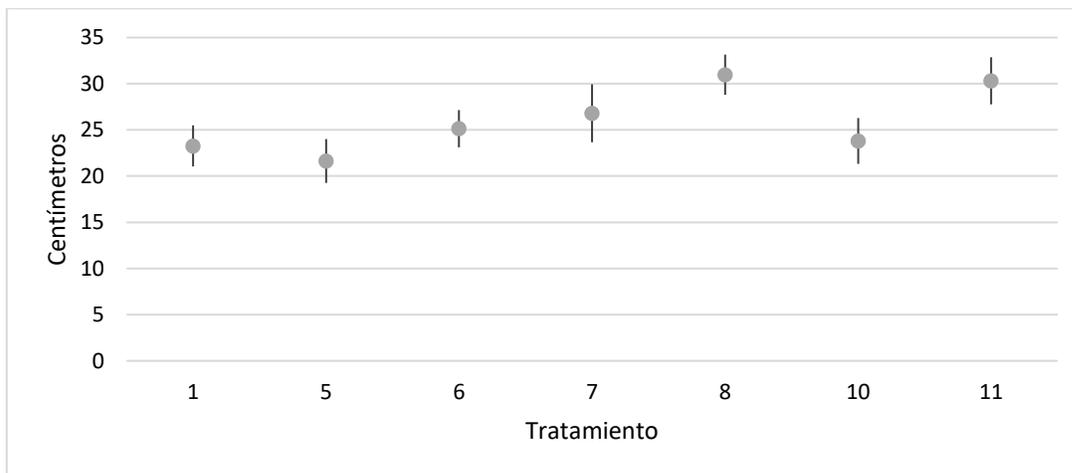
Las ramas laterales primarias se originan de yemas en las axilas de las hojas en el tallo central, estas ramas se alargan continuamente y son producidas a medida que el eje

central se alarga y madura. El crecimiento de éstas y la emisión de nuevas laterales en forma opuesta y decusada van dando lugar a una planta de forma cónica (Monroig, 2010) En la planta de café, el crecimiento de la rama más larga es un indicador del crecimiento ortotrópico de la planta y a su vez la generación de nuevos tejidos encargados de la generación de hojas, flores y frutos.

Según los promedios para la longitud de rama, por tratamiento a los seis meses de establecimiento en campo, el testigo sin bolsa (11) y el tratamiento de bolsa Oxobiodegradable (8), presentaron diferencias significativas con relación al promedio de los demás tratamientos (Gráfica 11).

Gráfica 11.

Promedio e intervalo de confianza para la variable longitud de la rama más larga seis meses después del establecimiento en campo.



Fuente: Elaboración propia. (2022).

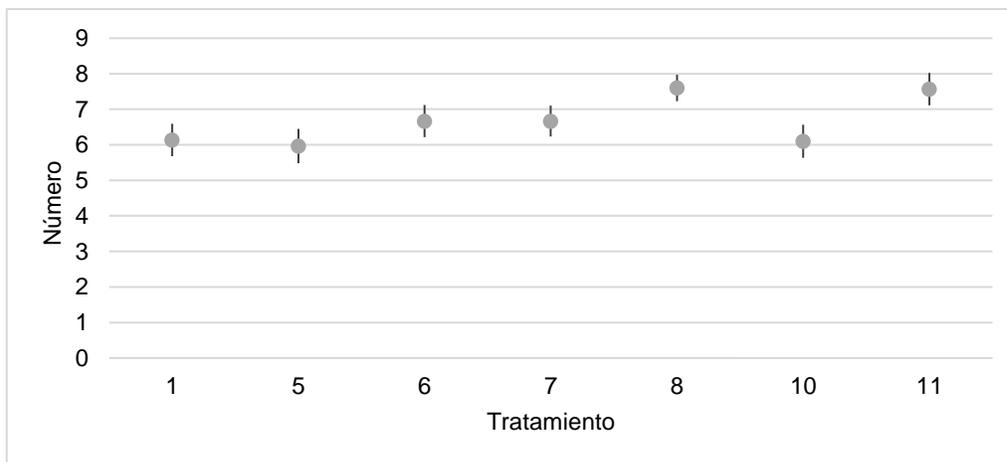
8.2.7. Número de nudos por rama a los seis meses de establecimiento en campo

El número de nudos en el tallo de las plantas de café está asociado directamente con la capacidad productiva, dado que un mayor número de nudos por rama es un determinante

del rendimiento del cultivo, principalmente cuando el cultivo de café expresa su primera floración a los 8 meses en las condiciones de la zona del estudio (Arcila et al, 2007). Según los resultados, el número de nudos en la rama más larga de las plantas de café a los 6 meses de establecido el cultivo en campo presentó diferencias en los promedios para los tratamientos 8 y 11 con relación a los demás tratamientos. Los valores promedio para el número de nudos por rama en los diferentes tratamientos se pueden observar en la Gráfica 12.

Gráfica 12.

Promedio e intervalo de confianza para la variable longitud de los nudos de la rama más larga seis meses después del establecimiento en campo.



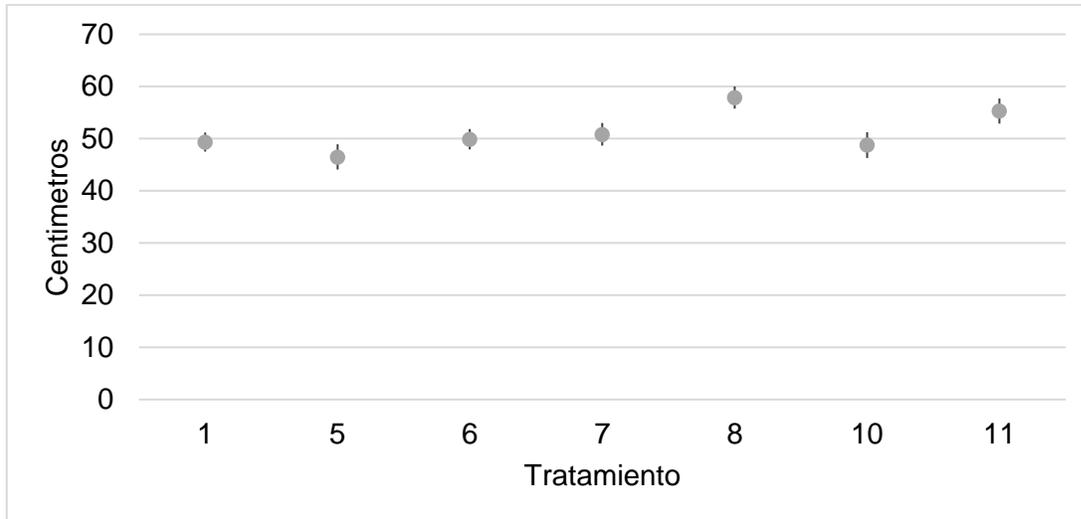
Fuente: Elaboración propia (2022).

8.2.8. Altura de la planta a los seis meses de establecimiento en campo

La variable altura de planta, medida en 30 plantas por cada tratamiento, determinó que no existen diferencias entre tratamientos según sus promedios e intervalos de confianza, ver Gráfica 13. El desarrollo de las plantas a los seis meses después de su establecimiento, presentó valores entre los 49 y 55 cm de longitud.

Gráfica 13.

Valores promedios e intervalos de confianza para la variable altura de planta seis meses después del establecimiento en campo.



Fuente: elaboración propia. (2022).

8.2.9. Crecimiento de las raíces laterales

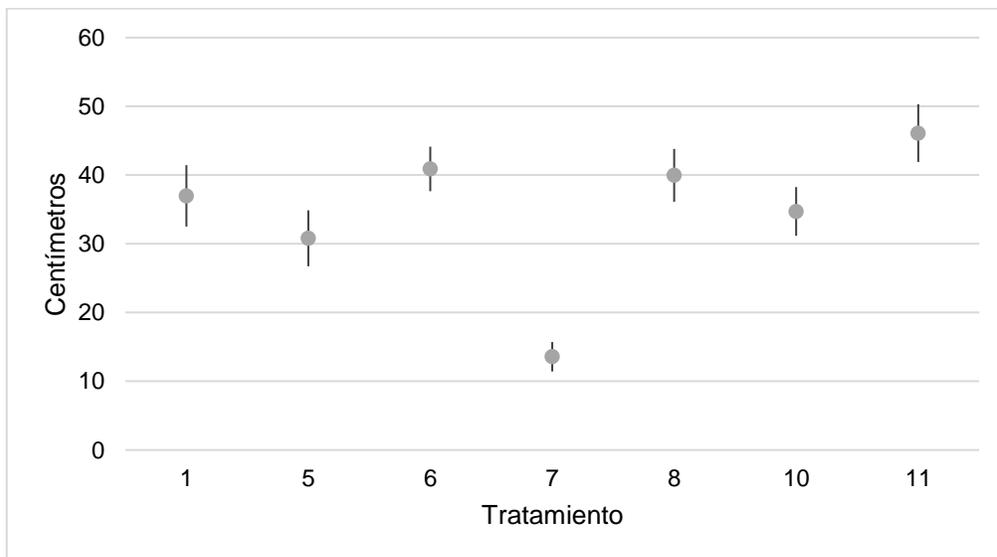
El desarrollo y crecimiento del sistema de raíces del café juega un papel determinante en el anclaje, toma de nutrientes y generación de tejidos aéreos de la planta. El sistema radical del cafeto es uno superficial, se ha constatado que alrededor del 94% de las raíces se encuentran en el primer pie de profundidad en el suelo. Las raíces laterales pueden extenderse hasta un metro alejadas del tronco. Generalmente la longitud de las raíces coincide con el largo de las ramas (Monroig, 2010).

En el presente estudio se midió la longitud de las raíces laterales después de seis meses de establecido el cultivo en campo. Encontrándose que el tratamiento de la siembra sin bolsa (Tratamiento 11), presentó valores de crecimiento del radio hasta 45 cm mostrando diferencias significativas con relación a su promedio con los demás tratamientos. Esto se relaciona en la Gráfica 14.

Teniendo en cuenta que la planta de café puede prolongar su vida útil hasta 20 años en los sistemas de producción en Colombia (Arcila et al, 2007), un adecuado desarrollo y crecimiento de las raíces durante las primeras etapas del cultivo es determinante para alcanzar su durabilidad. Rendón y Giraldo (2019) reportan la mayor densidad de raíces finas y totales a una profundidad comprendida desde la superficie del suelo hasta los 25 cm, y en la distancia horizontal medida desde la base del tallo hasta los primeros 25 cm, con disminución de estos valores al ampliarse la profundidad y las distancias horizontales; de allí la importancia de permitirle al cultivo desarrollar un crecimiento óptimo de sus raíces desde la etapa de almácigo y las etapas sucesivas.

Gráfica 14.

Promedio e intervalo de confianza para la variable longitud de la raíz lateral seis meses después del establecimiento en campo



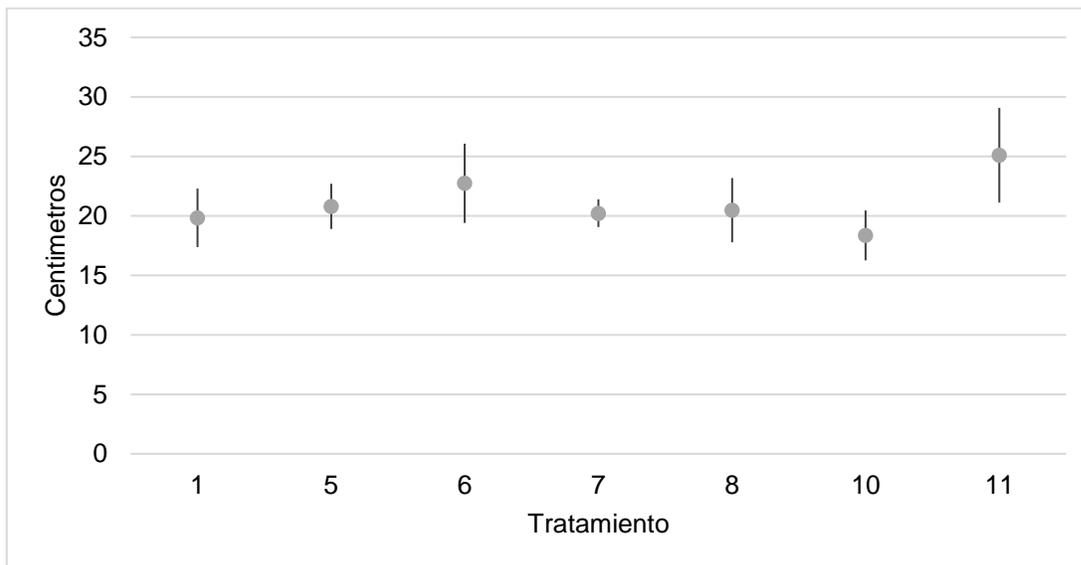
Fuente: Elaboración propia (2022).

8.2.10. Longitud de raíz principal a los seis meses de establecimiento en campo.

Los resultados de estas evaluaciones permitieron identificar que los tratamientos difieren del testigo (sin bolsa) con relación al desarrollo de la raíz principal, ver Gráfica 15. En este orden de ideas, los valores promedios de la longitud de la raíz principal, en el tratamiento 10 (Biopolímero compostable) difiere con los demás tratamientos. Del mismo modo, el tratamiento testigo 11 (sin bolsa) tiene valores promedios de 25 cm de longitud de raíz superior a los otros tratamientos.

Gráfica 15.

Promedio e intervalo de confianza para la variable longitud de la raíz lateral seis meses después del establecimiento en campo



Fuente: Elaboración propia. (2022)

8.2.11. Peso seco de las raíces a los seis meses de establecimiento en campo.

Para la variable peso seco de las raíces hasta los seis meses se planteó inicialmente que su desarrollo era indicador de la degradación de las bolsas. Por esta razón, la hipótesis

en esta investigación determinaba que: si el peso de seco de las raíces de las plantas en los tratamientos sembrados con bolsa igualaban o superaban las plantas sembradas en campo sin bolsa, se podía recomendar como alternativa para uso en la caficultura la siembra de las plantas de café directamente con la bolsa provenientes de la etapa de almácigo.

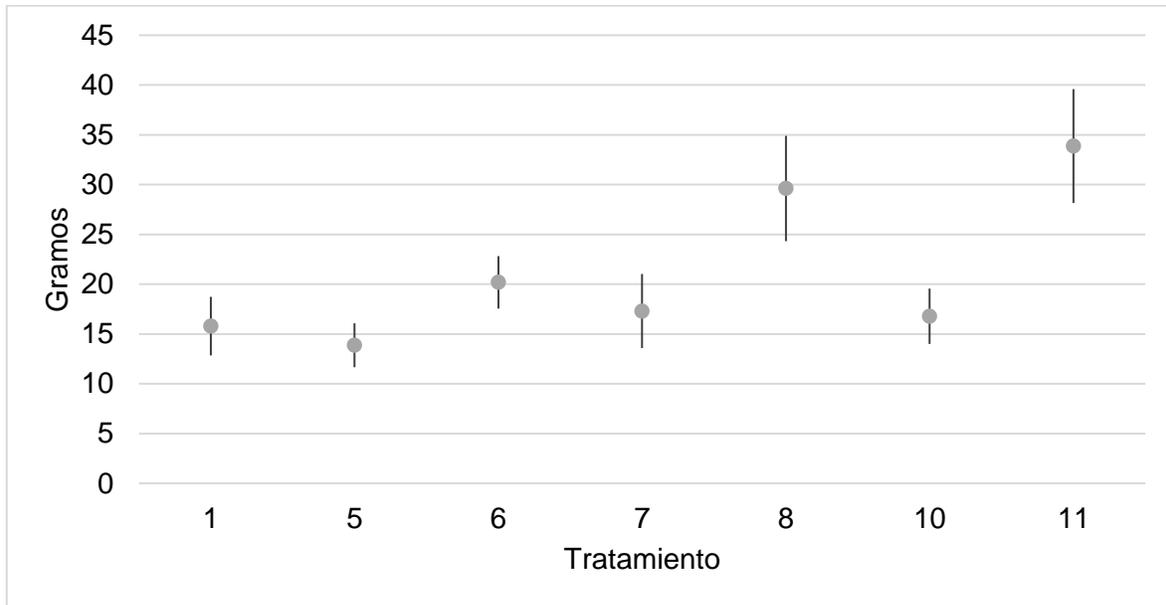
En consecuencia, según la Gráfica 16, los valores promedio del peso seco de la raíz de las 30 muestras de las plantas establecidas sin bolsa (testigo 11) estuvieron por encima de los valores promedios de las plantas muestreadas en los tratamientos 1, 5, 6 y 10 sembrados con bolsa (almidón de yuca, biopolímeros compostable, polietileno reciclado con acelerante de biodegradación) y mostraron degradación parcial de las bolsas (Imágenes 5, 6, 7 y 8). Lo anterior se asemeja con los resultados de Castellón et al., (2016), donde demostró que, las bolsas llamadas degradables presentan mayor pérdida de masa, mayor absorción de agua, y menor resistencia mecánica antes y después de la exposición al ambiente que las bolsas convencionales (Polietileno), demostrando que las modificaciones químicas realizadas por los fabricantes realmente favorecen su degradación.

Un caso especial ocurrió con las bolsas Oxobiodegradables (Tratamiento 7 y 8) donde hubo un buen desarrollo de la raíz, pero esta no pudo salir de la bolsa, es decir, no hubo degradación y al momento del muestreo se encontraba en perfecto estado (Imagen 9 y 10). El peso seco del testigo (11) establecido sin bolsa (Imagen 11), estuvo alrededor de los 34 gramos, por encima de todos los tratamientos sembrados con bolsa (Gráfica 16); independiente de haberse observado degradación de la bolsa en campo, el crecimiento y desarrollo de las raíces durante los seis meses de establecimiento, obtuvieron valores por debajo de las plantas testigo. Con base en este hallazgo y las limitaciones que podrían

presentarse en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café no es recomendable establecer colinos de café con bolsa.

Gráfica 16.

Valores promedio e intervalos de confianza para la variable peso seco de raíz.



Fuente: Elaboración propia. (2022)

Imagen 5.

Bolsas de almidón de yuca. Tratamiento 1.



Fuente: Archivo personal del investigador (2022).

Imagen 6.

Polietileno reciclado con acelerante de biodegradación enzimática. Tratamiento 5.



Fuente: Archivo personal del investigador (2022).

Imagen 7.

Biopolímero compostable. Tratamiento 6.



Fuente: Archivo personal del investigador (2022).

Imagen 8.

Biopolímero compostable. Tratamiento 10.



Fuente: Archivo personal del investigador (2022).

Imagen 9.

Oxobiodegradable. Tratamientos 7.



Fuente: Archivo personal del investigador (2022).

Imagen 10.

Oxobiodegradable. Tratamientos 8.



Fuente: Archivo personal del investigador (2022).

Imagen 11.

Polietileno testigo sin bolsa. Tratamiento 11.



Fuente: Archivo personal del investigador (2022).

8.3. Impacto ambiental del uso de las bolsas

Corresponde al desarrollo del objetivo número 3: Determinar el impacto ambiental del uso de diferentes bolsas biodegradables.

Teniendo en cuenta la metodología propuesta por la Comisión Europea (2013) para la determinación de la Huella Ambiental de los Productos; en la Tabla 6 se presentan los impactos ambientales asociados y su valoración, según la magnitud e importancia, valores estimados en la matriz de Leopold para los diferentes tipos de bolsas evaluadas en este estudio. En este particular, los 14 impactos ambientales definidos por la Comisión Europea, 10 de ellos tienen mayor impacto en su huella ambiental cuando se usan las bolsas de polietileno de baja densidad y bolsas oxobiodegradable, al considerar que su proceso de fabricación involucra consumo de recursos no renovables y contaminación ambiental en suelo, agua y aire, esto debido al tratamiento final de sus residuos.

Tabla 6.

Impactos ambientales según resultados del análisis de ciclo de vida propuesto por la Unión Europea y ajustado al análisis de las bolsas biodegradables.

Tipo de material	Impactos Ambiental	Magnitud (Intensidad - afectación)	Importancia del impacto (Duración - Influencia)
Polietileno de baja densidad	Acidificación del suelo	Alta - Alta	Permanente - Regional
	Cambio en la estructura y composición del suelo	Alta - Alta	Permanente - Regional
	Eutrofización terrestre	Media - Media	Permanente - Puntual
	Cambio climático	Muy alta - Alta	Permanente - Nacional
	Calidad del Aire	Alta - Baja	Permanente - Nacional
	Eutrofización acuática	Media - Media	Permanente - Puntual
	Turbidez del agua	Alta - Alta	Temporal - Regional
	Ecotoxicidad agua dulce	Baja - Alta	Media - Puntual
	Agotamiento del recurso hídrico	Muy alta - Alta	Permanente - Regional
	Consumo de fósiles	Muy alta - Alta	Permanente - Nacional
Oxobiodegradable	Acidificación del suelo	Alta - Alta	Permanente - Regional
	Cambio en la estructura y composición del suelo	Alta - Alta	Permanente - Regional

	Eutrofización terrestre	Media - Media	Permanente - Puntual
	Cambio climático	Muy alta - Alta	Permanente - Nacional
	Calidad del Aire	Alta - Baja	Permanente - Nacional
	Eutrofización acuática	Media - Media	Permanente - Puntual
	Turbidez del agua	Alta - Alta	Temporal - Regional
	Ecotoxicidad agua dulce	Baja - Alta	Media - Puntual
	Agotamiento del recurso hídrico	Muy alta - Alta	Permanente - Regional
	Consumo de fósiles	Muy alta - Alta	Permanente - Nacional
Biopolímero compostable	Acidificación del suelo	Media - Baja	Permanente - Puntual
	Cambio en la estructura y composición del suelo	Media - Baja	Permanente - Puntual
	Eutrofización terrestre	Media - Baja	Permanente - Puntual
	Cambio climático	Media - Alta	Permanente - Nacional
	Calidad del Aire	Media - Alta	Permanente - Nacional
	Eutrofización acuática	Media - Baja	Permanente - Puntual
	Turbidez del agua	Media - Alta	Temporal - Regional
	Ecotoxicidad agua dulce	Baja - Media	Media - Puntual
	Agotamiento del recurso hídrico	Media - Media	Permanente - Regional
	Consumo de fósiles	Alta - Baja	Permanente - Nacional
Polietileno reciclado con acelerante de biodegradación	Acidificación del suelo	Media - Baja	Permanente - Puntual
	Cambio en la estructura y composición del suelo	Baja - Media	Permanente - Puntual
	Eutrofización terrestre	Baja - Alta	Permanente - Puntual
	Cambio climático	Media - Alta	Permanente - Nacional
	Calidad del Aire	Media - Alta	Permanente - Nacional
	Eutrofización acuática	Media - Baja	Permanente - Puntual
	Turbidez del agua	Media - Alta	Temporal - Regional
	Ecotoxicidad agua dulce	Baja - Media	Media - Puntual
	Agotamiento del recurso hídrico	Media - Media	Permanente - Regional
	Consumo de fósiles	Media - Alta	Permanente - Nacional
Ácido Poliláctico	Acidificación del suelo	Baja - Baja	Temporal - Puntual
	Cambio climático	Baja - Baja	Temporal - Puntual
	Eutrofización acuática	Baja - Baja	Temporal - Puntual
	Ecotoxicidad agua dulce	Baja - Baja	Temporal - Puntual
	Agotamiento del recurso hídrico	Media - Media	Permanente - Regional
Almidón de yuca	Ecotoxicidad agua dulce	Baja - Baja	Temporal - Puntual
	Agotamiento del recurso hídrico	Media - Baja	Permanente - Regional

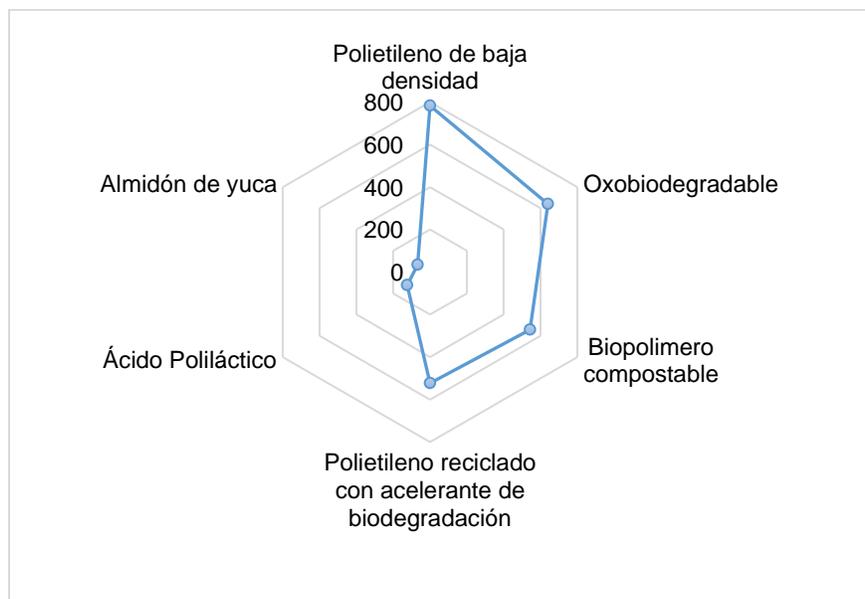
Fuente: Comisión Europea 2013 para la determinación de la Huella Ambiental de los Productos.

En el análisis comparativo del impacto ambiental entre un contenedor de polietileno de baja densidad y contenedores biodegradables mediante esquema de la matriz de Leopold (Tabla 7) se encontró como resultado principal que las bolsas de almidón de yuca son las

que generan menos impactos ambientales en el mediano y largo plazo. Resultado con características similares reveló Silvestre (2020), al revisar los impactos ambientales generados por el uso de las bolsas de yute, al considerar beneficios ambientales por su composición de base biológica, proceso de elaboración artesanal y posibilidad de reutilizarse. En el caso de las bolsas de almidón de yuca, sus impactos ambientales positivos se asocian en la capacidad de reincorporarse al ambiente en menor tiempo (tasa de descomposición de 6 meses), el material de fabricación (almidón de yuca), capacidad hidrosoluble, no son tóxicas y son 100% naturales. De otro lado, y haciendo referencia a las bolsas con composición de ácido poliláctico, éstas presentan un impacto ambiental positivo, esto por su capacidad de degradación en condiciones de compostaje adecuadas y no agota recursos naturales (Gráfica 17).

Gráfica 17.

Valoración de los impactos ambientales, según los resultados de la medición en la Matriz de Leopold.



Fuente: Elaboración propia. (2022).

Tabla 7.

Matriz de valoración de impactos ambientales de Leopold, para todos los tipos de bolsas.

Medio	Componente	Parámetro	TIPO DE BOLSA					
			Poliétileno de baja densidad	Oxobiodegradable	Biopolímero compostable	Poliétileno reciclado con acelerante de biodegradación	Ácido Poliláctico	Almidón de yuca
Físico	Suelo	Acidificación	-9 3	-9 3	-4 3	-4 3	-1 1	
		Estructura y composición	-9 3	-9 3	-4 3	-2 3		
		Eutrofización terrestre	-5 3	-5 3	-4 3	-3 3		
	Clima	Cambio climático	-10 10	-10 10	-6 10	-6 10	-1 1	
	Atmosfera	Calidad del Aire	-7 10	-7 10	-6 10	-6 10		
	Agua	Eutrofización acuática	-5 3	-5 3	-4 3	-4 3	-1 1	
		Turbidez	-9 7	-9 7	-6 7	-6 7		
		Ecotoxicidad agua dulce	-3 2	-3 2	-2 2	-2 2	-1 1	-1 1
		Agotamiento del recurso	-10 9	-10 9	-5 9	-5 9	-5 9	-4 9
	Biológico	Flora	Estructura y composición de la vegetación	-3 1	-3 1	-2 1	-2 1	
Hábitat			-3 1	-3 1	-2 1	-2 1		
Fauna		Variedad de Especies	-2 1	-2 1	-1 1	-1 1		
		Hábitat	-2 1	-2 1	-1 1	-1 1		
Socioeconómico	Territorio	Consumo de fósiles	-9 10	-9 10	-7 10	-6 10		
	Economía	Viabilidad económica	-9 10	-9 10	-9 10	-9 10	-5 2	-5 2
		Viabilidad técnica	-9 10	-9 3	-9 3	-9 3	-5 3	-3 2
		Viabilidad social (Impacto sobre la labor académica y el sector productivo)	-9 10	-1 10	-9 10	-9 10	-5 10	-5 3
	Total Negativos		17	17	17	17	8	5
Total Positivos		17	17	17	17	8	5	
TOTAL		-783	-640	-542	-523	-124	-68	

Analizando el segmento de bolsas de biopolímeros compostables, se identifica que las características asociadas a los efectos ambientales se fundamentan en que son un bioplástico versátil y de alta calidad. Entre sus principales ventajas se considera que son compostables certificados y de base biológica, puede ser biodegradado por microorganismos y sus enzimas correspondientes. En las condiciones de una planta de compostaje industrial las moléculas se biodegradan en unas pocas semanas. En el curso de procedimientos especiales de certificación, institutos independientes prueban la idoneidad de los bioplásticos con respecto a si son biodegradables, compostables, a la calidad del compost y la compatibilidad de las plantas. En este sentido, estudios de ETH Zürich, Suiza, demostraron por primera vez que los microbios de la tierra pueden usar las películas hechas de adipato-tereftalato de polibutileno (PBAT) como alimento. Los microorganismos utilizan el carbono del polímero tanto para generar energía como para crear biomasa, esto significa que se degrada biológicamente en la tierra y no permanece en ella como microplástico como sí lo hace el Polietileno (BASF, 2022).

En consecuencia, las pruebas científicamente aceptadas (por ejemplo, prueba de crecimiento vegetal, prueba de Daphnia, pruebas toxicológicas según las directivas de la OCDE) han demostrado en la práctica que no tiene consecuencias negativas para la naturaleza o el medio ambiente; y de otro lado, es uno de los pocos polímeros biodegradables cuya composición cumple con los requisitos de la regulación europea de contacto con alimentos, así como con los requisitos de la notificación de sustancias de contacto alimentario de EE. UU (BASF, 2022).

Las bolsas de polietileno reciclado con acelerante de biodegradación generan un impacto positivo, debido a que el aditivo biodegradable que contiene hace que los microbios consuman los enlaces de carbono de las estructuras plásticas a nivel

macromolecular. Esto permite una ruptura del polímero que comienza en la hidrólisis y termina con la metanogénesis. Solución que facilita que el plástico agilice su biodegradación, pasando de 500 años a degradarse entre 1 a 5 años. Adicionalmente, esta bolsa incorpora a su proceso de fabricación plástico reciclado, lo que contribuye al proceso de aprovechamiento, reutilización y fomento del consumo responsable para aportar al cuidado del medio ambiente. Las bolsas plásticas usadas en el almácigo de café son de un solo uso y su reciclaje se dificulta por el contacto con material orgánico; en este caso suelo, fertilizantes y plaguicidas.

En cuanto a los materiales Oxobiodegradables su principal impacto ambiental está asociado a que son productos hechos a partir de polímeros que contienen un aditivo; en presencia de oxígeno y energía, sufren un rompimiento progresivo en las cadenas de oxidación hasta que el peso molecular quede lo suficientemente reducido para permitir la biodegradación sobre la base microbial. Esto indica que continúan ligados a la cadena de producción del petróleo y sus derivados industriales, por tal razón su valoración está cercana a la realizada para las bolsas de polietileno de baja densidad.

Por otra parte, las bolsas de polietileno de baja densidad presentan los impactos más severos al ambiente y están directamente asociadas con el consumo de fósiles, eutrofización terrestre, acidificación del suelo, ecotoxicidad del agua dulce, eutrofización acuática y agotamiento del recurso hídrico por la cantidad de agua requerida para su fabricación. En la caficultura, según estudio de la FNC existe un 42% de los caficultores que eliminan los residuos mediante la quema (FNC, 2020), una parte de estos residuos son conformados por bolsas plásticas provenientes de los almácigos de café. Además, en Colombia aún existen 124 municipios altamente rurales con sitios de disposición final inadecuados. Los departamentos que cuentan con más municipios con este tipo de disposición inadecuada

son: Bolívar (27), Chocó (17), Magdalena (17) y Cauca (10); estos sitios de disposición fomentan la filtración de residuos plásticos hacia los ecosistemas colombianos (Greenpace, 2018).

8.4. Análisis de los indicadores técnicos.

Corresponde al desarrollo del objetivo número 4: Estimar los indicadores técnicos asociados a las labores de almácigo y siembra en campo.

Los indicadores se constituyen en una de las herramientas de control más usadas para mejorar el desempeño y la toma de decisiones durante y después de cualquier proceso en las actividades de la producción agrícola. Los indicadores técnicos en el cultivo del café son cifras, típicamente medibles, que pueden reflejar una característica cuantitativa o cualitativa, permitiendo con ello realizar juicios sobre actividades y labores actuales, pasadas y hacia el futuro. Estos se consideran de gran importancia, por la capacidad de medir, si la adopción de una tecnología puede resultar viable económicamente.

Durante la etapa de almácigo y siembra en campo se analizaron y estimaron los indicadores técnicos del rendimiento de las labores asociadas a los dos procesos, que se describen a continuación:

8.4.1. Etapa de almácigo

Los indicadores técnicos estimados en la investigación, indican que las prácticas evaluadas en la etapa de almácigo: llenado de bolsa, enchapole y encarre, presentan valores diferentes de forma descriptiva entre los tratamientos de polietileno y las bolsas de materiales de almidón de yuca (Gráfica 18). Una característica importante de las bolsas de almidón es la textura suave, la cual propicia desuniformidad para el llenado con la mezcla

de suelo y abono orgánico. El encarre de las bolsas en el sitio del almácigo, para el tratamiento 9 con un valor de 0,13 jornales, equivalente al 29,5% del total de jornales, fue el indicador más alto de todos los tratamientos (Gráfica 18), finalmente en el encarre los valores para este tratamiento estuvieron por debajo de los 0,07 jornales (22,4%) en las 500 bolsas.

Imagen 12.

Labores de llenado de bolsa, encarre y enchapole.



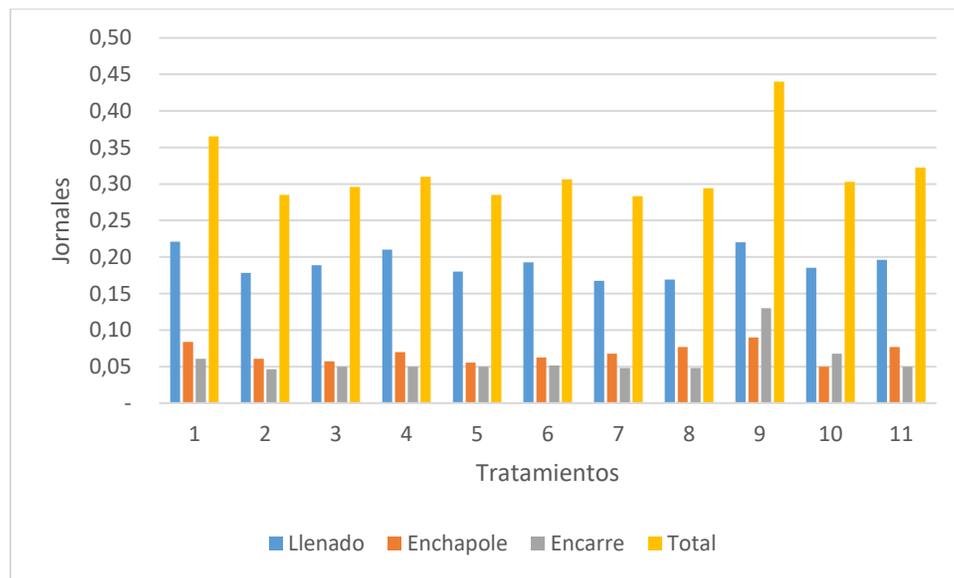
Fuente: Fuente: Archivo personal del investigador (2022).

La dimensión de la bolsa juega un papel determinante en la definición de la duración del tiempo de la planta en almácigo (4, 5 y 6 meses), además de la cantidad de recursos que se requieran invertir (suelo, abono orgánico y jornales). En este aspecto, Gaitán et al. (2011) manifiestan que una bolsa para almácigo con capacidad aproximada de 1,0 kg con medidas que privilegien la profundidad (13x17), permitirá tener plántulas sin malformaciones de raíz durante los primeros cuatro meses, lo que puede resultar en ahorros en sustrato del colino, facilitar tanto su transporte al lote, como sitio definitivo.

De otro lado, Lleras y Moreno (2001) concluyeron que, para la actividad de preparación, llenado, apilamiento y siembra en el campo, se presentaron diferencias estadísticas de los tiempos promedio con relación al uso de recipientes plásticos, en un 82,11%.

Gráfica 18.

Tiempo en jornales de llenado de bolsas, enchapole, encarre y total



Fuente: Elaboración propia (2022).

8.4.2. Etapa de establecimiento en campo

Del total de tratamientos evaluados en almacigo, se llevaron seis tratamientos a campo para ser evaluados durante seis meses en etapa de levante del cultivo. El lote fue sembrado en abril del 2019 a una distancia entre plantas y surcos de 1 metro y tuvo manejo agronómico según las recomendaciones de Cenicafe en la etapa de levante. Se midieron los tiempos de transporte desde el almacigo al lote, la distribución del colino al interior del lote y la siembra de cada uno de los tratamientos (Imagen 13).

Imagen 13.

Transporte desde el almacigo en canastillas de los diferentes materiales a campo.

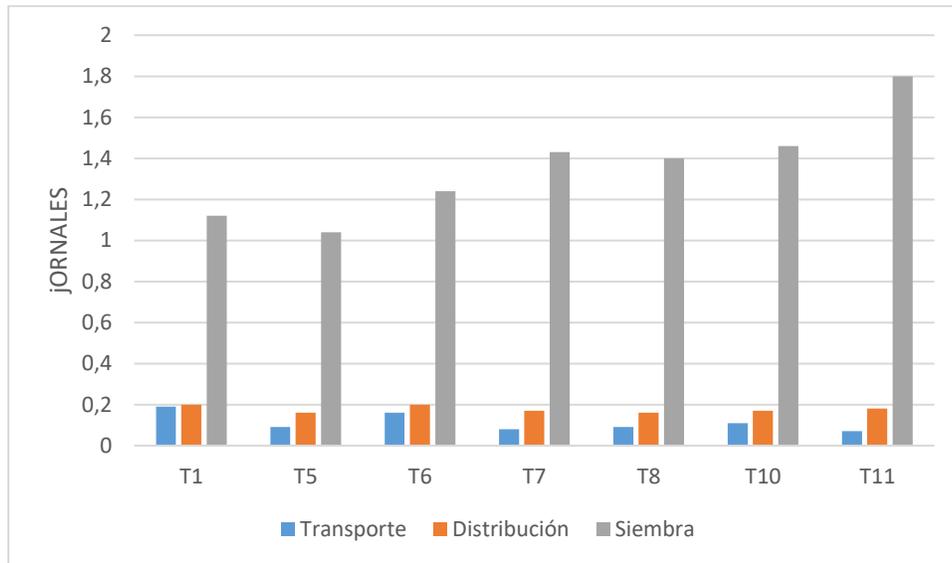


Fuente: Fuente: Archivo personal del investigador (2022).

En la Gráfica 19, se detallan como los tratamientos de almidón de yuca y polietileno reciclado con acelerante de biodegradación presentaron para la labor de siembra en campo una reducción, con relación al tratamiento sembrado sin bolsa, de 0,7 jornales en etapa experimental, teniendo para ello como referente un jornal de 9 horas de trabajo y la siembra de 420 plantas para cada tratamiento. De igual modo, se presenta una disminución en jornales de siembra para los demás tratamientos, con variación entre 0,5 y 0,3 jornales, comparado con el tratamiento testigo establecido sin bolsa (Gráfica 19). De acuerdo con los indicadores de labor, reportados por la Federación Nacional de Cafeteros para el proceso de siembra; el rendimiento mínimo de la labor de siembra puede estar entre los 500 y 700 plantas sembrados por jornal (FNC 2019) cuando esta labor se realiza a través de la modalidad de contrato. Para este estudio, se determinó que la siembra de 420 plantas se realiza en 1,12 jornales en etapa experimental cuando la siembra es directa con bolsa (Tratamiento 1) y de 1,8 jornales en 420 plantas establecidas sin bolsa.

Gráfica 19.

Tiempo en jornales de transporte, distribución y siembra



Fuente: Elaboración propia. (2022).

9. Conclusiones

La fuerza máxima de tracción a la que se sometieron los materiales, demostró que los tratamientos que presentaban una fuerza máxima empleada inferior a 4 Newton, no resistieron los tiempos de duración del almácigo. Al mismo tiempo, aquellos tratamientos donde la deformación mínima de la probeta entre los dos puntos de carga, estuvo por debajo de los 80 milímetros, son considerados como materiales que no resisten la etapa completa de sometimiento a las condiciones de radiación solar, humedad y exposición a microorganismos durante el almácigo.

Las evaluaciones realizadas en el módulo de elasticidad fueron de importancia para determinar que la resistencia de los diferentes tipos de materiales (Bolsas) a una extensión longitudinal reversible, presenta valores promedios superiores a 8 MPa, caracterizados por ser materiales que resistieron durante 4, 5 y 6 meses la etapa de almácigo.

La variable altura de la planta en almácigo, mostró únicamente diferencias entre el tratamiento 9 (Bolsa almidón de yuca) y el testigo de la dimensión 2 (17x23). En el análisis de la materia seca de las raíces, se evidenció que los tratamientos 2, 9, y 10 presentaron valores inferiores al promedio del peso seco en gramos con los demás tratamientos y comparado con los testigos.

La materia seca total de planta en etapa de almácigo, permitió identificar que los tratamientos 10 de la dimensión 1 (13x21) y el 9 de la dimensión 2 (17x23) presentaron valores inferiores al promedio.

El peso seco de las raíces transcurrido seis meses del establecimiento en campo, permitió determinar que los tratamientos establecidos con bolsas, presentaron valores promedio inferiores al testigo establecido sin bolsa. Lo cual indica que no es recomendable la siembra directa de los colinos con bolsas que contengan algún tipo de biodegradabilidad.

En la valoración de los impactos ambientales asociados, según la magnitud e importancia, estimados en la matriz de Leopold; existe un mayor impacto en su huella ambiental cuando se usan las bolsas de polietileno de baja densidad y bolsas oxobiodegradable, al considerar que su proceso de fabricación involucra consumo de recursos no renovables y contaminación ambiental en suelo, agua y aire, debido al tratamiento final de sus residuos.

Cuando se analizó de forma comparativa el impacto ambiental entre un contenedor de polietileno de baja densidad y contenedores biodegradables mediante esquema de la matriz de Leopold, se demostró como resultado principal, que las bolsas de almidón de yuca, generan menos impactos ambientales en el corto, mediano y largo plazo.

En el análisis de los indicadores técnicos asociados a las labores realizadas durante el proceso siembra en campo y que se relacionan con la manipulación y resistencia de las bolsas: se verificó que existe una reducción hasta el 42% de la mano de obra al momento de la siembra, en aquellos tratamientos donde se realizó la siembra directa con bolsa en campo. Pese a estos resultados y teniendo en cuenta que el peso seco de las raíces se redujo cuando las plantas se establecieron con las bolsas, en comparación con el testigo

establecido sin bolsa; se determina que no es recomendable establecer las plantas de café con algún tipo de biodegradación.

10. Recomendaciones

La fuerza máxima de tracción o resistencia de las bolsas biodegradables para soportar el tiempo en el almácigo (6 meses) debe estar entre los 6 y 8 Newton, según lo establecido por la ASTM D638 - 14 y validado con los resultados obtenidos en campo.

El desplazamiento a la fuerza máxima en las pruebas de resistencia cuando la bolsa esta nueva, debe mostrar un desplazamiento superior a los 100 mm. Una vez se usa durante seis meses, este valor mínimo estará en los 60 mm de desplazamiento (ASTM D638 – 14)

Existen siete alternativas con alto potencial de usar o recomendar: fabricadas de almidón de yuca, polietileno reciclado con acelerante de biodegradación, biopolímero compostable y Oxobiodegradable hasta completar la etapa de almácigo. Los tipos de bolsa anterior, se deberán ajustar a las dimensiones usadas en la caficultura: 13x17 – 13x21 y 17x23 cm.

Es necesario que los diferentes tipos de bolsas sean incorporados en medios de compostaje controlados o industriales (PE con acelerante de biodegradación y Oxobiodegradables) y compostajes en la finca (almidón de yuca)

La bolsa biodegradable de almidón yuca en caso de ser usada, se recomienda tener un tiempo máximo en almácigo de 5 meses. No se puede sembrar en campo los colinos con bolsa, así sea biodegradable de almidón de yuca.

No existe un efecto claro en las variables de crecimiento y desarrollo de las partes de la planta (hojas, raíces y tallo) que estén relacionados con el tipo de bolsa. No obstante, los indicios de degradación de la bolsa en campo, el crecimiento y desarrollo de las raíces durante los seis meses de establecimiento, obtuvieron valores por debajo de las plantas testigo. Por tanto, no se recomienda sembrar la planta de café con la bolsa.

Referencias

- Álvarez Chiappe, J., & Celis Andrade, L. F. (2021). Revisión de estándares internacionales para la producción de plásticos Oxo-Biodegradables [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América]. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8308>
- Archila Gonzalez, D. J., & Figueroa Parra, G. C. (2019). 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>
- 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>
- Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A. M., Salazar, L. F., & Hincapié, E. (2007). Sistemas de producción de café en Colombia. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/720>
- Asociación Española de Normalización [UNE]. (2001). UNE-EN 13432:2001 Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación. Programa de ensayo y criterios de evaluación para la aceptación final del envase o embalaje. <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-13432-2001-n0024465>
- Ávila R., W.E.; Sadeghian K., S.; Sánchez A., P. M.; Castro F., H. E. Respuesta del café al fósforo y abonos orgánicos en la etapa de almácigo. Cenicafé, 61(4):358-369. 2010. <http://hdl.handle.net/10778/509>
- Ballesteros, L. V. (2014). Los bioplásticos como alternativa verde y sostenible de los plásticos basados en petróleo [Tesis de pregrado, Universidad de San Buenaventura]. <http://hdl.handle.net/10819/2247>
- BASF. (s/f). Cómo contribuyen los plásticos biodegradables a la economía circular. Biopolímeros. Recuperado el 15 de junio de 2022, de https://plastics-rubber.basf.com/southamerica/es/performance_polymers/fpgs/fpg_biodegradable_plastics.html
- 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
- Bravo, L., & Urgilés, J. (2020). Estudio general de Vigilancia Tecnológica: Empaques Verdes. CEDIA. <https://www.cedia.edu.ec/assets/docs/innovacion/2.%20Informe%20VT%20Empaques%20verdes.pdf>

- Campuzano, J., López, I., Álvarez, C. (2020) Normativas y regulaciones para polímeros biodegradables y compostables. Disponible en En: <https://ecozema.com/es/focus/norma-en13432/>
- Castellón Castro, C. A., Tejada López, L. N., & Tejada Benítez, L. P. (2016). Evaluación de la degradación ambiental de bolsas plásticas biodegradables. *Informador Técnico*, 80(1), 24–31. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5767278>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2021). Semilla, germinadores y almacigos. Cultivemos café. https://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/semilla_germinadores_y_almacigos
- Comisión Europea. (2013). Recomendación de la Comisión. Sobre el uso de métodos comunes para medir y comunicar el comportamiento ambiental de los productos y las organizaciones a lo largo de su ciclo de vida. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013H0179&from=EN>
- Congreso de la República de Colombia (junio 6, 2022). Proyecto de Ley número 010 de 2020. http://www.andi.com.co/Uploads/PL%20PLASTICOS%20V3_636755635434025819.pdf
- Coria, I. D. (2008). El estudio de impacto ambiental: Características y metodologías. *Invenio*, 11(20), 125–135. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87702010>
- D20 Committee. (2018). Guide for Exposing and Testing Plastics that Degrade in the Environment by a Combination of Oxidation and Biodegradation (p. 7). ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D6954-18>
- D20 Committee. (2020). Test Methods for Determining the Biobased Content of Solid, Liquid, and Gaseous Samples Using Radiocarbon Analysis (p. 19). ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D6866-22>
- Decreto 1076 de 2015 (Ministerio de vivienda y territorio) Compilar la normatividad expedida por el Gobierno Nacional en ejercicio de las facultades reglamentarias conferidas por el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política, para la cumplida ejecución de las leyes del sector Ambiente. 26 de mayo de 2015.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2016) Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos. (Documento CONPES 3874). Bogotá D.C., Colombia: DNP. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2018) Política de crecimiento verde. (Documento CONPES 3934). Bogotá D.C., Colombia: DNP. <https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/conpes/econ%C3%B3micos/3934.pdf>
- Duque, H., Salazar, H. M., Rojas, L. A., & Gaitán, Á. (2021). Análisis económico de tecnologías para la producción de café en Colombia. *Cenicafé*. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0016>

- European Bioplastics. (2020). Bioplastics market data. Market. [_https://www.european-bioplastics.org/market/](https://www.european-bioplastics.org/market/)
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2019) Aplicación Indicadores de Labor. (Versión 1.0.4) [Aplicación móvil]. Google Play. https://play.google.com/store/apps/details?id=org.cenicafe.app.indicadores&hl=es_NI
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.). (2013). Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura (Vol. 2). Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0026>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2019). Informe de Gestión 2018 (p. 75). https://federaciondefcafeteros.org/app/uploads/2019/10/Informe_Gestion_2018_compressed-1.pdf
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2019). Informe del Gerente al Congreso Nacional de Cafeteros (Núm. 87; p. 56). <https://federaciondefcafeteros.org/app/uploads/2019/12/Informe-del-Gerente-al-87-Congreso-Nacional-de-Cafeteros-2019.pdf>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2020). Estrategia Sostenible. Sostenibilidad. <https://federaciondefcafeteros.org/wp/sostenibilidad/>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2021). Caracterización ambiental del sector cafetero en Colombia. Ensayos sobre Economía Cafetera, 34(1), 51–73. <https://federaciondefcafeteros.org/app/uploads/2021/06/Economi%CC%81a-Cafetera-No.-34.pdf>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2021). Demografía, inclusión social y pobreza de los hogares cafeteros (1993-2020). Ensayos sobre Economía Cafetera, 34(1), 7–34. <https://federaciondefcafeteros.org/app/uploads/2021/06/Economi%CC%81a-Cafetera-No.-34.pdf>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2022). Quienes somos, informe de sostenibilidad ambiental. <https://federaciondefcafeteros.org/wp/>
- 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). Almácigos de café: Calidad fitosanitaria manejo y siembra en el campo. Avances Técnicos Cenicafé, 404, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/350>
- García Leyton, L. A. (2004). Aplicación del análisis multicriterio en la evaluación de impactos ambientales [Tesis de Doctorado, Universitat Politècnica de Catalunya]. <http://hdl.handle.net/10803/6830>

- García, S. (2009). Referencias históricas y evolución de los plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 10(1), 71–80. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3694957>
- GQSP Colombia. (2020). Diagnóstico de requisitos y brechas de calidad y sostenibilidad de químicos industriales. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-10/Diagnostics_Plastic_Sector.pdf
- 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>
- Greenpeace. (2018). Colombia, mejor sin plásticos: La contaminación plástica en Colombia y el mundo (Campaña plásticos). http://greenpeace.co/pdf/reporte_plasticos.pdf
- Guede, D., González, P., & Caeiro, J. R. (2013). Biomecánica y hueso (I): Conceptos básicos y ensayos mecánicos clásicos. *Revista de Osteoporosis y Metabolismo Mineral*, 5(1), 43–50. <https://doi.org/10.4321/S1889-836X2013000100008>
- Hunt, R. (1990). *Basic Growth Analysis*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-9117-6>
- INSTRON, 2022. Equipo Universal serie 5500. <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>
- International Organization for Standardization [ISO]. (2019). Plastics—Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in soil by measuring the oxygen demand in a respirometer or the amount of carbon dioxide evolved (ISO Standard No. 17556:2019). <https://www.iso.org/standard/74993.html>
- Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B. B., & Balsley, J. R. (1971). A procedure for evaluating environmental impact (Report Núm. 645; Circular, p. 19). USGS Publications Warehouse. <https://doi.org/10.3133/cir645>
- Lleras, S., & Moreno, A. M. (2001). Desarrollo y evaluación de bolsas biodegradables para almacigos de café. *Revista Cenicafé*, 52(1), 20–28. <http://hdl.handle.net/10778/766>
- Martínez-Rubio, K., Delgado-Cruz, A. y Vargas-Martínez, E. E. (2021). Adopción de tecnologías verdes y su influencia en las prácticas de responsabilidad ambiental. Percepciones de los trabajadores de hoteles. *Estudios Gerenciales*, 37(161), 532-541. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2021.161.4071>
- Monroig, M. 2010. Descripción de la Morfología del Cafeto. <https://academic.uprm.edu/mmonroig/id53.htm>

- 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/>
- Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD] (2014). Evaluaciones del desempeño ambiental: Colombia 2014. <https://www.oecd.org/colombia/evaluaciones-del-desempeno-ambiental-colombia-2014-9789264213074-es.htm>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2018). El estado de los plásticos. Perspectiva del día mundial del medio ambiente 2018. Reporte. 5 de junio 2018. <https://www.unep.org/es/resources/informe/el-estado-de-los-plasticos-perspectiva-del-dia-mundial-del-medio-ambiente-2018>.
- Organización de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [UNEP]. (2021). La contaminación por plásticos es una injusticia ambiental para las comunidades vulnerables—Nuevo informe. UNEP. <http://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/la-contaminacion-por-plasticos-es-una-injusticia>
- Organización de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [UNEP]. (2021). Urge acelerar acción para frenar la contaminación por plásticos. UNEP. <http://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/la-contaminacion-por-plasticos-es-una-injusticia>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2021). Assessment of agricultural plastics and their sustainability: A call for action. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb7856en>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2022). Beneficios de la agricultura de conservación. <https://www.fao.org/conservation-agriculture/impact/benefits-of-ca/es/>
- Ortiz Berrocal, Luis (2007). McGraw-Hill, ed. Resistencia de materiales. Madrid.
- Palacios, L. M., Muñoz, G. A. A., Guarín, H. P., & Castillo, H. S. V. (2020). Sistematización de experiencias en apropiación de conocimiento con caficultores de Colombia. *Revista de Gestão Social e Ambiental-RGSA*, 14(1), 38-55.
- Palacios, L., Niño, D., Villada, H., & Arboleda, G. (2016). Estudio exploratorio sobre la aceptación de una bolsa biodegradable para almacigos de cafés especiales. *Agronomía Colombiana*, 34(1), S217-S219.
- Plastics Europe. (2020). *Plastics – the Facts 2020: An analysis of European plastics production, demand and waste data* (p. 64). Association of Plastics Manufacturers. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2020/>
- 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>

- Ponce, V. (s/f). La matriz de Leopold para la evaluación del impacto ambiental. Recuperado el 14 de junio de 2022. http://ponce.sdsu.edu/la_matriz_de_leopold.html
- Rendón, J. R., & Giraldo-Herrera, A. (2019). Distribución de raíces en café variedad castillo® bajo dos arreglos espaciales. *Revista Cenicafé*, 70(1), 7–17. <https://doi.org/10.38141/10778/70101>
- República de Colombia Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Resolución 1407 de 2018. Por el cual se reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio, metal y se toman otras determinaciones. https://www.cancilleria.gov.co/sites/default/files/Normograma/docs/resolucion_minambientes_1407_2018.htm
- República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. (2016). Documento CONPES 3874. Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/conpes-3874-de-2016.pdf>
- República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. (2018). Documento CONPES 3934. Política de crecimiento verde. <https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/conpes/econ%C3%B3micos/3934.pdf>
- Resolución 0754 de 2014 (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible) Por el cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los planes de gestión integral de residuos sólidos. 25 de noviembre de 2014. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-08/resolucion-754-de-2014.pdf>
- Resolución 1407 de 2018 (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible) Por la cual se reglamenta la gestión ambiental de papel, cartón, plástico, vidrio, metal y se toman otras determinaciones. 26 de julio de 2018.
- Resolución 2184 de 2019 (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible) Por la cual se modifica la resolución 668 de 2016 sobre el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones. 26 de diciembre de 2019.
- Roa Sierra, J. A. (2017). Caracterización de las propiedades mecánicas a tensión del ácido poliláctico PLA procesado por manufactura aditiva fff considerando la degradación por humedad y temperatura [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. <http://hdl.handle.net/11634/9324>
- Romero González, D. L. (1997). Evaluación del grado de deterioro en plásticos biodegradables sometidos a distintos ecosistemas de estudio [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/7786>
- Salazar A., 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>

- Salazar Trujillo, J. E. (2007). Resistencia de materiales básica para estudiantes de ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9061>
- Salvador García-Galán, S. (2017). Huella ambiental de tres tipos de bolsas de la compra [Tesis de pregrado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía]. <https://oa.upm.es/47353/>
- 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>
- Silvestre Gámez, J. L. (2020). Evaluación ambiental de alternativas para sustituir las bolsas plásticas por biodegradables en las grandes superficies de Bogotá [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. <http://hdl.handle.net/11634/23375>
- Symphony environmental. (2018). Información D2W. Reporte especial de la tecnología del control de vida del plástico oxobiodegradable (p. 25). <https://degradable.com.pe/wp-content/uploads/2018/06/INFORMACION-D2W.pdf>
- 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>
- Unión Europea [UE] (2013). Recomendación de la Comisión, de 9 de abril de 2013, sobre el uso de métodos comunes para medir y comunicar el comportamiento medioambiental de los productos y las organizaciones durante el ciclo de vida. *Official Journal of the European Union* L124/1. <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vj9gy8w8ogor>.
- WWF Colombia (2017) Colombia adopta regulación a las bolsas plásticas (Posteado 30 junio 2017) Bogotá. DC. <https://www.wwf.org.co/?304333/Colombia%2Dregula%2Dbolsas%2Dplasticas>.
- Yamunaqué, Kevin., Farfán, M., Maza, J C., Navarro, E, J., & Saavedra O. (2019) Diseño de un sistema productivo para la obtención de bolsas biodegradables a partir del almidón de yuca en la empresa Polímeros del Norte S.A.C. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas. <https://hdl.handle.net/11042/3830>