

**Alternativa Técnico-Económica Para La Elaboración De Tutores Ecológicos Para El  
Cultivo De Fríjol En El Municipio De Gutiérrez, Cundinamarca**

**Presenta:**

Paola Andrea Acuña Guasca

**Universidad Antonio Nariño**

**Facultad de Ingeniería Ambiental**

**Bogotá, 2021**

**Alternativa Técnico-Económica Para La Elaboración De Tutores Ecológicos Para El  
Cultivo De Fríjol En El Municipio De Gutiérrez, Cundinamarca**



Trabajo de grado en modalidad pasantía, que se presenta como requisito para optar al  
título de:

**Ingeniera Ambiental**

**Presenta:**

Paola Andrea Acuña Guasca

**Director:**

Dr. Andrés Felipe Carvajal Vanegas

**Universidad Antonio Nariño**

**Facultad de Ingeniería Ambiental**

**Bogotá, 2021**

## **RESUMEN**

En el presente proyecto, elaborado con el apoyo de la empresa BIMSOL SAS, se llevó a cabo un análisis de alternativas de tipo comparativo para la selección de una opción que permita la elaboración de tutores ecológicos para el cultivo de frijol en el municipio de Gutiérrez, Cundinamarca. Se realizó un diagnóstico para identificar los tipos de residuos sólidos generados en el municipio, evidenciándose que los termoplásticos son la materia prima más adecuada para la producción de los tutores ecológicos; se hizo un análisis de tipo comparativo entre dos alternativas: Tutores ecológicos con “Plastic Lumber” vs “Tutores Ecológicos con Wood Plastic Composite WPC”, siendo los Tutores ecológicos con Plastic Lumber la opción más viable debido a que ofrece el aprovechamiento del 100% de los residuos plásticos generados en el municipio. Finalmente, se elaboró un listado y un presupuesto de la maquinaria necesaria para la elaboración de los tutores ecológicos, cabe aclarar que el presupuesto solo corresponde al costo de inversión.

## **ABSTRACT**

In this project, developed with the support of BIMSOL SAS, an analysis of comparative alternatives was carried out for the selection of an option that allows the development of ecological tutors for the cultivation of beans in the municipality of Gutierrez, Cundinamarca. A diagnosis was made to identify the types of solid waste generated in the municipality, showing that thermoplastics are the most suitable raw material for the production of ecological tutors; a comparative analysis was made between two alternatives: Ecological tutors with "Plastic Lumber" vs "Ecological Tutors with Wood Plastic Composite WPC", being the Ecological Tutors

with Plastic Lumber the most viable option because it offers the use of 100% of the plastic waste generated in the municipality of Gutierrez.

Finally, a list of the machinery necessary for the development of ecological tutors was prepared with their corresponding budget, it is important to clarify that the budget only corresponds to the cost of investment.

## INTRODUCCIÓN

El proyecto “Alternativa técnico-económica para la elaboración de tutores ecológicos para el cultivo de fríjol en el municipio de Gutiérrez, Cundinamarca” bajo modalidad pasantía se llevó a cabo en la empresa BIMSOL SAS, dicha empresa desempeña actividades como consultoría de gestión, de arquitectura e ingeniería y otras actividades relacionadas con consultoría técnica.

Dentro de las acciones llevadas a cabo en la pasantía pueden mencionarse actividades de investigación para caracterizar la zona de estudio, establecer antecedentes de aprovechamiento de residuos plásticos en la zona de estudio y municipios aledaños, así como los requerimientos para elaborar tutores ecológicos, con el fin de dar cumplimiento a los objetivos propuestos.

Con el proyecto “Alternativa técnico-económica para la elaboración de tutores ecológicos para el cultivo de fríjol en el municipio de Gutiérrez, Cundinamarca” se realizó la elección de la mejor opción para elaborar tutores ecológicos a partir de plástico reciclado, dichos tutores ecológicos pueden ser empleados en el cultivo de fríjol y de esta manera reemplazar los postes en madera que se utilizan comúnmente como sistema de tutorado en este tipo de cultivo.

¿De qué manera los residuos plásticos podrían contribuir al proceso de cultivo de fríjol en el municipio de Gutiérrez, Cundinamarca?

La principal actividad económica en el municipio de Gutiérrez es el cultivo de fríjol, de acuerdo a Ospina et al. (2020) el municipio en mención cosecha anualmente 2.303ha con una producción de 4.887 ton.

Dada la importancia que tiene el fríjol como principal sustento económico y teniendo en cuenta que, para llevar a cabo este tipo de cultivos, se emplean postes como sistema de tutorado

lo que implica utilizar madera para la obtención de dichos postes, es necesario buscar una opción que contribuya a disminuir el uso de madera pero que no interfiera dentro del proceso del cultivo de frijol; para ello, se plantea reemplazar los postes de madera por tutores ecológicos elaborados a partir de residuos plásticos, alternativa que fomenta el aprovechamiento de residuos plásticos y que contribuye a prevenir efectos negativos asociados a la agricultura como la pérdida de biodiversidad y cambios en el paisaje mencionados por (Armenteras et al., 2006), que en su mayoría son ocasionados por actividades antrópicas como la agricultura.

Para llevar a cabo la evaluación de viabilidad de este tipo de tutores se empleó el análisis de alternativas que permitió hallar la opción técnico económica más viable para transformar los residuos plásticos en tutores ecológicos para su utilización en el sistema de tutorado del cultivo de frijol.

## MARCO CONCEPTUAL

El ser humano, desde tiempos remotos, ha dependido de la naturaleza para su sustento, sin embargo, en su afán por explotar más y más los recursos naturales ha llegado a exceder el límite ocasionando serios daños ambientales, como los asociados a actividades agrícolas, donde se talan árboles sin control impactando gravemente los ecosistemas y contribuyendo a la emisión de gases de efecto invernadero, donde la deforestación antrópica aporta en más del 15% a dichas emisiones (Prem et al., 2020); es evidente la gran importancia que tienen los bosques, pues cumplen innumerables funciones: captan  $CO_2$  y liberan oxígeno que es tan esencial para la respiración, protegen las cuencas hidrográficas, controlan la erosión, entre otras importantes funciones. (Graham et al., 2020)

Durante años, la tala indiscriminada de árboles ha impactado de manera directa a Colombia, así como afirma (Liévano-Latorre et al., 2021) con actividades antrópicas asociadas en gran medida con la agricultura, la ganadería y los asentamientos humanos, también tiene gran incidencia las actividades relacionadas con cultivos ilícitos y la minería; (Liévano-Latorre et al., 2021) también mencionan que en el año 2008, el 40% de los bosques del país fueron talados y además en el año 2017 el país perdió el 23% de la cobertura vegetal.

Por otra parte, es de vital importancia mencionar otro problema asociado con la falta de conciencia ambiental de la sociedad, y es la inadecuada disposición de residuos sólidos, que genera problemas de salud pública y contaminación ambiental, de acuerdo a (Garcés-Ordóñez et al., 2019) la contaminación marina está dada en su mayoría por los plásticos, que son producidos en gran cantidad para un solo uso en cosméticos, alimentos, etc, y al final de su vida útil no son reciclados sino que se disponen de manera incorrecta (alrededor del 65% de los

residuos sólidos) en zonas de protección o en cuerpos hídricos y terminan por convertirse en microplásticos que se acumulan en los seres marinos como moluscos, peces, entre otros.

Con relación a la zona de estudio del proyecto, el municipio de Gutiérrez basa su economía en producción de diversas variedades de fríjol, durante el proceso de cultivo, se requiere de preparar el terreno y establecer un sistema de tutorado haciendo uso de postes de madera, por tanto, es importante plantear opciones que fomenten el no uso de madera, sino el uso de otro tipo de materiales, como los residuos plásticos, para la fabricación de tutores ecológicos que ofrezcan la misma funcionalidad que los de madera.

El proyecto “Alternativa técnico-económica para la elaboración de tutores ecológicos para el cultivo de fríjol en el municipio de Gutiérrez, Cundinamarca” surge como una estrategia para disminuir el uso de los recursos forestales en el cultivo de fríjol, a su vez, fomentar el aprovechamiento de residuos sólidos como el plástico en la elaboración de tutores o postes ecológicos de la mano de la empresa BIMSOL SAS, dedicada a actividades como consultoría de gestión, de arquitectura e ingeniería y otras actividades relacionadas de consultoría integral.



## ESTADO DEL CONOCIMIENTO

La generación de residuos plásticos y el uso desmedido del recurso forestal son uno de tantos problemas ambientales ocasionados por el ser humano, por tanto, es trascendental el planteamiento de alternativas encaminadas a resolver este tipo de problemas; en temas de generación de materiales plásticos cabe mencionar que este tipo de material es muy utilizado en todo el mundo debido a sus múltiples propiedades, como lo menciona (Ali et al., 2021) el plástico es altamente resistente y moldeable, características que lo convierten en un material altamente atractivo para ser usado en la industria, el comercio y en la agricultura; con la alta producción de insumos plásticos es inevitable la generación de residuos que afectan los ecosistemas, por tanto, es de vital importancia plantear soluciones que permitan su eliminación, como la degradación con la ayuda de microorganismos como lo plantea (Ali et al., 2021).

Además de la biodegradación, existen otras opciones para reutilizar este tipo de residuos, como el de generar combustibles mediante pirólisis, (Kumar Jha & Kannan, 2020) mencionan que la producción mundial del plástico está cercana a las 300 millones de toneladas por año y lastimosamente ésta cifra va en aumento; plantean el reciclaje de los residuos plásticos para convertirlos en aceite a través del proceso de pirólisis plástica, que consiste en introducir los plásticos en un reactor a una temperatura entre los 450° C a 550° C, el aceite obtenido se destila y se filtra para su purificación. Por otra parte, (Basha et al., 2020) propone que el plástico reciclado puede ser incorporado al hormigón, reemplazando a los agregados convencionales, lo que resulta en un hormigón ligero y que proporciona aislamiento térmico.

A nivel país existen empresas que transforman los residuos plásticos en diversos productos, como EcoMaderas Plásticas, Plasmaco, Econorte y Maderplast; la empresa

EcoMaderas Plásticas ubicada en la ciudad de Bogotá, está dedicada a la producción de madera plástica a partir de diferentes materiales (tapas de gaseosa, ganchos de ropa, entre otros), para ser utilizada en parques infantiles, pisos, postes para establos entre otras aplicaciones, (Ecomaderas Plásticas, s. f.) estima que la vida útil de la madera plástica podría superar los 100 años.

Por otro lado, la empresa Plasmaco en Itagüí – Antioquia, genera productos (estibas, cercas en madera plástica) duraderos y seguros ante eventos extremos como los incendios (Plasmaco, s. f.) ; la empresa Econorte con sede en Bogotá y Mosquera, produce tanques para uso en la piscicultura, alambre de púas, postes plásticos y Maderplast con sede en Bogotá que produce madera plástica.

## OBJETIVOS

### **Objetivo General:**

- Proponer una alternativa técnico-económica viable para la elaboración de tutores ecológicos para el cultivo de frijol en el municipio de Gutiérrez, Cundinamarca.

### **Objetivos Específicos:**

-Diagnosticar el aprovechamiento y la transformación de residuos plásticos en el municipio de Gutiérrez y en la Provincia de Oriente Cundinamarca.

- Detallar los requerimientos necesarios para la elaboración de tutores ecológicos a partir de residuos plásticos.

-Analizar alternativas de generación de tutores ecológicos plásticos para su uso en el cultivo de frijol.

-Determinar la alternativa técnico-económica más adecuada para la obtención de tutores ecológicos en el municipio de Gutiérrez, Cundinamarca.

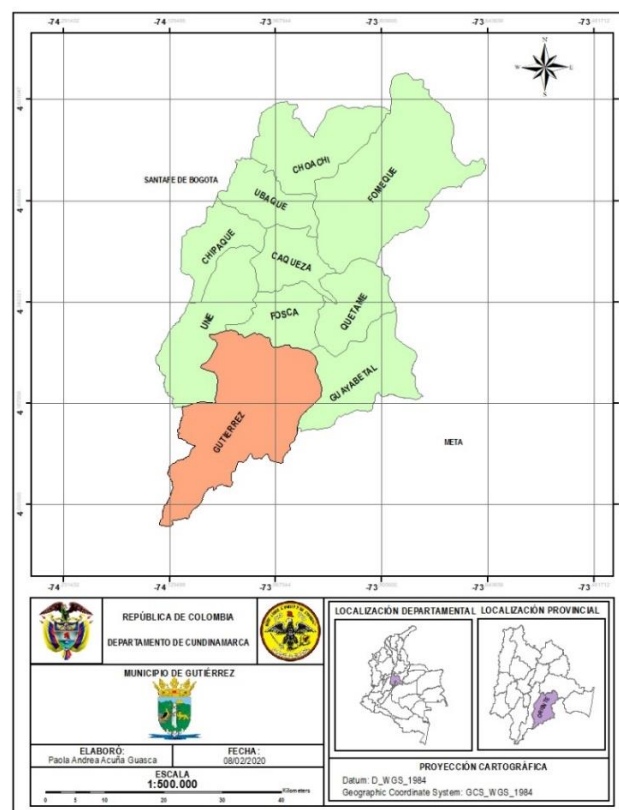
# METODOLOGÍA

## Localización del área de estudio

La Provincia de Cundinamarca según García (2020) está conformada por 10 municipios (Figura 1) dentro de los cuales se encuentra Gutiérrez, que corresponde al área de estudio del proyecto; seguidamente se encuentran los municipios de Guayabetal, Quetame, Fosca, Une, Cáqueza, Chipaque, Ubaque, Fómeque y Choachí.

## Figura 1

*Ubicación municipio de Gutiérrez en la Provincia de Oriente*



*Fuente: Elaboración propia con base en datos de (Alcaldía Municipal de Gutiérrez, 2011)*

Gutiérrez limita con los municipios de Une, Fosca, Guayabetal y con el departamento del Meta; posee gran riqueza hídrica y diversidad de áreas protegidas como páramos, subpáramos, áreas forestales, áreas de restauración ecológica, entre otras. (Alcaldía Municipal de Gutiérrez, 2011). En cuanto a la división político administrativa del municipio de Gutiérrez (Tabla 1, Figura 2), está constituida por el sector urbano con dos barrios: El Topacio y Barrio Centro, y el sector rural con 22 veredas; el municipio cuenta con redes viales primarias, secundarias, terciarias y caminos (Figura 2).

**TABLA 1**

*División Político Administrativa del municipio de Gutiérrez*

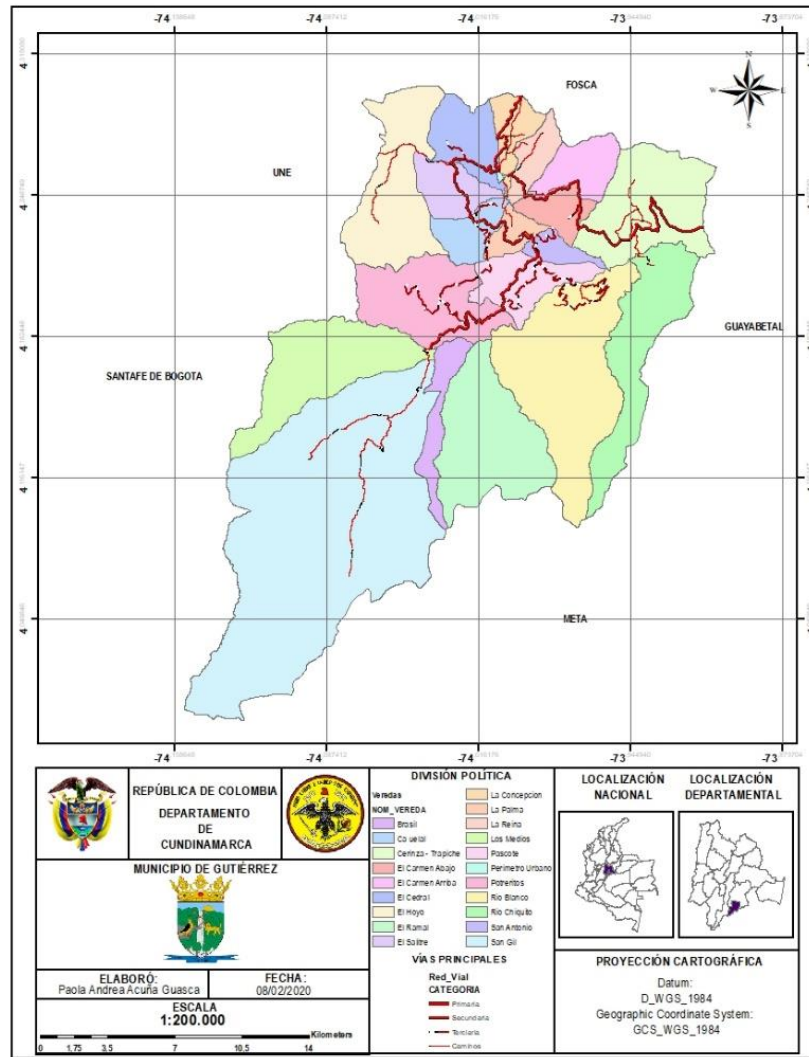
<b>ZONA O SECTOR</b>	<b>BARRIO O VEREDA</b>
<b>URBANA</b>	El Topacio
	Barrio Centro
<b>RURAL</b>	La Rinconada
	El Cedral
	La Concepción
	La Reina
	Carmen Arriba
	Carmen Abajo
	El Hoyo
	El Salitre
	Cañuelal
	La Palma
	San Antonio
	Cerinza
	Trapiche
	Río Chiquito
	Pascote
	Potreritos
	Río Blanco
	El Ramal
	El Brasil
	Los Medios
	San Gil

*Fuente: Elaboración propia con base en datos de (Alcaldía Municipal de Gutiérrez,*

*2011)*

**Figura 2**

*División Político Administrativa y vías principales del municipio de Gutiérrez*



*Fuente: Elaboración propia con base en datos de (Alcaldía Municipal de Gutiérrez, 2011)*

La economía del municipio se basa en el sector agrícola, con el 50% de la población económicamente activa dedicada a la producción de cultivos como el fríjol en las variedades de Bolo Rojo, Cargamanto y Bolo Blanco; en segundo lugar, se encuentra el sector pecuario y por

último el sector comercial. Teniendo en cuenta que la economía del municipio se basa en la producción de fríjol, el uso de tutores ecológicos promueve la agricultura sostenible, contribuye a la generación de empleo, a la protección de los recursos naturales y a la cultura del reciclaje al proporcionarle un segundo uso a los residuos plásticos.

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos se procedió a elaborar un diagnóstico para caracterizar la zona de estudio, identificando qué tipos de residuos se están generando en el municipio, así como las formas de aprovechamiento de los mismos; en segunda instancia, se realizó la consulta de los antecedentes sobre aprovechamiento de residuos plásticos en los demás municipios de la Provincia de Oriente a través de la consulta de los diferentes Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de los municipios de Oriente y del departamento de Cundinamarca así como el informe de Gestión Integral De Residuos Sólidos Del Departamento; seguidamente se establecieron las condiciones o requerimientos necesarios para la obtención de tutores ecológicos: Tipos de plásticos empleados, cantidad de plástico requerido, tipo de maquinaria, proceso de elaboración y normativa relacionada con aprovechamiento de residuos sólidos y la consulta de normativas municipales, como el EOT, donde se estableció si este tipo de actividades industriales están permitidas dentro del uso del suelo.

Posteriormente se procedió a realizar el análisis de alternativas para dos procesos: la elaboración de Tutores ecológicos con “Plastic Lumber” vs “Tutores Ecológicos con Wood Plastic Composite WPC”, donde se tuvieron en cuenta aspectos como: mayor vida útil, aprovechamiento de residuos, facilidad de obtención de materia prima y resistencia a la degradación; luego de plantear las alternativas se seleccionó el proceso más adecuado junto al correspondiente listado y presupuesto de la maquinaria necesaria para la elaboración de los tutores ecológicos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Diagnóstico

#### *Caracterización Zona De Estudio*

**Tipo De Residuos Generados En El Municipio Y Su Aprovechamiento.** En términos de aprovechamiento de los residuos sólidos a nivel regional, Granados (2019) evidencia que 103 municipios de Cundinamarca cuentan con actividades de aprovechamiento, incluyendo 9 de los 10 municipios pertenecientes a la Provincia de Oriente; el municipio de Gutiérrez cuenta con un lugar destinado al almacenamiento temporal y separación de residuos aprovechables, realiza la recolección de los residuos sólidos en un vehículo compactador, para la zona rural el servicio de recolección es complejo debido al estado de las vías, por tanto, en la mayoría de las veredas los residuos sólidos se eliminan mediante quemas o enterramientos.

La disposición final de los residuos sólidos del municipio de Gutiérrez se lleva a cabo en el Relleno Sanitario Doña Juana, donde se dispusieron 63,55 toneladas para el año 2015, lo que equivale a 5,30 toneladas mensuales; en materia de reciclaje no se realiza separación en la fuente y no existe Población Recicladora de Oficio (PRO) (Consortio PGIRS Cundinamarca, 2016). De acuerdo con la revisión documental, el municipio no cuenta actualmente con proyectos que involucren la transformación de residuos plásticos.

Respecto a la generación de residuos plásticos en el municipio, para el casco urbano del 100% de los residuos sólidos, el 57,1% corresponde a materia orgánica y en segundo lugar está el plástico con un 15,8%, de estos residuos plásticos el 21,3% pertenece a los plásticos PEAD (Polietileno de Alta Densidad); para el sector rural del 100% de los residuos sólidos, el 57,8% corresponde a materia orgánica seguido de un 20,8% para los residuos plásticos, siendo el PEBD



(Polietileno de Baja Densidad) el más abundante con un 19,5% (Consortio PGIRS Cundinamarca, 2016).

### ***Aprovechamiento De Residuos Sólidos En La Provincia De Oriente***

De acuerdo con la consulta documental realizada se puede determinar que 9 de los 10 municipios de Oriente realizan actividades de aprovechamiento (excepto Quetame), adicional a lo anterior, no se evidenciaron proyectos o actividades relacionadas con la transformación de residuos plásticos en tutores ecológicos en la Provincia de Oriente.

Los municipios de Cáqueza, Fosca, Guayabetal, Fómeque y Choachí (Tabla 2) cuentan con Centros de Acopio que corresponden a instalaciones para almacenar los residuos sólidos; los municipio de Une y Fómeque tienen Centros de Acopio y Plantas de Aprovechamiento que corresponden a instalaciones para recuperar y reutilizar materiales; el municipio de Chipaque cuenta con Estaciones de Transferencia donde los residuos sólidos son trasladados de los vehículos recolectores a vehículos con mayor capacidad para luego ser transportados a sitios de disposición final; por último, los municipios de Quetame y Ubaque no reportan lugares destinados a el aprovechamiento de residuos sólidos.

***Tabla 2***

#### ***Aprovechamiento de residuos sólidos en la Provincia de Oriente***

<b>MUNICIPIO</b>	<b>*PA</b>	<b>*CA</b>	<b>*ET</b>	<b>ACTIVIDADES DE APROVECHAMIENTO</b>
<b>Cáqueza</b>		X		Campañas de reciclaje, intercambio de residuos por alimentos frescos. (Empresas Públicas de Cundinamarca S.A ESP, 2018)
<b>Une</b>	X	X		Clasificación y venta de residuos. (Granados, 2019)
<b>Fosca</b>		X		Campañas de reciclaje.
<b>Guayabetal</b>		X		Separación y acopio (Granados, 2019)

<b>Quetame</b>			No cuenta con lugares para el aprovechamiento de residuos sólidos. (Granados, 2019)
<b>Ubaque</b>			Llevadas a cabo por recicladores formales, campañas de reciclaje. Reciclaje en la fuente. No reporta lugares para el aprovechamiento de residuos sólidos. (Granados, 2019)
<b>Fómeque</b>	X	X	Recolección selectiva de residuos orgánicos. (Granados, 2019)
<b>Choachí</b>		X	Clasificación y venta de residuos. Jornadas de recolección de residuos aprovechables. (Granados, 2019)
<b>Chipaque</b>		X	Campañas educativas. (Consortio PGIRS Cundinamarca, 2016)

*\*PA: Planta de Aprovechamiento*

*\*CA: Centro de Acopio*

*\*ET: Estación de Transferencia*

*Fuente: Elaboración propia con base en datos de (Granados, 2019)*

### **Requerimientos Para La Elaboración De Tutores Ecológicos**

Los tutores o postes ecológicos son hechos a partir de la denominada “madera plástica o ecológica”, elaborada a partir de plástico reciclado y tiene como objetivo reemplazar la madera tradicional, es ampliamente utilizada en juegos infantiles, cercas, sistemas de tutorado, muebles, entre otros.

Los tutores ecológicos hechos a partir de madera plástica ofrecen múltiples ventajas como: Vida útil de aproximadamente 100 años, resistencia a la humedad e intemperie, disminución de residuos sólidos, reducción de la tala de árboles, entre otros. El proceso productivo (Figura 3) según Salas (2015) inicia con la recolección del plástico en centros de acopio, posteriormente se separan y limpian los plásticos, luego el material reciclado pasa por una máquina trituradora para convertirlo en partículas pequeñas que facilitarán el proceso de extrusión para obtener el producto final deseado.

**Figura 3****Proceso Productivo**

*Fuente: Elaboración propia con base en datos de (Ecomaderas Plásticas, s. f.)*

**Tipo De Plásticos**

Para la elaboración de tutores o postes ecológicos se emplean los termoplásticos, ICONTEC (2004) define los termoplásticos como un tipo de plástico que puede fundirse por acción del calor o endurecerse por enfriamiento múltiples veces a través del proceso de moldeo o extrusión, el cual consiste en hacer pasar por medio de presión, el plástico fundido a través de una

boquilla que luego es depositado en un molde para que se enfríe y adquiera las dimensiones deseadas.





La ventaja de usar termoplásticos, según Salas (2015) es que se pueden fundir y moldear varias veces, a diferencia de los termofijos, los cuales una vez solidificados no pueden ser fundidos nuevamente porque pierden sus características iniciales.

Según la clasificación de los plásticos (Tabla 4) los Termoplásticos están conformados por el Polietileno Tereftalato (PET), Polietileno de Alta densidad (PEAD o HDPE), Cloruro de Polivinilo (PVC), Polietileno de Baja Densidad (PEBD o LDPE), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS) y Otros como el Policarbonato PC, Estireno, Nylon, Poliuretano; los Termofijos o Termoestables están conformados por el Poliéster insaturado, Resinas fenólicas y Resinas epóxicas.

**Tabla 3:**

*Clasificación de los plásticos GTC 53-2*

	PLÁSTICO	CÓDIGO	APLICACIONES
<b>Termoplásticos</b>	Polietileno Tereftalato (PET)		Botellas, envases farmacéuticos, películas para el envasado de alimentos.
	Polietileno de Alta densidad (PEAD o HDPE)		Tuberías, canastillas, botellas, vajillas plásticas, juguetes.
	Cloruro de Polivinilo (PVC)		Tuberías y accesorios para suministro de agua potable.
	Polietileno de Baja Densidad (PEBD o LDPE)		Botellas, mangueras, bolsas, tapas, juguetes.
	Polipropileno (PP)		Bolsas en general, vasos desechables, envases para detergentes.
	Poliestireno (PS)		Vasos, platos y cubiertos desechables, recipientes de cosméticos, neveras portátiles.

	Otros (Policarbonato PC, Estireno, Nylon, Poliuretano)		Botellones para agua, discos compactos, envases para alimentos, adhesivos.
	Poliéster insaturado		Piezas de automóvil, espumas plásticas.
<b>Termoestables</b>	Resinas fenólicas		Aplicaciones en abrasivos, aislantes.
	Resinas epóxicas		Adhesivos para láminas, pavimentación de carreteras.

*Fuente:* (ICONTEC, 2004)

Conforme a lo establecido en la Caracterización de la Zona de Estudio, en materia de generación de residuos plásticos, el municipio de Gutiérrez tiene potencial para la elaboración de tutores ecológicos, pues se generan residuos plásticos pertenecientes a la categoría de Termoplásticos, principalmente PEAD y PEBD, los cuales son la materia prima más idónea para los tutores ecológicos, debido a su capacidad para ser moldeado y de volverse a fundir luego de solidificarse.

### ***Cantidad de plástico requerido***

Ecomaderas Plásticas (s. f.) afirma que para fabricar alrededor de 1 poste o tutor ecológico se necesitan alrededor de 10kg de residuos plásticos de preferencia termoplásticos; en el municipio de Gutiérrez se cosecha un área total aproximada de 2.303ha de fríjol anualmente y se utilizan alrededor de 921.200 postes o tutores de madera convencional; para elaborar esa cantidad de postes en madera plástica, se requerirán alrededor de 9'212.000kg de residuos plásticos; de acuerdo a la Caracterización de la Zona de Estudio relacionada con el tipo de residuos generados en el municipio de Gutiérrez, de los 63.550kg de residuos sólidos generados anualmente, el 36,6% son residuos plásticos equivalentes a 23.259,3kg al año, en este sentido se requiere del apoyo de municipios vecinos para cubrir la demanda de plástico necesaria para elaborar los postes ecológicos para el cultivo de fríjol.

### ***Tipo de maquinaria***

Para la transformación de los residuos plásticos se emplean diversas máquinas (Figura 4) como el aglutinador, que permite la destrucción de residuos plásticos hechos a partir de Polipropileno (PP) como bolsas, etiquetas o sobres de shampoo, entre otros; la máquina extrusora encargada de fundir y moldear el plástico; la torre de enfriamiento facilita el desmolde de las piezas hechas en madera plástica; el tanque de enfriamiento es donde se depositan los moldes que salen de la extrusora; el molino permite triturar el Polietileno Tereftalato (PET) en pequeñas partículas y el mezclador se encarga de homogenizar el material plástico ya triturado.

### ***Figura 4:***

#### ***Tipo de Maquinaria para elaboración de Tutores Ecológicos***



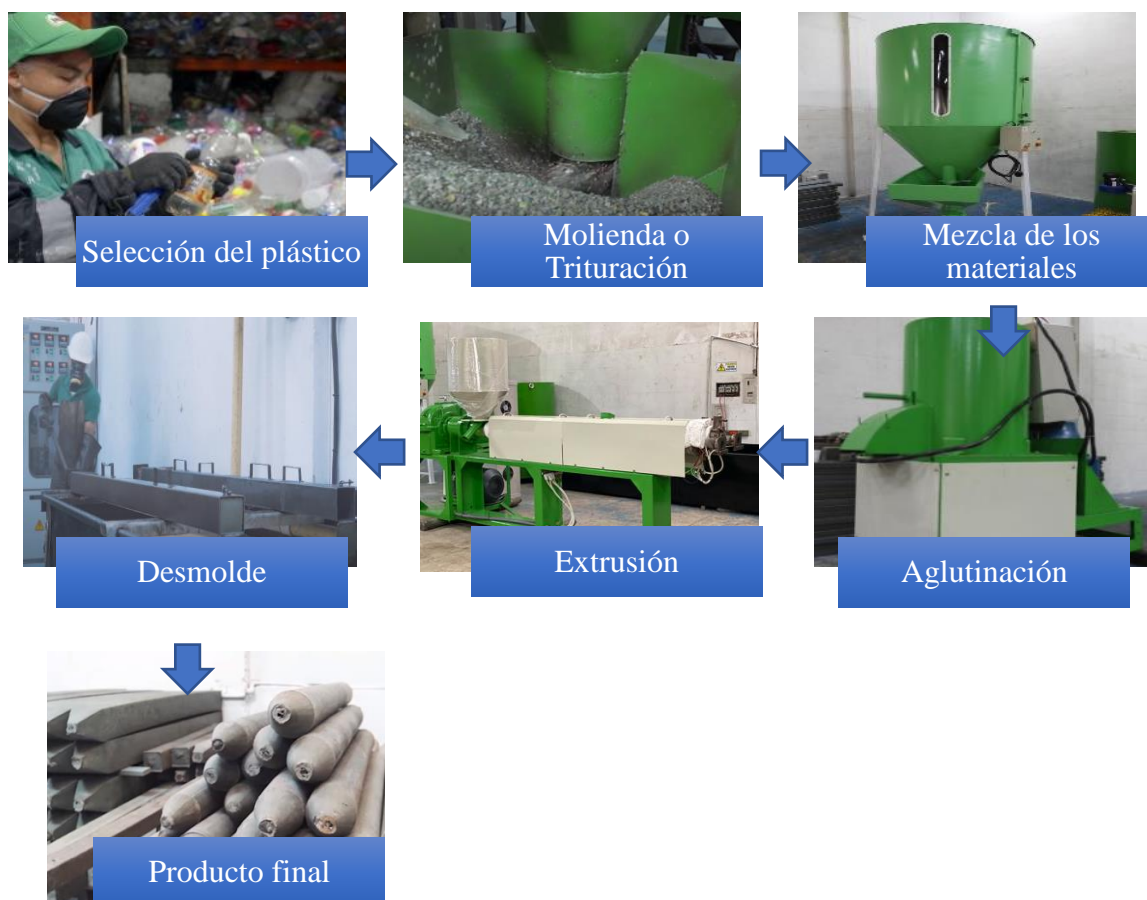
*Fuente: Elaboración propia con fotografías proporcionadas por (Ecomaderas Plásticas, s. f.)*

### ***Proceso Para La Obtención De Tutores Ecológicos.***

Para la obtención de tutores ecológicos (Figura 5), en primer lugar, se debe seleccionar el material plástico, de preferencia que pertenezca a la categoría de termoplásticos, el material plástico reciclado debe ser sometido a un proceso de trituración, luego ocurre el proceso de mezcla y aglutinado, después ocurre la extrusión donde el material plástico va siendo depositado a presión en los moldes; luego se retiran los moldes de la extrusora y se disponen en el tanque de enfriamiento para facilitar su desmolde y obtener finalmente el tutor o poste ecológico.

***Figura 5:***

*Proceso de obtención de tutores ecológicos*



*Fuente: Elaboración propia con fotografías proporcionadas por (Ecomaderas Plásticas, s. f.)*

## **Restricciones normativas**

### ***Licencia Ambiental***

Los proyectos que involucran actividades industriales y de construcción de plantas destinadas a el aprovechamiento de residuos sólidos, están sujetos a presentar los trámites requeridos por el Decreto 2041 de 2014 sobre Licencias Ambientales ante la Corporación Autónoma Regional CAR, debido a que se generan residuos líquidos, emisiones atmosféricas y eventualmente, residuos sólidos durante la elaboración de los tutores ecológicos; el Decreto 1541 de 1978, en su Artículo 228 define que los efluentes de estas plantas industriales no deben ser vertidos a fuentes hídricas, dichas plantas deben contar con redes especiales para evacuar dichos residuos líquidos.

### ***Aprovechamiento de residuos plásticos***

En materia de aprovechamiento de residuos plásticos, (ICONTEC, 2004) enfatiza que se deben promover acciones encaminadas a aprovechar los residuos plásticos generados; la separación en la fuente es trascendental, pues facilita la separación y recolección de los residuos plásticos.

En este sentido, es importante realizar actividades que incentiven la separación en la fuente en el municipio de Gutiérrez, como las campañas educativas en materia de reciclaje o el intercambio de residuos plásticos por productos alimenticios, dichas acciones facilitan la selección y clasificación de la materia prima en los centros de acopio.

### ***Normativa municipal***

Según el Acuerdo 015 del 7 de diciembre de 2011 que reglamenta al Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Gutiérrez, se establece que el uso del suelo para actividades industriales de gran impacto es restringido pues la zona no presenta aptitud para



ése tipo de usos del suelo, por tal motivo se sugiere contemplar la posibilidad de ubicar la planta de elaboración de tutores ecológicos en municipios cercanos, como Cáqueza, que cuenta con zonas aptas para industria según el Acuerdo 006 de 2000 que reglamenta al Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio en mención.

### **Aceptación del Producto en el Municipio**

Para conocer si los tutores ecológicos tienen aceptación por parte de la población del municipio de Gutiérrez, se encuestaron alrededor de 369 personas, de las cuales el 51% son mujeres y el 49% son hombres (Figura 6); de las 182 mujeres encuestadas, el 36% realizan actividades de reciclaje en casa (Figura 7) mientras que el 64% afirma no realizar ninguna actividad de reciclaje en la fuente; de los 187 hombres encuestados, el 42% afirma que llevan a cabo actividades de reciclaje en casa, mientras que el 58% afirma no reciclar en casa (Figura 8); en cuanto a participación en actividades de recolección de productos reciclables en el municipio (Figura 9), el 63% de los encuestados manifiestan haber participado en dichas actividades; por último, de las 369 personas encuestadas, el 72% señala que estarían dispuestos a adquirir los tutores ecológicos para ser utilizados en el cultivo de fríjol (Figura 10).

**Figura 6:**

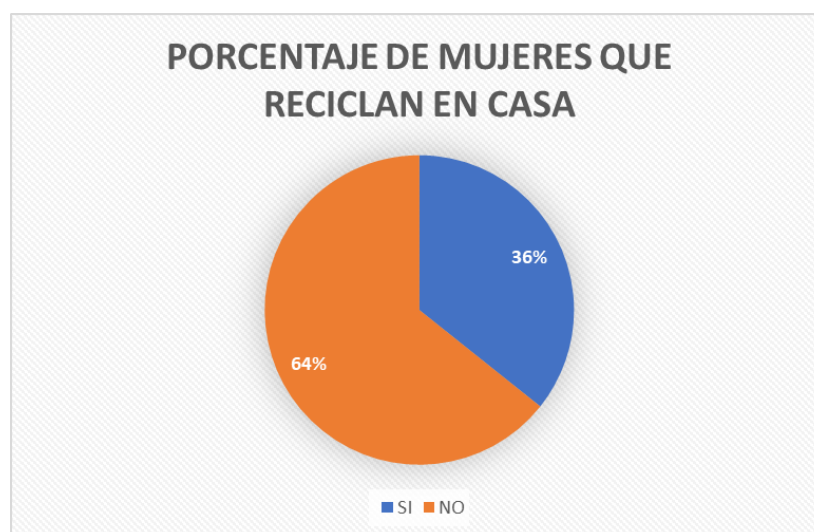
*Sexo de personas encuestadas*



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 7:**

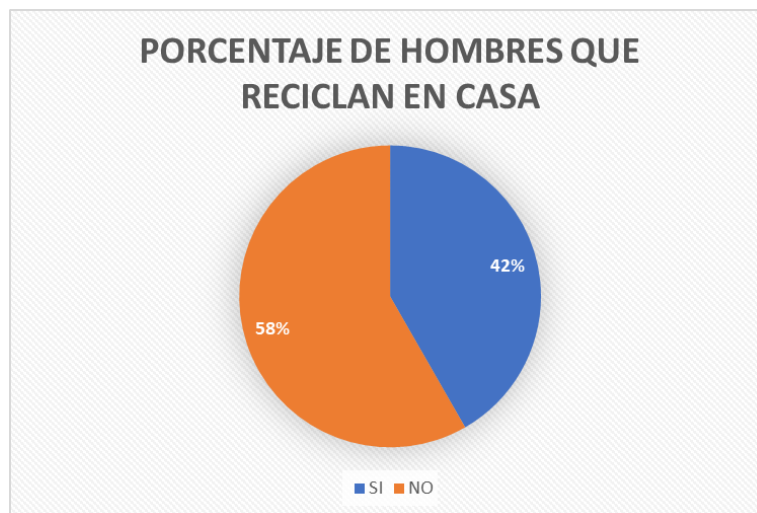
*Porcentaje de mujeres que reciclan en casa*



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 8:**

*Porcentaje de hombres que reciclan en casa*



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 9**

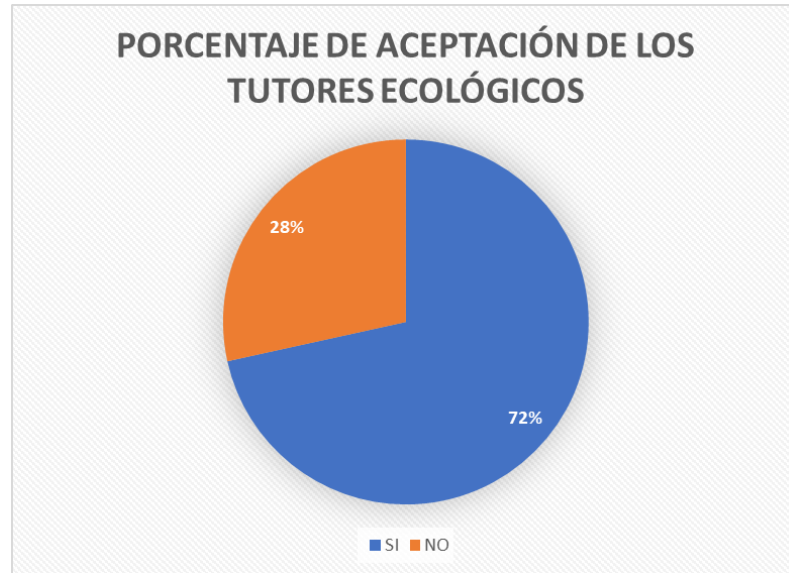
*Porcentaje de participación en actividades de recolección*



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 10**

*Porcentaje de aceptación de los tutores ecológicos*



*Fuente: Elaboración propia*

**Análisis de Alternativas**

Para la elaboración de tutores ecológicos existen dos tipos de madera plástica (Tabla 4) "Plastic Lumber" fabricada a través del proceso de extrusión y "Wood Plastic Composite WPC" obtenida a partir del proceso de coextrusión; la madera plástica plastic lumber es elaborada con 100% plástico reciclado, no requiere mantenimiento y ofrece resistencia a los cambios ambientales; por otro lado, la madera plástica Wood Plastic Composite es hecha con la combinación de residuos plásticos y residuos de madera y requiere de mantenimiento.

**Tabla 4:***Tipos de Madera Plástica*

	<b>PLASTIC LUMBER</b>	<b>WOOD PLASTIC COMPOSITE (WPC)</b>
<b>MATERIAL</b>	100% Termoplásticos. (Flórez y Jiménez, 2017)	Mezcla de plástico reciclado y madera o residuos orgánicos como cáscara de banano, tamo de arroz. (Flórez y Jiménez, 2017)
<b>PROCESO</b>	Extrusión	Coextrusión
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	Resistente al ataque de insectos y cambios ambientales. No requiere mantenimiento. Adición de filtro UV para evitar cristalización con el sol y el agua. Adición de un anti-flama para proteger en caso de incendio.	Requiere trabajar a bajas temperaturas para evitar que se degrade la madera. Requiere mantenimiento. Se puede taladrar, lijar y cortar. Aprovechamiento de residuos de madera. (García Velázquez et al., 2013)
<b>VIDA ÚTIL</b>	Más de 100 años.	Más de 100 años.

*Fuente: Elaboración propia con base en datos de (García Velázquez et al., 2013) y*

*(Flórez y Jiménez, 2017)*

Para el análisis de alternativas (Tabla 5) se tomaron en consideración aspectos como mayor vida útil, aprovechamiento de residuos, facilidad de obtención de materia prima y resistencia a la degradación, la Alternativa 2: Tutores Ecológicos Wood Plastic Composite obtuvo un puntaje total de 2, ofreciendo ventajas en temas de vida útil y aprovechamiento de residuos de madera y plástico, mientras que la Alternativa 1: Tutores Ecológicos Plastic Lumber obtuvo un puntaje de 5, además de ofrecer mayor vida útil posee resistencia a la degradación al ser compuesta 100% de plástico a diferencia de la Alternativa 2 que requiere de la adición de residuos de madera y plástico.

**Tabla 5:***Análisis de Alternativas*

<b>CRITERIO</b>	<b>ALTERNATIVA 1: TUTORES ECOLÓGICOS PLASTIC LUMBER</b>	<b>ALTERNATIVA 2: TUTORES ECOLÓGICOS WOOD PLASTIC COMPOSITE (WPC)</b>
<b>MAYOR VIDA ÚTIL</b>	1	1
<b>APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS</b>	1	1
<b>FACILIDAD DE OBTENCIÓN MATERIA PRIMA</b>	1	0
<b>RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN</b>	1	0
<b>PUNTAJE TOTAL</b>	4	2

*Fuente: Elaboración propia*

**Selección de Alternativa**

Respecto al análisis de alternativas (Tabla 5) se pudo determinar que la Alternativa 1: Tutores Ecológicos Plastic Lumber es la más adecuada para la elaboración de tutores ecológicos para el cultivo de fríjol, pues ofrece facilidad de obtención de materia prima y aprovechamiento de residuos plásticos.

Para la alternativa escogida se propuso un listado de equipos necesarios (Tabla 6) para la obtención de los tutores ecológicos, que consta de una máquina extrusora, un molino, moldes, un tanque y una torre de enfriamiento.

**Tabla 6:**

*Listado de Equipos para tutores ecológicos con Plastic Lumber*

ÍTEM	NOMBRE	CANT.	ESPECIFICACIONES
1	EXTRUSORA	1	Tornillo = 100 mm; Camisa = 3,5 m; Motor = 30 hp; Rendimiento = 150 kilos/hora; Consumo energía total = 23 kw/h; Peso total = 1.500
2	MOLINO	1	Motor 30 hp; Consumo de energía = 23 kw/h; Capacidad de procesamiento = 120kilos/hora
3	TANQUE DE ENFRIAMIENTO	1	Capacidad de almacenamiento = 4800L; Dimensiones = L (m) = 6; W (m) = 1; H (m) = 0.8
4	TORRE DE ENFRIAMIENTO	1	Moto ventilador x 2: 3 hp; Capacidad de almacenamiento = 1000L Bomba 5 hp
5	MOLDES	30	Molde cuadrado; Dimensiones = L (m) = 2.10; W (m) = 0.08; H (m) = 0.08

*Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de (Ecomaderas Plásticas, s. f.)*

### **Presupuesto**

Se pudo establecer un presupuesto de equipos (Tabla 7) de acuerdo con el listado de maquinaria para una planta básica de elaboración de tutores ecológicos que podría producir aproximadamente 3.000 postes ecológicos mensualmente; para la realización del presupuesto solo se tuvo en cuenta el costo de inversión.

**Tabla 7:**

*Presupuesto de Equipos*

<b>PROYECTO “ALTERNATIVA TÉCNICO-ECONÓMICA PARA LA ELABORACIÓN DE Tutores Ecológicos para el Cultivo de Fríjol en el Municipio de Gutiérrez, Cundinamarca”</b>				
ÍTEM	NOMBRE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	EXTRUSORA	1	\$ 108'000.000	\$ 108'000.000
2	MOLINO	1	\$ 29'000.000	\$ 29'000.000

3	TANQUE DE ENFRIAMIENTO	1	\$ 7'500.000	\$ 7'500.000
4	TORRE DE ENFRIAMIENTO	1	\$ 7'500.000	\$ 7'500.000
5	MOLDES	30	\$ 4'666.666,7	\$ 14'000.000
<b>TOTAL</b>				\$ 166'000.000

*Nota: El presente presupuesto solo representa el costo de inversión, los precios no incluyen IVA.*

*Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de (Ecomaderas Plásticas, s. f.)*



## CONCLUSIONES

Finalizada la pasantía puede concluirse que el proyecto de elaboración de tutores ecológicos para el cultivo de fríjol, es una idea innovadora que contribuye a incentivar el aprovechamiento de residuos plásticos en el municipio de Gutiérrez.

Dentro de la caracterización de la zona de estudio se logró identificar los diferentes tipos de residuos generados en la zona urbana y rural del municipio, dentro del diagnóstico se consiguió establecer que los termoplásticos son la materia prima más adecuada para la elaboración de los tutores ecológicos, hecho que favorece la obtención de tutores ecológicos dentro del municipio, puesto que son estos tipos de plásticos los que se generan en mayor cantidad.

En el municipio de Gutiérrez se producen anualmente 63.550kg de residuos sólidos, de los cuales el 15,8% son residuos plásticos de la zona urbana y un 20,8% corresponden a residuos plásticos de la zona rural, para un total del 36.6% de residuos plásticos generados anualmente.

En relación con los requerimientos en materia de la cantidad de plástico para la elaboración de postes ecológicos, se necesitan alrededor de 9'212.000kg de residuos plásticos para cubrir la demanda de postes necesarios para las 2.303ha de fríjol cultivadas en el municipio.

Los tutores ecológicos elaborados a partir de madera plástica Plastic Lumber no requieren mantenimiento y ofrecen resistencia a los cambios ambientales, mientras que los tutores ecológicos a partir de madera plástica Wood Plastic Composite requieren de mantenimiento y de la combinación de residuos de madera y plástico.

Los tutores ecológicos con Plastic Lumber son la alternativa técnico-económica más viable para ser usados en el cultivo de frijón, con un costo de inversión aproximado de \$166'000.000, esta alternativa representa gran ventaja, puesto que la materia prima requerida son los residuos plásticos a comparación de los tutores ecológicos con Wood Plastic Composite que requieren de la adición de residuos de madera.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda incentivar el reciclaje en la fuente dentro del municipio, con el fin de facilitar la separación y clasificación de los residuos plásticos, con acciones como campañas educativas o intercambio de residuos reciclables por productos alimenticios.

El uso de tutores ecológicos en el cultivo de fríjol son una opción recomendable debido a que fomenta el no uso del recurso forestal, además de ofrecer una vida útil cercana a los 100 años en comparación con los postes tradicionales, lo que permite menor mantenimiento de los sistemas de tutorado.

Teniendo en cuenta que la cantidad de plástico generada en el municipio de Gutiérrez no es suficiente para cubrir la demanda de postes o tutores ecológicos para el cultivo de fríjol, es recomendable realizar un estudio que contribuya a determinar qué municipio es el más adecuado para obtener la materia prima suficiente para este tipo de proyectos.

## REFERENCIAS

- Alcaldía Municipal de Gutiérrez. (7 de Diciembre de 2011). *Acuerdo 015 Revisión y Ajuste EOT. Gutiérrez, Colombia*. Obtenido de [https://gutierrezcundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/gutierrezcundinamarca/content/files/000021/1019\\_acuerdo\\_015\\_de\\_2011\\_eot.pdf](https://gutierrezcundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/gutierrezcundinamarca/content/files/000021/1019_acuerdo_015_de_2011_eot.pdf)
- Ali, S. S., Elsamahy, T., Koutra, E., Kornaros, M., El-Sheekh, M., Abdelkarim, E. A., Zhu, D., y Sun, J. (2021). Degradation of conventional plastic wastes in the environment: A review on current status of knowledge and future perspectives of disposal. *Science of The Total Environment*, 771, 144719. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144719>
- Armenteras, D., Rudas, G., Rodriguez, N., Sua, S., y Romero, M. (2006). Patterns and causes of deforestation in the Colombian Amazon. *Ecological Indicators*, 6(2), 353-368. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.03.014>
- Basha, S. I., Ali, M. R., Al-Dulaijan, S. U., y Maslehuddin, M. (2020). Mechanical and thermal properties of lightweight recycled plastic aggregate concrete. *Journal of Building Engineering*, 32, 101710. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101710>
- Blanco, G. (2006). Evaluación Técnica Y Plan De Negocios Para La Producción De Mobiliario De “Madera Plástica”, Formulada Con PET Reciclado Y Aserrín. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Estado de México, México. Obtenido de <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/567567>
- Consortio PGIRS Cundinamarca. (2016). *Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos Municipio de Chipaque*. Obtenido de <https://www.orarbo.gov.co/es/documentacion-y-enlaces/listado/plan-de-gestion-integral-de-residuos-solidos-pgirs-chipaque-2016>

- Consortio PGIRS Cundinamarca. (2016). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipio de Gutiérrez*. Colombia. Obtenido de [https://gutierrezcundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/gutierrezcundinamarca/content/files/000025/1245\\_pgirs-2017--con-decreto-029-del-28-de-abril-2017.pdf](https://gutierrezcundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/gutierrezcundinamarca/content/files/000025/1245_pgirs-2017--con-decreto-029-del-28-de-abril-2017.pdf)
- Cruz, Á. (2014). *Planes De Gestión Ambiental Sólidos PGIRS Municipales Y Formulación De La Línea Política De Residuos Sólidos Del Departamento De Cundinamarca*. Obtenido de <http://www.cundinamarca.gov.co/wcm/connect/dcb2455e-f29b-49d6-b392-c7347a6b27b0/Politica+Residuos++FINAL.pdf?MOD=AJPERES&CVID=kL6sotN>
- Ecomaderas Plásticas. (s. f.). *Madera Plástica – Ecomaderas Plásticas*. Recuperado 11 de febrero de 2021, de <https://ecomaderasplasticas.com/maderaplastica/>
- Empresas Públicas de Cundinamarca S.A ESP. (2018). *Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos Municipio de Cáqueza*. Obtenido de <http://www.caqueza-cundinamarca.gov.co/planes/planes-de-gestion-integral-de-residuos-solidos-pgirscaqueza>
- Flórez, L. F., y Jiménez, A. (2017). *Estudio De Viabilidad Para La Creación De Una Empresa De Tablones De Madera Plástica En La Ciudad De Pereira Plastimader*. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/8468/65811F634e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Garcés-Ordóñez, O., Castillo-Olaya, V. A., Granados-Briceño, A. F., Blandón García, L. M., y Espinosa Díaz, L. F. (2019). Marine litter and microplastic pollution on mangrove soils of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, 145, 455-462. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.058>

- García, Á., Amado, M. G., Casados, M. A., y Brito, R. A. (2013). *Madera plástica con PET de post consumo y paja de trigo*. Instituto Tecnológico de Mexicali, México. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4843849>
- García, N. (2020). *Plan Departamental de Desarrollo 2020-2024 "Cundinamarca". Diagnóstico Provincial*. Colombia. Obtenido de [http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeplaneacion/SecretariadeplaneacionDespliegue/aspolyplanprog\\_contenidos/csecreplanea\\_\\_plandesarrdep\\_2020\\_2023](http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeplaneacion/SecretariadeplaneacionDespliegue/aspolyplanprog_contenidos/csecreplanea__plandesarrdep_2020_2023)
- Graham, V., Nurhidayah, L., y Astuti, R. (2020). Reducing Emissions From Tropical Deforestation and Forest Degradation. En M. I. Goldstein & D. A. DellaSala (Eds.), *Encyclopedia of the World's Biomes* (pp. 260-268). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11928-1>
- Granados, J. (2019). *Gestión Integral de los Residuos Sólidos en el departamento de Cundinamarca*. Bogotá D.C, Colombia. Obtenido de <http://www.car.gov.co/uploads/files/5e29f9d0e2cda.pdf>
- ICONTEC. (2004). *Guía para el aprovechamiento de los residuos plásticos GTC 53-2*. Bogotá. Obtenido de <https://ezproxy.uan.edu.co:3105/pdfview/viewer.aspx?locale=es-ES&Q=6A126ABD70E50CEFE9A241EAF15A8719&Req=>
- Kumar Jha, K., y Kannan, T. T. M. (2020). Recycling of plastic waste into fuel by pyrolysis—A review. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.181>

- Liévano-Latorre, L. F., Brum, F. T., y Loyola, R. (2021). How effective have been guerrilla occupation and protected areas in avoiding deforestation in Colombia? *Biological Conservation*, 253, 108916. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108916>
- Ministerio de Agricultura. (2017). Evaluaciones Agropecuarias Municipales. Colombia. Obtenido de [https://www.agronet.gov.co/Documents/6-FR%C3%8DJOL\\_2017.pdf](https://www.agronet.gov.co/Documents/6-FR%C3%8DJOL_2017.pdf)
- Ospina, C., Martínez, J., Contreras, K., y Tautiva, L. (2020). *Análisis socioeconómico del cultivo de frijol en Cundinamarca (Colombia), para la identificación de un Sistema Agroalimentario Localizado (SIAL)*. Obtenido de <http://www.revistas.usach.cl/ojs/index.php/rivar/article/view/4622/26003605>
- Plasmaco. (s. f.). *Plasmaco—Estibas Plásticas y Estacones de Polipropileno*. Plasmaco - Estibas Plásticas y Estacones de Polipropileno. Recuperado 11 de febrero de 2021, de <https://estibasplasticas.co/>
- Prem, M., Saavedra, S., y Vargas, J. F. (2020). End-of-conflict deforestation: Evidence from Colombia's peace agreement. *World Development*, 129, 104852. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104852>
- Salas, P. X. (2015). *Termoplásticos Propuesta De Plan De Negocios Para La Implementación De Una Empresa Productora De Madera Plástica A Partir Del Reciclaje De Polietileno De Alta Densidad Y Otros Materiales Termoplásticos*. Universidad Católica de Santa María, Arequipa. Obtenido de <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/5285/44.0430.II.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Solano, M. R., y Ortíz, H. (2005). *"P.D.E.T" Para la Creación de una Empresa de Madera Plástica en base al Plástico Postconsumo*. Duitama. Obtenido de

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/20867/mrsolano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>