



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO DE DISEÑO INDUSTRIAL
ÁREA DE TECNOLOGÍA

Del diseño circular a la materialidad regenerativa:

Diseño para la circularidad de los residuos
agroindustriales del plátano en México.

TESIS

Que para optar por el grado de:
Maestría en Diseño Industrial

Presenta:

NICOLÁS JOEL PINILLA GAMBOA

Tutora Principal:

Dra. Ana Gabriela Encino

Posgrado de Diseño Industrial, UNAM

Miembros del Comité Tutor:

Dr. Janitzio Egidio Villarreal

Laboratorio de Ecofisiología, CIAD

Dra. Alberta Lourdes Castillo Granada

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM

Dra. Claudia Garduño García

Posgrado de Diseño Industrial, UNAM

MDI. Antonio Solórzano Cisneros

Posgrado de Diseño Industrial, UNAM

Ciudad Universitaria, Cd. Mx, noviembre, 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial al Posgrado de Diseño Industrial por brindarme el apoyo para la realización de esta investigación.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías CONAHCYT, por la beca otorgada para la realización de mis estudios de maestría.

Al Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) de la UNAM, en particular al Mtro. Miguel Angel Canseco, por brindarme el espacio y las herramientas para el desarrollo de la investigación.

Al Ing. Freddy Izquierdo por permitirme conocer de mano propia las plantaciones de plátano en Tabasco.

A mi comité tutor por su orientación y apoyo durante todo este tiempo.

A mi familia por su apoyo incondicional.

Contenido

RESUMEN.....	7
--------------	---

1. INTRODUCCIÓN **8**

1.1. La agroindustria platanera y los residuos agroindustriales.....	9
1.2. Los residuos como oportunidad.....	10
1.3. Los materiales como catalizadores de innovación.....	11
1.3. Preguntas y objetivos de investigación.....	13
1.4. Justificación.....	14
1.5. Contexto de la investigación.....	16
1.5.1. Caracterización del plátano.....	24
1.5.2. Análisis de flujo de recursos.....	26
1.5.3. Análisis Sistémico.....	27

2. MARCO TEÓRICO **32**

2.1. Enfoque sostenible desde el diseño y la economía circular.....	33
2.2. El diseño circular desde una visión sistémica.....	34
2.3. Circularidad desde el C2C y el Biomimetismo.....	37
2.4. Integración enfoques sostenible en el proyecto.....	38
2.5. Eficiencia y resiliencia de sistemas agrícolas.....	39
2.6. Estrategias de Desarrollo Económico y Social.....	41
2.7. Diseño desde los materiales.....	42

3. ANTECEDENTES **45**

3.1. Vigilancia Tecnológica y marco referencial.....	45
3.2. Desarrollos adelantados desde el diseño.....	47

4. ESTRATEGIA METODOLÓGICA **49**

4.1. Enfoque metodológico de la investigación.....	49
4.2. Metodología.....	50

5. HALLAZGOS Y RESULTADOS	54
5.1. Investigación de campo: Recolección de información.....	54
5.1.1. Visita de campo al caso de estudio.....	56
5.1.2. Identificación de principales problemáticas y posibles oportunidades.....	62
5.1.3. Escenarios de Aportación dentro del contexto.....	63
5.2. Estudio experimental.....	66
5.2.1. Extracción de fibras del plátano.....	67
5.2.2. Desarrollo del material.....	76
5.2.2.1. Pruebas compactación de la fibra.....	77
5.2.2.1. Pruebas de formulación de aglutinante.....	82
5.2.2.3. Pruebas de mezclas.....	86
5.3. Pruebas físico-mecánicas.....	92
5.3.1. Pruebas de radiación ultravioleta (UV).....	102
5.4. Propuesta de diseño.....	104
6. CONCLUSIONES	109
6.1. Aportaciones de la investigación.....	109
6.1.1. Aportaciones desde el diseño.....	111
6.2. Limitaciones de la investigación y posibles vías futuras.....	112
7. REFERENCIAS.....	115
8. ANEXOS.....	122

Índice de Tablas

Tabla 1. Comparativa pseudotallo vs la paja y el pino.....	25
Tabla 2. Estrategias, enfoques y métodos del diseño circular.....	35
Tabla 3. Extracción de fibras por método manual.....	69
Tabla 4. Extracción de fibras por método de cocción.....	72
Tabla 5. Extracción de fibras por método de fermentación.....	74
Tabla 6. Proporciones de mezcla para el aglutinante.....	83
Tabla 7. Características deseadas del material.....	92
Tabla 8. Grosos de muestras.....	94
Tabla 9. Comparativa propiedades mecánicas de las muestras.....	100

Índice de Figuras

Fig. 1. Ciclo de Creatividad de Krebs (Krebs Cycle of Creativity).....	12
Fig.2. Historial de área sembrada y producción de plátano en México 2020.....	17
Fig.3. Producción por estado 2020 (ton).....	17
Fig.4. Volumen producido de variedades de plátano.....	18
Fig.5. Porcentaje estatal de la superficie sembrada por variedad de plátano 2020 (ha).....	18
Fig.6. Regiones del estudio.....	20
Fig. 7. Cadena de valor agroindustria.....	21
Fig. 8. Cadena productiva agroalimentaria.....	22
Fig. 9. Partes de la planta de plátano.....	24
Fig. 10. Flujos de recursos del sector platanero.....	27
Fig. 11. Cadena de valor del sector platanero en México.....	28
Fig. 12. Modelo sistémico agroindustrial del plátano en Tabasco.....	29
Fig. 13. Modelo sistémico. Red de actores y áreas de oportunidad.....	30
Fig. 14. Modelo sistémico. Área de oportunidad y enfoque del proyecto.....	31
Fig. 15. Los cuatro modelos del diseño circular.....	36
Fig. 16. Procesos industriales cíclicos en diseño de cuna a cuna.....	37
Fig.17. Las 3P: Prosperidad, personas y planeta.....	41
Fig.18. Factores determinantes del desarrollo de una región.....	42
Fig. 19. Línea de tiempo - Evolución de los Biomateriales y nuevos desarrollos.....	44
Fig. 20. Línea de tiempo de investigaciones adelantadas respecto a hitos históricos.....	46
Fig. 21. Resultados del cuestionario virtual.....	55
Fig. 22. Visita en campo, plantaciones de plátano - Tabasco.....	57
Fig. 23. Racimos de plátano cosechados.....	58
Fig. 24. Cultivos de plátano en la empresa.....	59
Fig. 25. Pseudotallo después de la cosecha.....	59
Fig. 26. Transporte de los racimos para su distribución.....	60
Fig. 27. Troncos (Pseudotallo) de plátano abandonado en el cultivo.....	60
Fig. 28. Residuos postcosecha abandonados en el cultivo.....	61
Fig. 29. Raquis de plátano abandonados para su descomposición.....	61
Fig. 30. Fases del estudio experimental.....	67

Fig. 31. Instrumentos utilizados para la prueba de extracción manual.....	68
Fig. 32. Instrumentos utilizados para la prueba de extracción por cocción.....	70
Fig. 33. Pruebas de espectroscopía a las fibras de plátano.....	76
Fig. 34. Comparativa entre los métodos de extracción de fibras de plátano.....	76
Fig. 35. Molde en mdf de 10 cm.....	78
Fig. 36. Prensado de fibras de plátano en doble dirección.....	79
Fig. 37. Cardado de las fibras en dirección aleatoria.....	80
Fig. 38. Prensado de las fibras en dirección aleatoria.....	80
Fig. 39. Muestra de fibras aglomeradas.....	81
Fig. 40. Muestra con fibras trituradas y partículas de material no fibroso.....	82
Fig. 41. Pesaje muestra de Pseudotallo y extracción de fibras.....	85
Fig. 42. Pesaje de fibras de plátano secas.....	85
Fig. 43. Separación del líquido y la pulpa del pseudotallo.....	86
Fig. 44. Mezcla de PVA con agua al 5%.....	86
Fig. 45. Mezcla de PVA con fibras de plátano.....	87
Fig. 46. Prensado y secado de la 1ra mezcla.....	87
Fig. 47. Sedimentación del lixiviado.....	88
Fig. 48. Muestras de fibras aglomeradas con aglutinante de lixiviado y PVA.....	89
Fig. 49. Muestras con lixiviado prensadas y secas.....	89
Fig. 50. Mezcla con el 30% de lixiviado con fibras trituradas.....	90
Fig. 51. Muestras de fibras trituradas, prensadas y secas.....	91
Fig. 52. Muestras adecuadas para pruebas mecánicas.....	93
Fig. 53. Toma de grosores de las muestras con un micrómetro digital.....	94
Fig. 54. Prueba mecánica muestras 1B.....	96
Fig. 55. Prueba mecánica muestras 2BL.....	96
Fig. 56. Prueba mecánica muestras 3BL.....	97
Fig. 57. Prueba mecánica muestras 1M.....	97
Fig. 58. Prueba mecánica muestras 2ML.....	98
Fig. 59. Prueba mecánica muestras 3ML.....	98
Fig. 60. Prueba mecánica muestras 1A.....	99
Fig. 61. Prueba mecánica muestras 2AL.....	99
Fig. 62. Prueba mecánica muestras 3AL.....	100
Fig. 63. Comparativa de las pruebas mecánicas.....	101
Fig. 64. Muestras de aglomerado para pruebas de radiación UV.....	103
Fig. 65. Muestras de aglomerado en el equipo de envejecimiento acelerado.....	103
Fig. 66. Muestras de aglomerado después de un mes de radiación UV.....	104
Fig. 67. Alfombrilla de fibra de plátano.....	106
Fig. 68. Módulos de alfombrilla.....	106
Fig. 69. Alfombra adaptable a distintos tamaños de planta.....	107
Fig. 70. Alfombrillas para el crecimiento de las plantas.....	107
Fig. 71. Alfombrillas para cuidado y mantenimiento de las plantas.....	108
Fig. 72. Alfombrillas para el control de maleza. Elaboración propia.....	108



Resumen

La industria platanera es una de las agroindustrias que mayores residuos sólidos orgánicos produce a nivel mundial, residuos que por su gran escala y dificultad para compostarlos, no son gestionados eficientemente y terminan por impactar al ambiente y afectando también la productividad de los cultivos. Así, la investigación propone la articulación del diseño con la agroindustria a través de una propuesta de aprovechamiento de los residuos agroindustriales del sector platanero, orientado por el desarrollo de nuevos materiales y aplicaciones circulares, como una alternativa sostenible que dinamice el uso de la materia prima orgánica subutilizada y aporten al desarrollo sostenible de la agroindustria platanera, bajo filosofías de cero desperdicio y sistemas de ciclo cerrado en los que se potencie al desarrollo socioeconómico de pequeñas y medianas empresas plataneras mexicanas. A través de un estudio en plantaciones de Tabasco, se logró conocer a nivel sistémico el manejo y gestión de residuos agrícolas postcosecha dentro del contexto nacional, para posteriormente caracterizar una propuesta de material aglomerado de fibras de plátano que aprovechara los remanentes agrícolas para transformarlos en productos de valor para la industria agrícola mexicana. Con esto se impulsa la sostenibilidad ambiental, social y económica del sector platanero, brindando alternativas para la optimización de los recursos locales y contribuir al desarrollo de una economía circular en la agroindustria mexicana.

Palabras clave

Residuos agroindustriales, economía circular, diseño sostenible, diseño circular, biomateriales.



1. Introducción

Como sociedad, enfrentamos diversos retos de sostenibilidad que amenazan nuestro futuro y el del planeta. El cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la escasez de recursos naturales, la contaminación, la desigualdad y la pobreza son algunos de los desafíos más apremiantes que ponen en la cuerda floja el equilibrio de nuestro planeta. Superar estos retos requiere una acción coordinada a nivel global, impulsada por enfoques sostenibles, resilientes y colaborativos que preserven los recursos y mejoren nuestra relación con el medio ambiente.

La importancia de asumir un enfoque sostenible no debe ser subestimada, más aún cuando el futuro de las generaciones venideras depende directamente de cómo abordemos los problemas ambientales y sociales que enfrentamos en la actualidad. Informes como el del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (Levin, 2022) advierten sobre los impactos severos del cambio climático en las próximas décadas, enfatizando que las actividades humanas insostenibles están ejerciendo una presión significativa sobre los recursos naturales y los ecosistemas, amenazando la estabilidad de los sistemas de soporte vital de la Tierra.

Especialmente en regiones rurales que dependen de sectores expuestos a los riesgos climáticos, como la agricultura, se verán afectadas por factores como el cambio climático, el uso del suelo, la contaminación, el acceso a agua limpia, la fragmentación del hábitat y la explotación, debilitando la resiliencia ecológica y amenazando los medios de subsistencia futuros. Es por ello que a medida que la conciencia sobre el impacto humano en el planeta se ha vuelto más aguda, el enfoque en la creación de soluciones responsables y respetuosas con el entorno se ha vuelto imprescindible.

Es allí donde el diseño cobra protagonismo, convirtiéndose en una herramienta poderosa para abordar los desafíos globales y proponer sistemas de producción agrícola más eficientes y resilientes, en los que se optimice los recursos naturales, se reduzca el impacto ambiental y mejore la productividad. Ofreciendo tecnologías y prácticas que permitan un manejo adecuado de los residuos agroindustriales, así como facilitar la inclusión de las comunidades rurales para que aseguren su bienestar y el desarrollo a largo plazo.

1.1. La agroindustria platanera y los residuos agroindustriales

La agroindustria se define como la actividad económica que combina la producción agrícola con la industria para obtener alimentos o materias primas destinadas al mercado (Saval, 2012). Esta industria tiene el potencial de promover el desarrollo social, económico y ambiental a nivel mundial, siempre y cuando se logre un equilibrio adecuado entre las actividades realizadas y la gestión sostenible de cada uno de los procesos, desde la producción hasta la distribución y el manejo adecuado de los residuos generados (Vargas, 2018).

Durante muchos años, la agroindustria platanera ha sido un pilar clave para la economía de América Latina y el Caribe, colocando a la región en una posición destacada a nivel mundial como el principal productor y exportador de plátanos, con países como Ecuador, Colombia, Costa Rica y México a la vanguardia (WTE, 2019). Estos plátanos se exportan principalmente a mercados internacionales para satisfacer la creciente demanda en países de Europa y Asia, donde son altamente solicitados (FP, 2018). Sin embargo, esta demanda masiva también conlleva la generación de grandes cantidades de residuos orgánicos durante los procesos de poscosecha, convirtiendo a la agroindustria platanera en uno de los mayores generadores de desechos sólidos orgánicos a nivel global (Gañan, 2004).

Según estudios, se estima que aproximadamente el 80% de la biomasa de la planta de plátano es desechada, y lamentablemente, cerca del 95% de estos residuos acaba siendo subutilizado. Esto implica que, por cada tonelada de plátanos recolectados, se generan alrededor de cuatro toneladas de desperdicios. Estos datos reflejan una preocupante realidad, con más de 200 millones de toneladas de desechos generados anualmente a nivel mundial (Circular systems, 2018).

Lamentablemente, los desechos de la agroindustria platanera presentan desafíos significativos en su gestión. Los agricultores, debido a la escala y dificultad de compostarlos, suelen abandonarlos para su pudrición in situ o los queman (Galeana, 2017). Esta práctica

inadecuada tiene consecuencias negativas tanto para el medio ambiente como para la productividad de los cultivos. Los residuos mal gestionados contaminan las fuentes hídricas, erosionan el suelo y generan problemas sanitarios, malos olores, enfermedades en los cultivos, pérdida de nutrientes y proliferación de plagas (Mejía, 2020; CCA, 2014).

Los residuos agroindustriales derivados de la producción platanera representan una preocupante cantidad en el sector y plantean un desafío importante en términos de sostenibilidad para los cultivos (Vargas, 2018). Lamentablemente, debido a la falta de conocimiento sobre métodos adecuados para su tratamiento y disposición, estos residuos no han sido aprovechados de manera eficiente (González, 2013). Esto genera alteraciones en los entornos abióticos, bióticos y socioeconómicos, creando potenciales focos de contaminación y riesgos para la salud, además de ocasionar pérdidas económicas para los agricultores (Guerrero y Valenzuela, 2011). Es imprescindible abordar esta problemática para garantizar una gestión adecuada de los residuos y promover prácticas sostenibles en el sector.

Ante esta problemática, es imperativo abordar de manera efectiva la gestión de los desechos de la agroindustria platanera. La eliminación adecuada de estos residuos representa un desafío para los productores en términos de gestión, pero también presenta una oportunidad para otras industrias (Ramírez, 2012). El aprovechamiento de estos restos agrícolas puede ofrecer una solución integral a los problemas ambientales, sociales y económicos generados por la producción y disposición de estos residuos, así como por otros aspectos del desarrollo productivo. Al impulsar el uso de estos residuos como materia prima, se promueve un enfoque sostenible que beneficia tanto a nivel social como económico, fomentando un desarrollo sostenible en todos los aspectos.

1.2. Los residuos como oportunidad

Los residuos agroindustriales, especialmente aquellos generados por la cosecha de monocultivos de plátano y banano, representan una valiosa materia orgánica con un alto potencial de aprovechamiento en la industria y el diseño. Durante la última década, se ha prestado una creciente atención a nivel mundial a la investigación en este campo (Arango, 2018). Las investigaciones se han centrado en encontrar alternativas para utilizar y aprovechar las toneladas de residuos generados por la cosecha de monocultivos de plátano y banano. En este sentido, la biotecnología ha sido una vía explorada para transformar los residuos agroindustriales en productos de valor para la industria y rentabilizar el proceso de poscosecha del plátano (Saval, 2012). Estas propuestas prometen abrir nuevas oportunidades en la valorización y utilización de estos residuos, contribuyendo a la sostenibilidad del sector y fomentando la economía circular.

Los usos industriales que se les ha dado a estas materias primas han sido principalmente dentro de la industria agroalimentaria y la industria de insumos, que emplean estos remanentes agrícolas para la elaboración de productos como snacks, almidones, harinas, glucosa o concentrado para alimentación animal (Botero & Mazzeo, 2009; Kalia, 2011). Otros usos externos a la industria alimentaria son la elaboración de abonos orgánicos, papel, bioplástico,

biocombustibles, etanol y otros bioproductos (López, 2014; Kasper 2013). Estas investigaciones y desarrollos industriales contribuyen a la valorización y aprovechamiento sostenible de estos residuos agrícolas en múltiples sectores.

En el ámbito de los materiales, las investigaciones han demostrado la viabilidad de utilizar estos residuos agrícolas en la producción de biopolímeros y materiales biocompuestos, como alternativas a los materiales de origen fósil que son altamente contaminantes y perjudiciales para el medio ambiente (Tamayo, 2017). La naturaleza lignocelulósica y fibrosa de estos residuos vegetales los convierte en refuerzos con amplias aplicaciones en biomateriales, ya que se ha comprobado que proporcionan mayor estructura, elasticidad y ligereza (Pedraza, 2019), así como resistencia a la tracción (Tamayo, 2017). Estos avances en la utilización de los residuos agrícolas como materiales sostenibles abren nuevas oportunidades para la industria, promoviendo la reducción de la dependencia de los recursos fósiles y contribuyendo a la conservación del medio ambiente.

Las investigaciones en curso han demostrado el gran potencial de los residuos agroindustriales para ser aprovechados en diversos procesos y productos de valor, lo que podría impulsar el desarrollo económico y la mejora ambiental en el sector platanero. Sin embargo, a pesar de las propuestas existentes y la magnitud del problema, el potencial que tiene esta biomasa para la industria ha sido aprovechada sólo marginalmente. Por ello, el manejo y gestión de los residuos agroindustriales en el sector platanero continúa siendo un problema apremiante, que requiere la colaboración entre agricultores, industrias y diversas disciplinas académicas para encontrar soluciones efectivas. Es fundamental trabajar conjuntamente para aprovechar de manera óptima estos recursos y convertirlos en una fuente provechosa y sostenible.

1.3. Los materiales como catalizadores de innovación.

Históricamente, los diseñadores han abordado los materiales desde una perspectiva "dura" enfocada en sus propiedades técnicas, adoptando un enfoque "cientificista" heredado de la ingeniería (Ashby, 2007). Sin embargo, en los últimos años, hemos sido testigos de un cambio de paradigma en la forma en que concebimos los materiales. Ahora reconocemos su papel como agentes transformadores que pueden generar nuevas posibilidades y fomentar entornos sostenibles y restauradores a través de su materialidad (Frida, 2020).

Este cambio de enfoque ha influido en las interacciones de las personas con su entorno construido, planteando nuevos modos de producción y consumo de productos (Giaccardi & Karana, 2015; Minuto, 2014). Los materiales ya no son considerados simplemente como componentes técnicos, sino como elementos que impactan directamente en nuestras experiencias y en la forma en que nos relacionamos con el mundo que nos rodea. Ahora valoramos la capacidad de los materiales para generar conexiones emocionales, promover la sostenibilidad y estimular la restauración ambiental.

Los materiales poseen un poder extraordinario al actuar como catalizadores para unir distintas disciplinas y agentes, trascendiendo la multidisciplinariedad. Su capacidad para conectar la ciencia, la ingeniería, el arte y el diseño es fundamental en este proceso. Nexi Oxman (2016) describe estas interrelaciones en lo que ella denomina el "Ciclo de Creatividad de Krebs" (Figura 1), una visión holística que muestra cómo estos dominios interactúan constantemente, creando un entramado de conexiones donde el desarrollo de materiales abarca múltiples ámbitos y depende de estas relaciones para ser concebido de manera integral (Oxman, 2016). Esta perspectiva resalta la importancia de la colaboración y la comunicación entre diferentes campos, permitiendo un enfoque interdisciplinario que impulsa la innovación y la creatividad en el diseño de materiales.

Este enfoque más holístico abre nuevas posibilidades para los diseñadores y los invita a explorar y aprovechar todo el potencial de los materiales en la creación de productos y entornos sostenibles y ambientalmente responsables. Al considerar la materialidad como un factor clave en el diseño, podemos contribuir a una mayor conciencia y aprecio por los recursos naturales, así como a una mayor calidad de vida y bienestar en nuestras experiencias cotidianas.

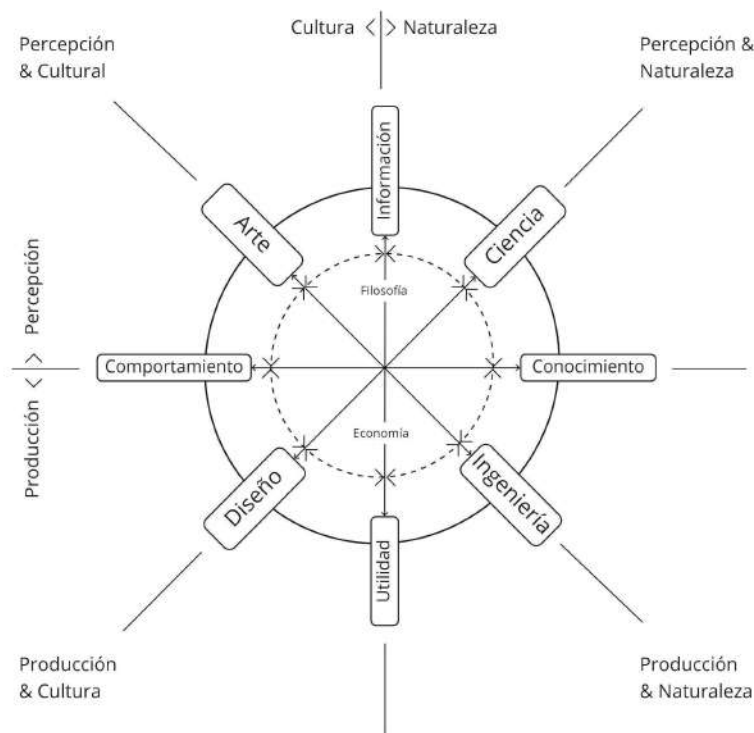


Fig. 1. Ciclo de Creatividad de Krebs (Krebs Cycle of Creativity). Fuente: Oxman, 2016

La integración del diseño en estos campos de conocimiento a través del enfoque transdisciplinario ha permitido una mayor participación en todas las etapas del desarrollo del producto. Este enfoque reconoce la importancia de intervenir de manera integral, lo que ha dado lugar al surgimiento de nuevos campos de diseño e investigaciones enfocadas en propuestas de materiales que ofrecen alternativas circulares y sostenibles. Se trata de un cambio de paradigma que implica una transición hacia una nueva materialidad regenerativa, que busca acercar la

producción y el consumo de manera consciente y responsable. Este enfoque resalta la necesidad de considerar no solo las propiedades técnicas de los materiales, sino también su impacto ambiental y social, promoviendo así prácticas más sostenibles y una mayor conexión entre el diseño, la producción y el consumo (Escobar, 2018).

Bajo esta concepción, los diseñadores desempeñan un papel central al explorar nuevos materiales, asumiendo múltiples roles como científicos, *makers*, alquimistas y artesanos. Su contribución radica en la creación de experiencias significativas a través de la bio-fabricación de materiales, siguiendo procesos sostenibles y responsables (Kagan, 2011). Estos procesos han sido impulsados por el movimiento *Do It Yourself* (DIY), que fomenta la autoproducción sin la necesidad de la intervención directa de profesionales o expertos certificados. La expansión de este movimiento al ámbito de los materiales ha dado lugar a nuevas dinámicas de desarrollo, donde se comparten recetas y metodologías a través de Internet. Esto ha permitido que el diseño desempeñe un papel activo en la innovación de materiales, promoviendo la colaboración y la democratización del conocimiento en este campo. En consecuencia, los diseñadores se convierten en impulsores de cambios significativos en la forma en que concebimos y utilizamos los materiales, promoviendo la experimentación, la creatividad y la sustentabilidad en el diseño.

1.3. Preguntas y objetivos de investigación

De acuerdo a lo anteriormente discutido, esta investigación busca contribuir a generar nuevas vías de acción para reducir el impacto de los residuos agroindustriales del plátano y potenciar el aprovechamiento de los subproductos de la cosecha en productos de valor para el sector agrícola mexicano.

Por ello, la pregunta central de esta investigación es:

¿Cómo el diseño puede dar vida útil al residuo agroindustrial postcosecha del plátano desde el desarrollo de alternativas sostenibles que potencien los recursos locales y beneficien a la agroindustria platanera en México?

De esta pregunta se desprenden las siguientes preguntas específicas:

1. ¿Cuáles son los tipos de residuos que se generan en la industria platanera y en qué cantidades?
2. ¿De qué manera opera la agroindustria del plátano? ¿Cuáles son las actividades, agentes involucrados?
3. ¿Cómo se puede promover una mejor gestión de los residuos de la industria del plátano?
4. ¿Cómo se puede facilitar la transformación local de los residuos agrícolas en productos de valor bajo sistemas de ciclo cerrado?
5. ¿De qué forma las características de los residuos agroindustriales plataneros posibilitará el desarrollo de nuevos biomateriales?
6. ¿Cómo concebir innovaciones de materiales desde el diseño que aporten al desarrollo sostenible de comunidades que dependen de la agroindustria del plátano?

Se considera que, a través del diseño se podrán aprovechar las características de los residuos agroindustriales para desarrollar productos de valor que apoyen el trabajo local y favorezcan a prácticas sostenibles y circulares en la industria platanera de México, potenciando el uso de la materia prima agrícola desechada y promoviendo una gestión más eficiente de los residuos agrícolas del sector platanero, bajo escenarios de ciclo cerrado que optimicen y aprovechen de los recursos locales con innovaciones que favorezcan el crecimiento empresarial comunitario y beneficien a los pequeños productores agrícolas.

Para lograrlo, esta investigación tiene como **objetivo principal el proponer un sistema de aprovechamiento de residuos agroindustriales del plátano, a través del diseño, que permita la generación de productos de valor y la implementación de procesos circulares, que reduzcan el impacto ambiental y promuevan una economía circular en la agroindustria platanera de México.**

De ello, se desprenden los siguientes objetivos específicos:

1. Conocer el contexto actual de la industria platanera en México, así como sus dinámicas, agentes y residuos generados
2. Evaluar el potencial del uso de los residuos agroindustriales para el desarrollo de nuevos materiales que puedan aplicarse a productos de valor en la industria platanera mexicana.
3. Plantear modelos sistémicos que promuevan una mejor gestión de los residuos agroindustriales en el sector platanero y faciliten la transformación local de los subproductos agrícolas.
4. Identificar necesidades específicas de los productores plataneros de México para traducirlas en oportunidades de mejora para el sector.
5. Caracterizar las propiedades óptimas de un material que emplee los residuos agroindustriales del plátano para subsanar las necesidades específicas de los productores.
6. Llevar a cabo la fase inicial del diseño de un biomaterial para determinar la viabilidad del aprovechamiento de los residuos agrícolas del plátano.

1.4. Justificación

El proyecto investigativo se articula desde el diseño para promover alternativas en torno al aprovechamiento de los residuos agroindustriales post cosecha del plátano y facilitar su transformación local en productos de valor para la industria mexicana. Se resalta la materia orgánica subutilizada y busca aportar al desarrollo sostenible de la agroindustria platanera, bajo filosofías de cero desperdicios. A partir de allí, se plantea el desarrollo y aplicación de un nuevo material aglomerado de residuos agrícolas del plátano, que promuevan sistemas de ciclo cerrado en los que se optimice el uso de los recursos agrícolas y se aporte al desarrollo sostenible de la agroindustria platanera.

Bajo este marco de la propuesta de investigación, el proyecto parte de revisar el problema global del manejo y gestión de los residuos agroindustriales de la industria platanera. Desde allí, la

investigación se encamina a crear acciones desde el diseño que hagan frente al impacto ambiental, social y económico generado por la producción de esta agroindustria. Entendiendo que la abundancia de estos remanentes agrícolas representa un problema apremiante de sostenibilidad para la industria platanera, aquí se argumenta que se requiere de acciones mediadas por disciplinas como el diseño que den un uso provechoso a estas materias primas a fin de mejorar el manejo y gestión de los residuos agroindustriales en el sector platanero.

En este sentido, si bien se han venido dado avances en torno al aprovechamiento de los residuos agroindustriales, las soluciones propuestas por la parte de la industria han quedado aisladas del contexto comunitario local y no han cerrado la brecha que existe entre el aprovechamiento de los residuos agroindustriales del sector platanero y los procesos de transformación locales.

Dentro de las principales razones por las que se ha dificultado un procesamiento y aprovechamiento de los residuos agrícolas del sector platanero desde el contexto local, según el panorama documental revisado en el ámbito latinoamericano y global, se identifica que:

- 1. La gran abundancia de biomasa residual** conlleva una dificultad para su compostaje y tratamiento, por lo que, al no existir alternativas de aprovechamiento, se opta por su abandono *in-situ* lo que impacta el ambiente y la productividad de los cultivos. Se estima que por cada tonelada de plátano producida se generan 100 kg de residuos de fruta y aproximadamente 4 toneladas de residuos lignocelulósicos (pseudotallo, hojas, raquis) (Fernandes, 2013). A nivel nacional según datos del SIAP (2018), anualmente se producen cerca de nueve millones de residuos lignocelulósicos de plátano en México, de los que el 95 % termina siendo subutilizado (Ramirez, 2019).
- 2. Las alternativas de uso no hacen frente a la escala real del problema**, lo que implica que no exista una respuesta desde la industria que permita el aprovechamiento óptimo de los residuos. En la mayoría de los casos se dejan *in situ* para su descomposición como materia orgánica para el suelo o en otros casos se usan como alimento para animales (Guerrero, 2016)
- 3. Los productores agrícolas dependen exclusivamente de la comercialización del fruto**, lo que resulta en una baja rentabilidad de cultivo pues se desechan productos que podrían ser bien aprovechados por otras industrias (Causado, 2013).
- 4. Los procesos de transformación desde la comunidad** se han dado de manera artesanal y a baja escala por la falta de herramientas y de capacitación para su transformación (Garavello, 2008).

Dentro del contexto de México, varios factores específicos influyen en la gestión ineficiente de los residuos agrícolas postcosecha del sector platanero. Estos factores se relacionan con aspectos económicos, sociales, regulatorios y culturales propios de la realidad mexicana (Velasteguí, 2017). Algunos de estos factores son:

- 1. Falta de inversión en infraestructura:** La falta de instalaciones adecuadas para el procesamiento y la disposición de residuos agrícolas puede ser un obstáculo importante para una gestión eficiente. Establecer y mantener infraestructura adecuada para la gestión de residuos puede ser costoso lo que dificulta la adopción de prácticas sostenibles en el sector platanero (Paz, 2015).
- 2. Normativas y regulaciones débiles:** Aunque en México existen regulaciones particulares para la gestión de residuos agrícolas, la falta de control y aplicación efectiva por parte de las autoridades lleva a que, en muchas ocasiones, se ignoren las prácticas adecuadas de gestión de residuos. A ello se suma que muchas veces no son claras, están mal implementadas o no existen estímulos para su aplicación (SEGOB, 2022).
- 3. Sistemas de comercialización y presiones del mercado:** Las presiones para cumplir con estándares de calidad y plazos de entrega podrían hacer que los productores prioricen la producción sobre la gestión de residuos. Así como llegar a precios competitivos podría limitar la inversión en prácticas de gestión de residuos, especialmente si no se perciben beneficios económicos directos (SE, 2012).
- 4. Tradición y Cultura Agrícola:** Las prácticas agrícolas tradicionales podrían generar una resistencia al cambio al no contemplar métodos más modernos y sostenibles sobre la gestión. Esto como producto de la falta de educación y conciencia ambiental que existe en el sector sobre los impactos negativos de una gestión inadecuada de los residuos, sumado a las condiciones particulares del contexto local que pueden variar significativamente, influyendo en la efectividad de las políticas y enfoques de gestión de residuos (Espino, 2019).
- 5. Poca participación del Gobierno y ONGs:** La poca presencia y eficacia de programas gubernamentales y organizaciones no gubernamentales para promover prácticas de gestión de residuos sostenibles en México, puede ser un factor influyente y determinante para que no se den prácticas sostenibles. La insuficiencia de programas orientados al cultivo del plátano, así como la ausencia de incentivos económicos o subsidios para la implementación de prácticas de gestión de residuos sostenibles, influyen en que no haya un entorno productivo más sostenible (Basurto, 2012).

1.5. Contexto de la investigación

El presente proyecto de investigación se desarrolla en el contexto mexicano. En este apartado se describe la importancia de la producción de plátano en México, así como las zonas específicas en las que esta actividad es de gran importancia a nivel económico, social y por lo tanto de relevante impacto ambiental. Una vez que se presenta la situación a nivel nacional, se profundiza en la región específica -el estado de Tabasco- donde se ha realizado esta investigación.

Producción Nacional

En México, el plátano se destaca como la fruta tropical más cultivada, alcanzando una producción anual que sobrepasa los 2 millones de toneladas. La figura 2 muestra el historial del área sembrada y la producción de plátano en México desde 1980 a 2020. Como se observa, en el período comprendido entre 2000 y 2020, la superficie de cultivo de plátano en el país experimentó un aumento del 9.6%, lo que significó un incremento desde 74,363 hectáreas sembradas hasta alcanzar las 80,547 hectáreas. Para el año 2020, la producción total ascendió a 2.5 millones de toneladas, consolidando al plátano como el tercer cultivo con mayor producción en México (SENASICA, 2020). De esta producción total, aproximadamente el 75% se destina al consumo interno en el país, mientras que el 25% restante se exporta, contribuyendo con el 2% de la oferta global de plátano y situando a México en el duodécimo lugar a nivel mundial en términos de producción (CEDRSSA, 2019).

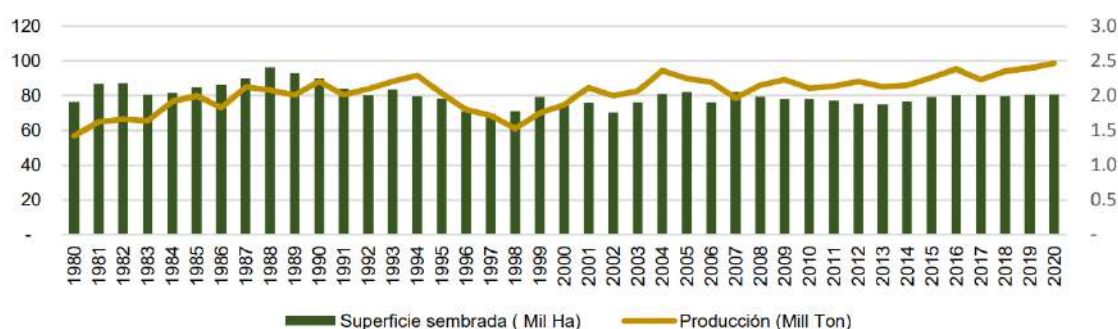


Fig.2. Historial de área sembrada y producción de plátano en México 2020. Fuente: SIAP, 2021

La producción de plátano se encuentra repartida en 16 estados de México, abarcando desde Nayarit hasta la península de Yucatán y la región del Golfo de México (Figura 3). No obstante, la mayor concentración de la producción se encuentra en los estados de Chiapas, Tabasco y Veracruz, los cuales representan el 63.46% de la superficie cultivada, generan el 66.06% del volumen total producido y contribuyen con el 54.58% del valor de la producción de este cultivo a nivel nacional (SIAP, 2021).

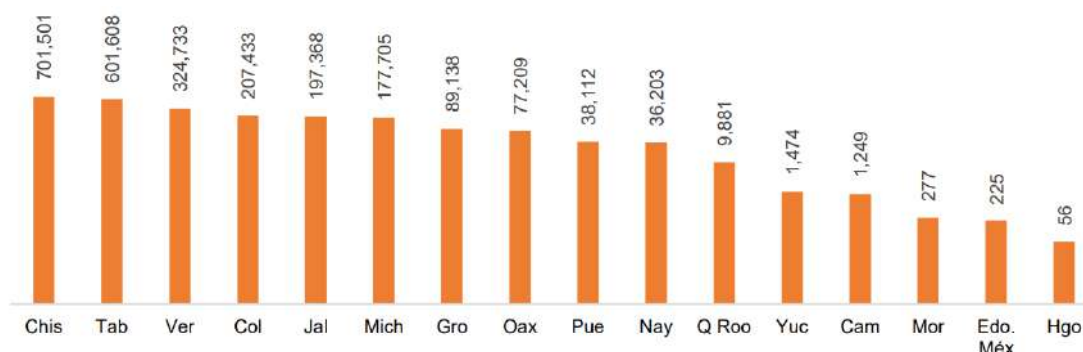


Fig.3. Producción por estado 2020 (ton). Fuente: SIAP, 2021.

En el año 2020, el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) registró la producción de 10 variedades de plátano de gran relevancia económica en México (Figura 4). Entre estas variedades, la denominada "enano gigante" destaca como la de mayor importancia económica, ya que ocupa la mayor superficie de cultivo, representando en promedio el 41% de la superficie total sembrada. Además, esta variedad contribuye significativamente al valor de la producción nacional de plátano, aportando en promedio el 60% del valor total, y ha experimentado un crecimiento total del 46% en la producción (SIAP, 2021).

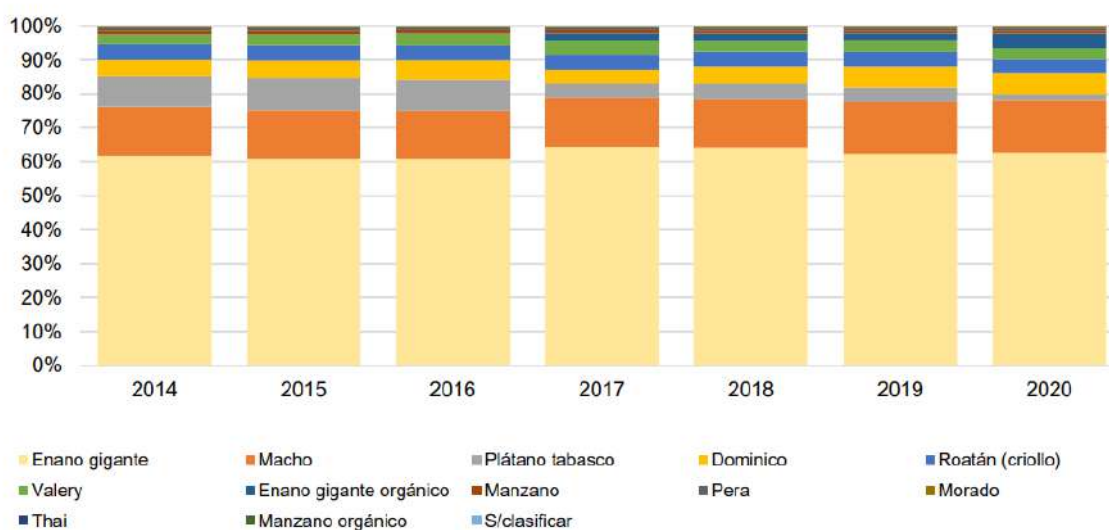


Fig.4. Volumen producido de variedades de plátano. Fuente: SIAP, 2021

La figura 5 muestra el desglose de la producción de las diversas especies por entidad federativa. El estado de Chiapas concentra el 35.47% de la superficie sembrada de enano gigante, 30.24% de macho y 88.46% de roatán (criollo). Por su parte, Veracruz dispone de del 74.59% de dominico, 34.88% de tabasco y 30.46% de morado, principalmente. Tabasco, 25.15% de enano gigante, 11.98% de macho y 9.96% de valery (SIAP, 2021).

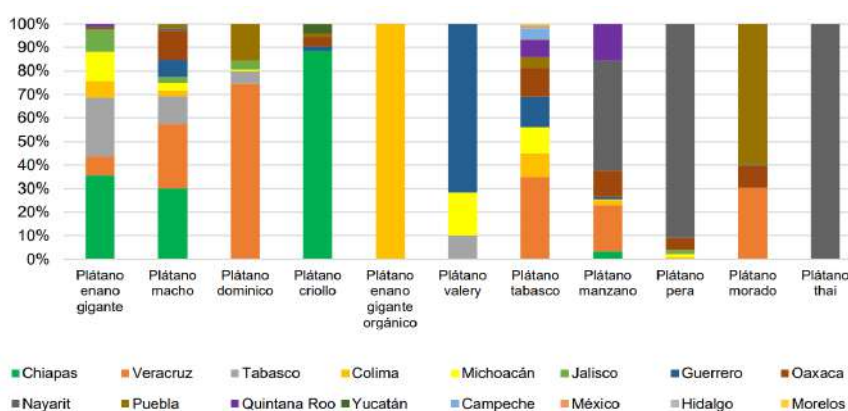


Fig.5. Porcentaje estatal de la superficie sembrada por variedad de plátano 2020 (ha). Fuente: SIAP, 2021.

La producción del plátano se encuentra disponible los doce meses del año y tiene una distribución más o menos homogénea, con una disminución en la producción de enero a abril, por lo que el precio tiende a aumentar a principios de año, cuando se presenta la menor concentración de producción (SAGARPA, 2015).

A partir de la revisión del contexto del sector platanero en México, se revela que la mayor cuota de producción se encuentra concentrada en la región sureste del país, lo que abarca Chiapas y Tabasco, por lo que la elección del lugar para la investigación se direccionó en esta zona por su importancia productiva a nivel nacional. Dado que el manejo a escala regional resulta considerablemente complejo, se optó por focalizar la investigación en un estado específico, con el objetivo de posibilitar un estudio más detallado y profundo. La elección de este lugar de investigación se basó principalmente por el acceso a datos locales y la disponibilidad de recursos y conexiones pertinentes. En virtud de estos criterios, se determinó que la región de Tabasco sería el enclave idóneo para el estudio, gracias a la accesibilidad a información documentada y a las vinculaciones directas con las empresas productoras de plátano en la zona.

Región de Tabasco

El estado de Tabasco se encuentra en la región sureste de México, que se extiende desde la costa del Golfo de México, hasta las montañas del norte de Chiapas. Dentro de sus 17 municipios, los municipios productores de banano-plátano son: Teapa, Tacotalpa, Jalapa, Huimanguillo, Cárdenas, Cunduacán y Centro (SAGARPA, 2015).

Tabasco es el segundo productor de plátano y banano a nivel nacional, con una superficie cosechada de 10,506 hectáreas, su producción alcanzó las 541,985 toneladas es decir, un rendimiento promedio estatal de 51.59 toneladas por hectárea (SIAP, 2021). El valor de la producción agrícola fue de más de 7 mil millones de pesos, de los que un 30 % correspondió a la producción platanera (CEDRSSA, 2019).

Para efectos de la investigación, a fin de sondear el panorama productivo, social y económico de la cadena agroalimentaria del plátano en la región, se tomará como referencia los estudios realizados por la SAGARPA (Secretaría de Agricultura, ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) en los municipios de Cárdenas, Centro y Cunduacán (Figura 6) estos tres municipios en conjunto representan el 12.4% del total de la producción estatal de plátano (SAGARPA, 2015).

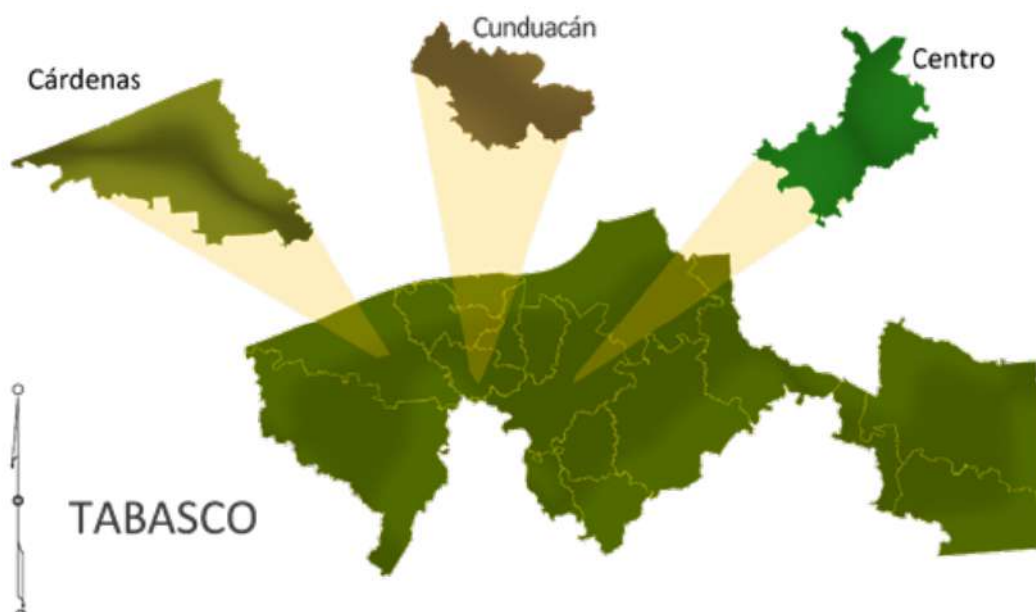


Fig.6. Regiones del estudio. Fuente: SAGARPA, 2015.

El municipio de Teapa es la región que ostenta los volúmenes de producción más altos, casi 401 toneladas de banano y 891 toneladas de plátano. En regiones como el municipio de Cárdenas, se cosechó alrededor de 51 hectáreas de plátano y 92 hectáreas de banano, su producción fue de 873 y 3,683 toneladas, con rendimientos promedio de 17.1 y 40 toneladas por hectárea respectivamente. Para el caso del municipio del Centro y Cunduacán, la producción fue de 11,9 y 16,9 toneladas respectivamente (SAGARPA, 2015).

Comercialización

La comercialización del banano-plátano se realiza a través de diferentes canales dependiendo si se trata de mercado nacional o de exportación. En la comercialización para el mercado nacional, es posible distinguir tres canales:

1. *Grandes productores que controlan todo el proceso de comercialización y también son comerciantes mayoristas.*
2. *Medianos productores que venden sus productos a través de comisionistas a los comerciantes mayoristas, compitiendo con los grandes productores.*
3. *Pequeños productores o ejidatarios que producen volúmenes limitados y comercializan a través de acopiadores locales. Estos acopiadores luego venden a comisionistas en la central de abasto, quienes a su vez venden a los comerciantes mayoristas.*

Para el comercio en el exterior, se distinguen dos canales:

1. El *productor-comerciante*, que cuentan con volúmenes importantes, tiene la posibilidad de comprometer su producto, a las grandes empresas transnacionales.

2. *Los productores medianos*, a través de las empresas transnacionales, de acuerdo con sus necesidades y pueden pagar un menor precio.

Cadena de valor y partes involucradas

Dentro de la cadena agroindustrial del plátano se identifican los siguientes componentes básicos (Figura 7):

- A. *Los proveedores de insumos y servicios* (abonos, agroquímicos, máquinas e implementos, y otros) requeridos para la obtención de los diferentes productos agropecuarios y forestales.
- B. La unidad de *producción agropecuaria* - agroforestal, con sus diversos sistemas productivos.
- C. *La industria* de procesamiento y transformación.
- D. La *red de distribución*, constituida por minoristas y mayoristas.
- E. El mercado consumidor, compuesto por los individuos que consumen el producto final y pagan por él.

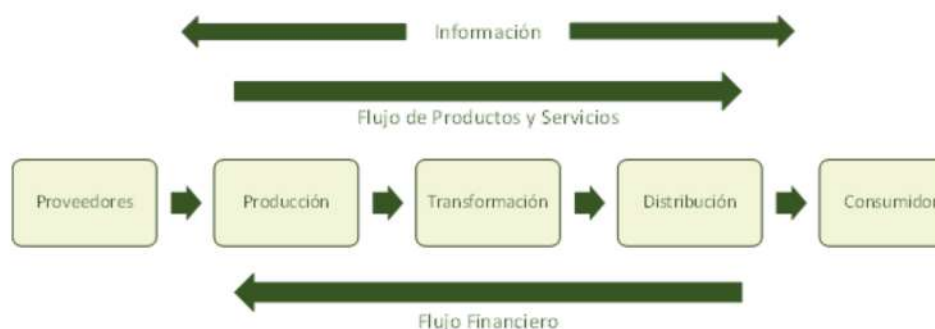


Fig. 7. Cadena de valor agroindustria. Fuente: SAGARPA, 2015.

Flujos de procesos productivos

A partir de la relación de una serie de factores económicos y no económicos, así como internos y externos, la cadena agroalimentaria se estructura en 4 procesos, representados en la figura 8.

De esta manera, dentro de los factores internos, se considera:

- *La infraestructura, que abarca aspectos físicos, financieros y sociales, con el capital humano como factor clave en la competitividad.*
- *La mano de obra, que implica la disponibilidad de trabajadores capacitados y adaptables para integrar nuevos conocimientos técnicos a los procesos de producción.*
- *La capacidad tecnológica, que incluye las técnicas de producción, procesamiento, empaque y distribución, con el propósito de aumentar la productividad y competitividad.*
- *La capacidad de innovación y aprendizaje, que se centra en la generación de conocimiento para agregar valor de manera secuencial.*



Fig. 8. Cadena productiva agroalimentaria. Fuente: SAGARPA, 2015.

Desde los factores externos se contempla:

- *La eficacia y competitividad de los diferentes eslabones de la cadena agroalimentaria se ven influenciadas por su ubicación geográfica, aprovechando ventajas territoriales comparativas.*
- *Los recursos naturales, incluyendo su disponibilidad y gestión, así como la gestión de los residuos, son factores cruciales.*
- *El entorno, que abarca las condiciones económicas, sociales y políticas que rodean la cadena agroalimentaria, desempeña un papel fundamental.*
- *Las condiciones del mercado son determinantes para la demanda de productos y la relación con los consumidores.*

Panorama de la agroindustria platanera en Tabasco

Según encuestas realizadas a productores agrícolas del sector platanero en los municipios de Cárdenas, Centro y Cunduacán por parte de SAGARPA (2015), se encontró que:

Productores

El nivel educativo de los productores es mayoritariamente básico, con un 55% de la población que ha completado únicamente la primaria, seguido por un 27% de productores sin ningún tipo de estudios. Los municipios estudiados presentan un índice de marginación variado, siendo medio en un 46% de los casos y alto en un 43%. Entre el total de productores, solo el 18% depende completamente de la actividad de cultivo de plátanos, mientras que el 79.7% depende en parte de esta actividad y el 2.3% requiere otra fuente de ingresos para subsistir. La agricultura se destaca como la principal fuente de ingresos alternativa para los productores de plátano, abarcando un 30.5% de ellos, seguida por otras actividades con un 29.4%, algunas de las cuales pueden considerarse marginales.

Producción

La gran mayoría de los productores de plátano, un 98%, practican la agricultura sin contar con sistemas de riego, optando por el cultivo de temporal. En promedio, cada hectárea alberga alrededor de 1,500 plantas, con una producción promedio de 30 toneladas por hectárea. Entre las variedades de plátano cultivadas, el 53% corresponde a la variedad Chifle, mientras que el 47% se compone de variedades criollas. En cuanto a la adquisición de plantas de plátano, el 74% de los productores las producen directamente, mientras que un 18% opta por comprarlas en el mercado.

Cadena productiva

Casi la totalidad de los productores encuestados, equivalente al 99.6%, participa únicamente en el proceso de producción, dependiendo de otros actores para completar las etapas posteriores. Un desafío significativo se encuentra en el ámbito de la comercialización, ya que el 93% de los productores requiere intermediarios para llevar a cabo la venta de sus productos. Además, la forma de comercialización principal para el plátano en la región es a través de racimos, utilizada por aproximadamente el 97% de los productores.

Uso de tecnologías

De los productores encuestados, se observa que un 27% de ellos aplica un paquete tecnológico, y en cuanto a innovaciones tecnológicas, se destaca que un 67% emplea algún tipo de innovación en su actividad agrícola.

A través de la información reportada anteriormente, se genera un primer acercamiento al contexto de la agroindustria platanera en la región de Tabasco, donde se plantea realizar la investigación, denotando las situaciones y características particulares de los productores y del cultivo. De esta región, destacan los altos índices de marginalidad y la baja participación que tienen los productores dentro de la cadena productiva. Así mismo, es interesante que un gran porcentaje de los productores está dispuesto a aplicar algún tipo de innovación dentro de sus procesos productivos y a hacer uso de paquetes tecnológicos.

Por otra parte, una caracterización de los cultivos permite revisar las variedades que se manejan, la escala de producción y las prácticas productivas dentro de los cultivos, lo que permite situar la investigación para alinearse dentro del contexto para trabajar con las condiciones particulares de la región. Partiendo de este panorama, es clave para el sector agroindustrial platanero de México, establecer planes y proyectos que dinamicen de forma consistente el desarrollo económico, social y ambiental a través del uso sostenible de los recursos naturales, la conectividad del territorio y la ocupación responsable de las comunidades aledañas a las plantaciones, partiendo de sus particularidades y potenciales locales.

En este sentido, para comprender las particularidades del plátano como objeto de estudio, es preciso conocer más a profundidad sus partes y características, así como su composición química y estructura, de esta forma identificar las oportunidades que ofrecen estas materias primas para el desarrollo de materiales, optimizando su potencial para industria agrícola como recursos valiosos con un potencial de aprovechamiento que puede beneficiar al sector.

1.5.1. Caracterización del plátano

El plátano, perteneciente a la familia Musaceae, es una planta herbácea monocotiledónea originaria del sudeste asiático (Corpoica, 2006). Esta planta perenne gigante se caracteriza por su rizoma corto y tallo compuesto de vainas foliares, alcanzando alturas de hasta ocho metros y culminando en una corona de hojas (Bornare, 2014). Su hábitat óptimo abarca suelos tropicales con temperaturas que oscilan entre 21 y 29°C, y condiciones de alta humedad (SIPSA, 2014). La producción de plátanos se lleva a cabo mayormente en grandes plantaciones de monocultivo, con un enfoque predominante en países de América Latina y del sur de Asia. La figura 9 muestra las partes que componen esta planta y posteriormente se describe cada una de ellas.

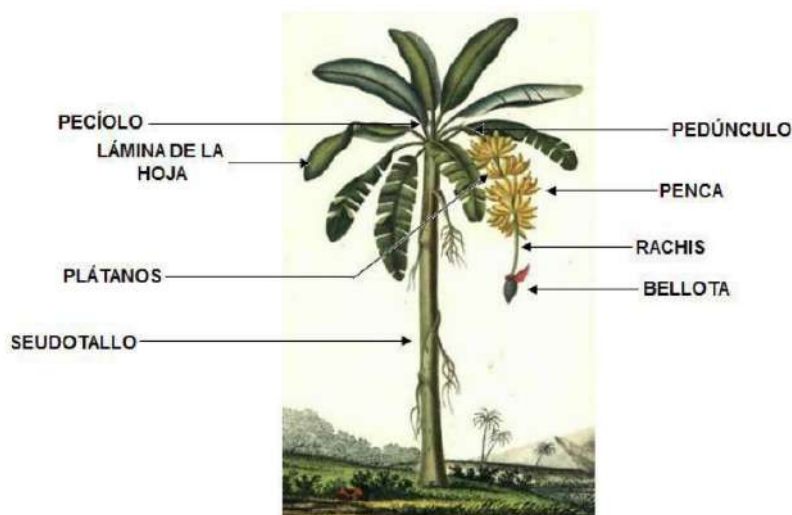


Fig. 9. Partes de la planta de plátano. Fuente: López y Gómez, 2014.

Pseudotallo: El término "pseudotallo" se refiere a una estructura similar a un tronco que se forma a partir de un conjunto de vainas foliares superpuestas en el plátano, las cuales permanecen adheridas al tallo principal (FAO, 2001). Con una consistencia carnosa, este pseudotallo está

mayormente compuesto de agua en su contenido y fibras (Pedraza, 2019). A pesar de su naturaleza acuosa, esta estructura demuestra una sorprendente robustez y elasticidad, pudiendo resistir el peso de un racimo de 50 kg o incluso más, sin sufrir daños. Su altura puede variar entre 2 a 5 metros y alcanzar hasta 8 metros junto con las hojas (López y Gómez, 2014).

La composición química del pseudotallo del plátano se caracteriza principalmente por la presencia de celulosa, hemicelulosa y lignina, que son los componentes principales de la pared celular vegetal. Estos elementos son responsables de conferirle al pseudotallo propiedades mecánicas y estructurales como resistencia y elasticidad. Además, este componente puede incluir otros compuestos como proteínas, lípidos y carbohidratos, que desempeñan un papel crucial en su función y estructura, y, por consiguiente, en la producción de bananos y plátanos.

El contenido de humedad del pseudotallo de plátano fresco es de aproximadamente 96%. En comparación con las materias primas tradicionales como la madera y la paja, el contenido de holocelulosa en el pseudotallo es mucho menor que las fibras de madera (Tabla 1).

%	Celulosa	Holocelulosa	Lignina Klason	Lignina soluble en ácido	Contenido de cenizas	Extractos
Pseudo tallo de plátano	39.12	72.71	8.88	1.90	8.20	3.05
Paja (Liu et al.2003)	45	77,64-79,22	22,37-23,40	2,05-2,38	0,52-1,03	2,00-2,20
Pino (Cai y Tao 2007)	45	71-83	24,57-29.85	0,37	0,27-0,28	1,11-3,51

Tabla 1. Comparativa pseudotallo vs la paja y el pino. Kun, Shiyu, Huaiyu, Zhan y Lucian (2010)

El pseudotallo del plátano está formado por fibras recubiertas con una membrana no celulósica, que comprende dos tipos distintos de fibras: fibras elementales, con diámetros de 10-15 mm, y fibras estrechas, con diámetros de 3 µm-4 µm (Pedraza, 2019). En cuanto a su composición química, esta puede variar según la variedad y madurez de la fruta, no obstante, en líneas generales, se compone principalmente de celulosa¹, hemicelulosa² y lignina³, que son los elementos fundamentales de la estructura de la pared celular vegetal. Asimismo, es posible que incluya otros compuestos, como proteínas, lípidos y carbohidratos.

Bellota o Flor: Agrupadas en inflorescencias en forma de espiga, estas flores presentan características hermafroditas o unisexuales, siendo de simetría zigomorfa. Emergen a lo largo del

¹ La celulosa, un polisacárido estructural presente en la pared celular de las plantas, constituye una molécula lineal compuesta por unidades de glucosa enlazadas mediante enlaces beta-1,4-glicosídicos. En el pseudotallo de banano y plátano, la celulosa desempeña un papel fundamental al proporcionar la mayor parte de la resistencia mecánica (Ordoñez, 2019)

² La hemicelulosa, un polisacárido estructural que adopta una estructura ramificada compuesta por diversos monosacáridos, entre ellos la xilosa, arabinosa, manosa y galactosa. Dentro del contexto del pseudotallo de banano y plátano, la hemicelulosa desempeña un rol crucial al preservar la elasticidad de la estructura y prevenir su fractura en situaciones de tensión (Montoya, 2023).

³ La lignina, un compuesto fenólico presente en la pared celular de las plantas, desempeña un papel crucial en la confiere rigidez y resistencia mecánica. Esta molécula, de naturaleza compleja y ramificada, se origina a partir de unidades monoméricas de fenilpropano, como el coniferaldehído y el sinapaldehído (Ordoñez, 2019).

pseudotallo, y en algunos géneros como *Musa*, parecen ubicarse en los extremos, con una particularidad notable: la presencia de un labelo que puede derivar de estructuras estaminales. El gineceo está compuesto por tres carpelos fusionados en un ovario ínfero con tres compartimentos, albergando óvulos que varían desde unos pocos hasta varios en número.

Reunidas en inflorescencias espiciformes, son hermafroditas o unisexuales y zigomorfas; crecen a través del pseudotallo y parecen terminales algunos géneros (*Musa*) son característicos por la presencia de un labelo, que puede ser de derivación estaminal. El gineceo consta de 3 carpelos soldados en un ovario ínfero trilobular, con óvulos que van desde solitarios a numerosos (Sabio, 2014).

Raqis o pinzote: es el tallo de la inflorescencia, que va desde el primer fruto hasta la yema masculina. Puede estar desnudo o cubierto con brácteas persistentes. Las cicatrices en el raquis, que indican el lugar donde estaban unidas las brácteas, también se conocen como nódulos (Pedraza, 2019).

Hojas: Son generalmente muy grandes, simples, pecioladas y lisas. Tiene el ápice trunco y la base redonda, son verdes por el haz y más claras por el envés. Crecen hasta alcanzar 2 m de largo y hasta 90 cm de ancho (Moreno, 2021). Están dispuestas espiralmente en una roseta basal, provistas de vaina y se caracterizan por tener un margen sin particular refuerzo (Manrique, 2012).

Fruta: Es una baya carnosa con el pericarpio fuerte, el que algunas veces (*Musa velutina*) se divide longitudinalmente en tiras recurvadas; semillas numerosas, ausentes en la mayoría de los cultivos comestibles la mayoría son híbridos: resultado de un cruce, natural o artificial, entre dos especies; se reproducen de forma asexual (Sabio, 2014).

1.5.2. Análisis de flujo de recursos

Como un primer paso hacia el planteamiento de sistemas circulares se realizó una esquematización preliminar de los flujos de recursos del sector platanero tomando como referencia la metodología de "Análisis de flujo de materiales" (MFA), un método utilizado para asignar y cuantificar el flujo de materiales a lo largo de un sistema (Díaz, 2015). A través de la información disponible, se mapearon los distintos caminos que toman los residuos agrícolas después de la cosecha, categorizando según la parte de la planta de plátano qué flujos orientan a cada uno (Figura 10). La información disponible menciona que, si bien cerca del 95% de la biomasa residual se desecha a través de la quema, la descomposición y el triturado, el 15% restante toma caminos hacia la industria agropecuaria, de insumos o alimenticia, y en un escenario alterno, un pequeño porcentaje resulta en manos de los artesanos.

Los anteriores datos indican que, es preciso abrir el espectro de alternativas de aplicación y de usos de estas materias primas desde la industria apoyada por el diseño, a fin de que el mayor porcentaje de aprovechamiento pueda ser recuperado por la comunidad o la industria para

desarrollar propuestas sostenibles que retribuyan la economía del sector y mejoren la gestión de residuos.

1.5.3. Análisis Sistémico

Basándonos en la información documentada sobre el sector platanero y tras una revisión de los desarrollos asociados, se mapeó la cadena de valor del plátano (Figura 10), abarcando desde la etapa de producción agrícola hasta el punto de consumo final. Este proceso se desenvuelve a lo largo de tres fases primordiales: Fase Agrícola, Comercialización y Consumo. La secuencia se inicia con los agricultores encargados del cultivo y la cosecha de los plátanos, seguida por la selección, clasificación y empaquetado en centros de acopio. Posteriormente, los productos son distribuidos y comercializados por minoristas, llegando así a su destino final: el consumidor.

Este análisis proporcionó una visión más clara de los diversos actores y procesos que convergen en toda la cadena de valor del plátano, abarcando desde su producción hasta la gestión de residuos en el ciclo completo que incluye distribución, comercialización y consumo final. Esto resalta la importancia de abordar el sector de manera sistémica, permitiendo una comprensión exhaustiva de los múltiples factores que influyen en su funcionamiento. De esta manera, se evidencia la necesidad de concebir una propuesta que integre tanto una perspectiva macro, captando la totalidad del sistema, como una perspectiva micro, considerando los detalles y las interrelaciones en juego.

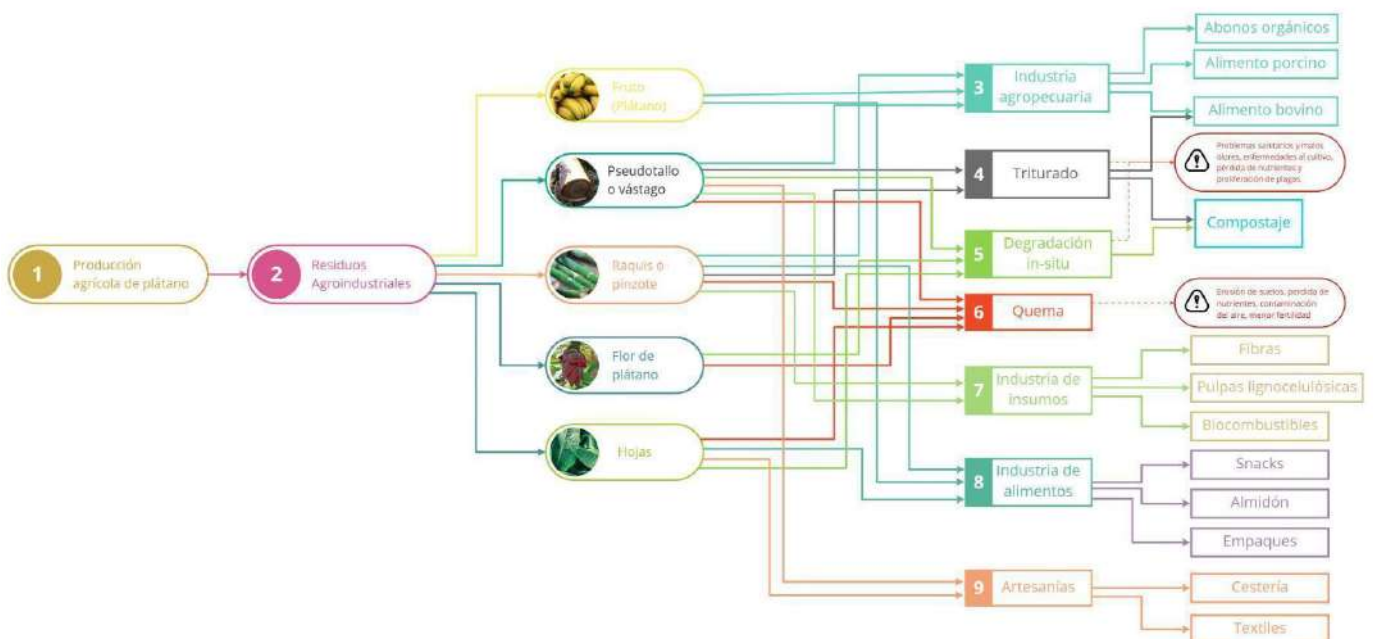


Fig. 10. Flujos de recursos del sector platanero. Elaboración propia.

Una vez detallada la cadena de valor de la agroindustria platanera desde una visión global, se pasó a analizar con mayor detalle la agroindustria a nivel de México y para el caso de la investigación, se situó el análisis en la región de Tabasco. A partir de los datos recolectados en la búsqueda

documental, se analizaron tanto los factores internos como los factores externos involucrados dentro del sector platanero en Tabasco (Figura 11).

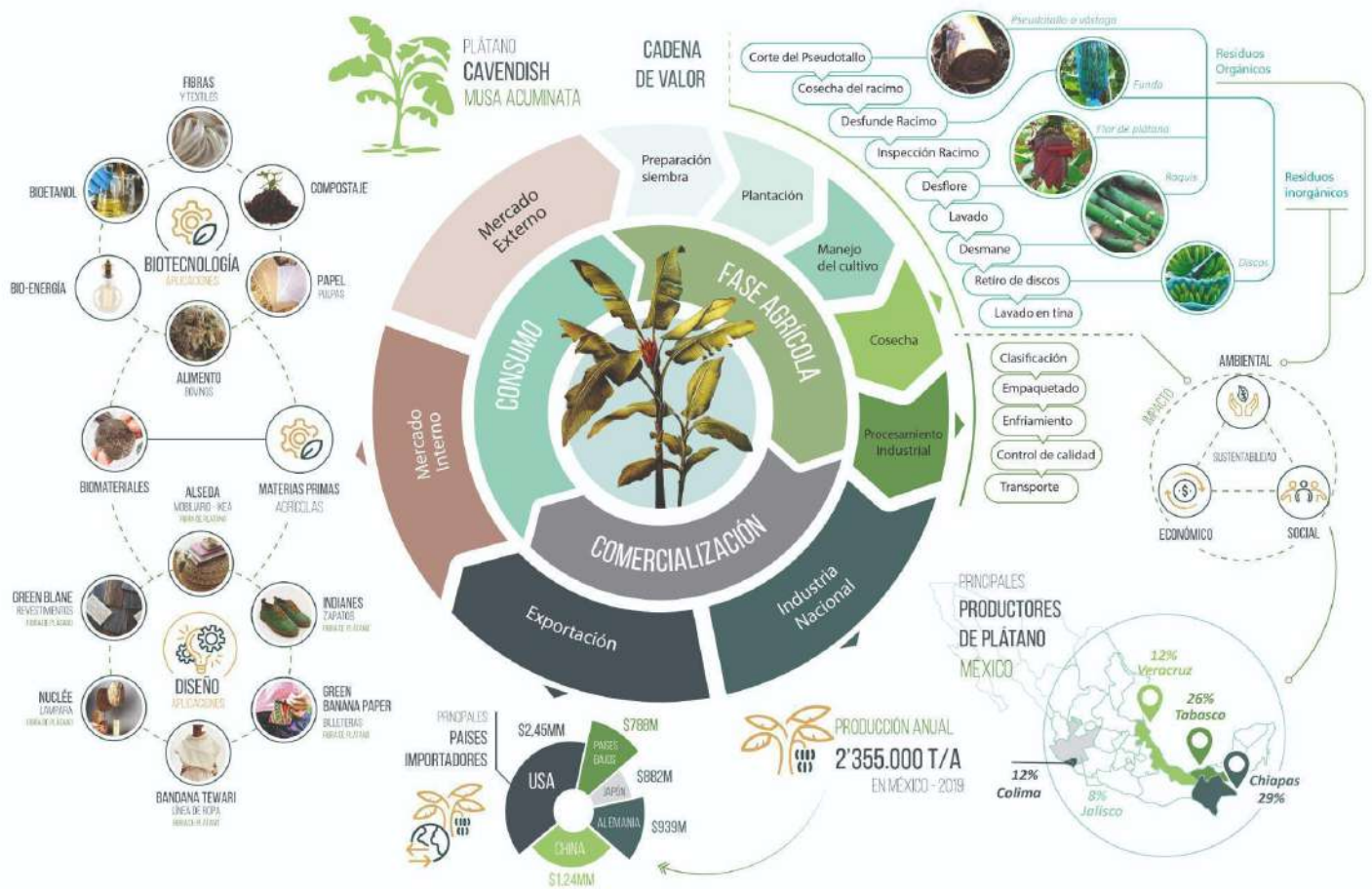


Fig. 11. Cadena de valor del sector platanero en México. Elaboración propia basada en (SAGARPA, 2015; Vargas, 2018; SENASICA, 2020)

De esta manera, se analizó tanto los factores internos como los factores externos del sistema. En el caso de los factores internos, se examinaron elementos como la fuerza laboral, la infraestructura disponible, las capacidades tecnológicas y la disposición para la innovación. Por otro lado, se analizaron los aspectos externos como la ubicación geográfica, los recursos naturales disponibles, el entorno en el que opera y las condiciones del mercado.

Este enfoque permitió identificar puntos críticos en el sistema que requerían intervención y cambio. A través de este análisis se trazaron puntos estratégicos donde las alternativas de mejora debían ser propuestas. La integración del diseño dentro de red se percibía como un elemento transformador capaz de potenciar toda la cadena de valor, además de fortalecer las conexiones entre diversos actores e industrias interdependientes.

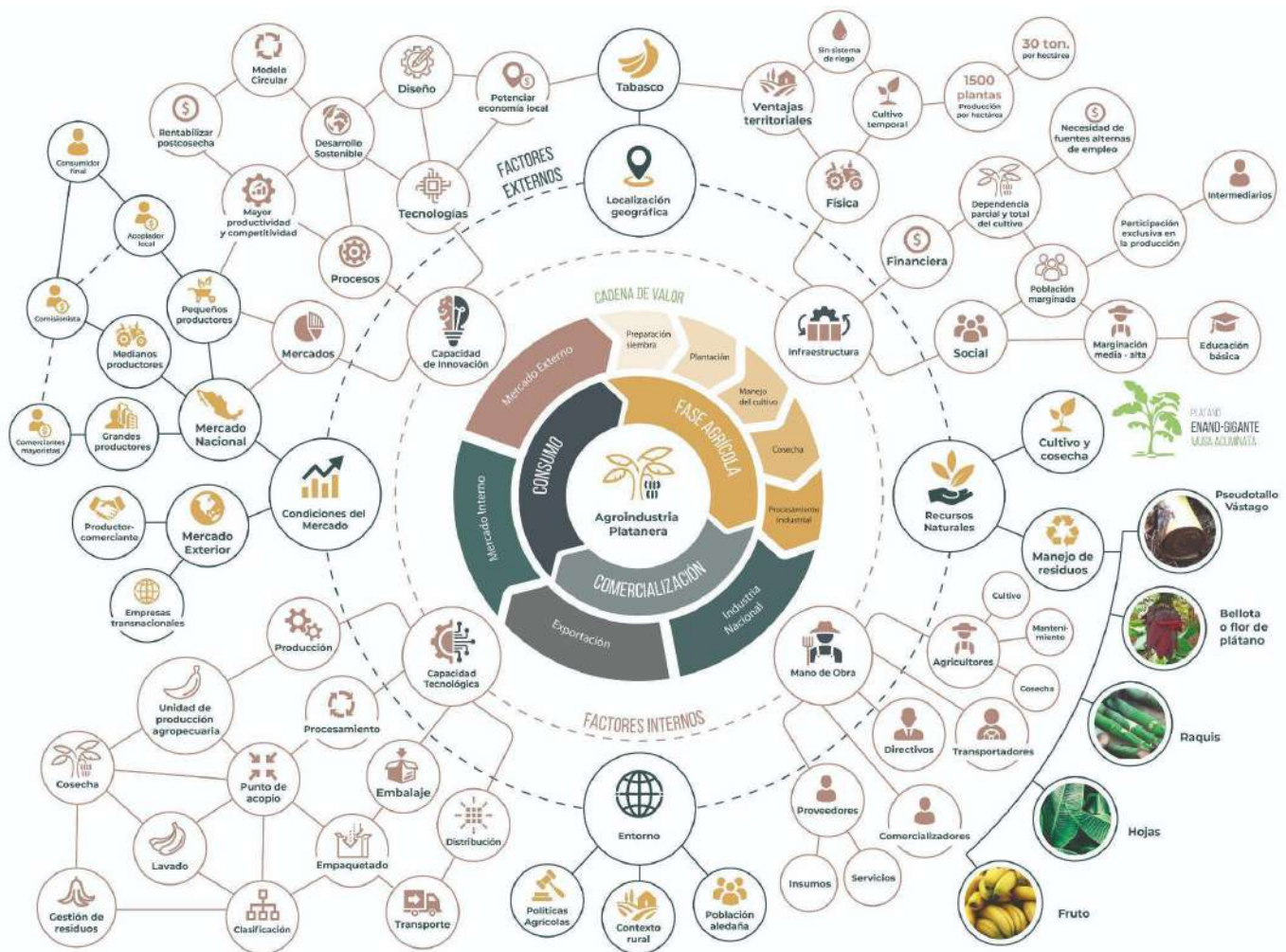


Fig. 12. Modelo sistémico agroindustrial del plátano en Tabasco . Elaboración propia.

Con el mapeo de los factores internos y externo en la cadena de valor, se realizó una esquematización de la red de actores y áreas de oportunidad (Figura 12), partiendo de una visión macro y apoyado en el diseño sistémico, se revisó a distintos niveles los *stakeholders* o partes involucradas que se relacionan directa o indirectamente con la agroindustria platanera en Tabasco. El análisis evidenció la red que se entreteje desde los pequeños productores hasta las empresas transnacionales y el cliente final.

El esquema permitió identificar distintos nichos de oportunidad y puntos de intervención en los que podría desarrollarse la investigación, contemplando desde visiones macro a nivel de Latinoamérica hasta visiones micro tomando como caso de estudio una empresa productora de plátanos en Tabasco. A partir de allí, se evaluó el rumbo de la investigación y el alcance esperado. Se tomó en consideración la complejidad de una intervención a nivel de Latinoamérica y, por consiguiente, se consideró más apropiado para el alcance del proyecto un enfoque a nivel micro del sistema, trabajando desde una región particular, para este caso, Tabasco y enfocando el estudio en pequeños y medianos productores de plátano. Una vez delimitada el área de intervención, se analizaron los puntos de contacto con directivos y agricultores, así como áreas de oportunidad potenciales (Figura 13).

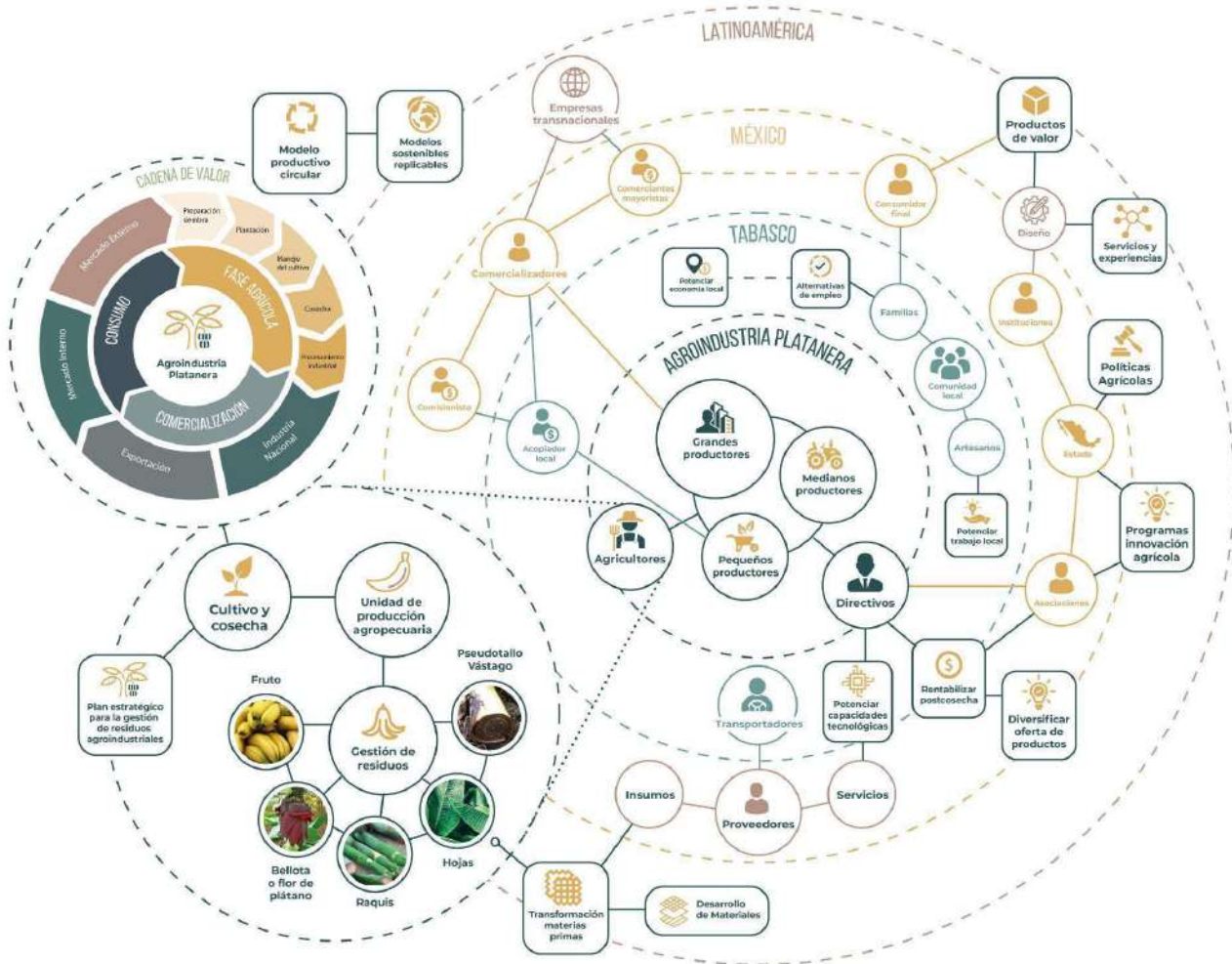


Fig. 13. Modelo sistémico. Red de actores y áreas de oportunidad. Elaboración propia.

A partir del análisis de oportunidades se identificaron los nichos de intervención del proyecto y se delimitó el enfoque con potencial de desarrollo para la región de Tabasco (Figura 14). De esta manera, para la investigación se partió de los pequeños productores de plátano de la región de Tabasco, con la idea de optimizar el uso de los recursos locales a través de la transformación de los residuos en materias primas e insumos para la industria agrícola mexicana. Con ello, se busca rentabilizar la postcosecha del plátano a la par que se dinamiza la oferta de productos del campo, proponiendo sistemas de ciclo cerrado que potencien el trabajo y los recursos locales con alternativas que puedan ser adoptadas dentro del contexto estudiado.

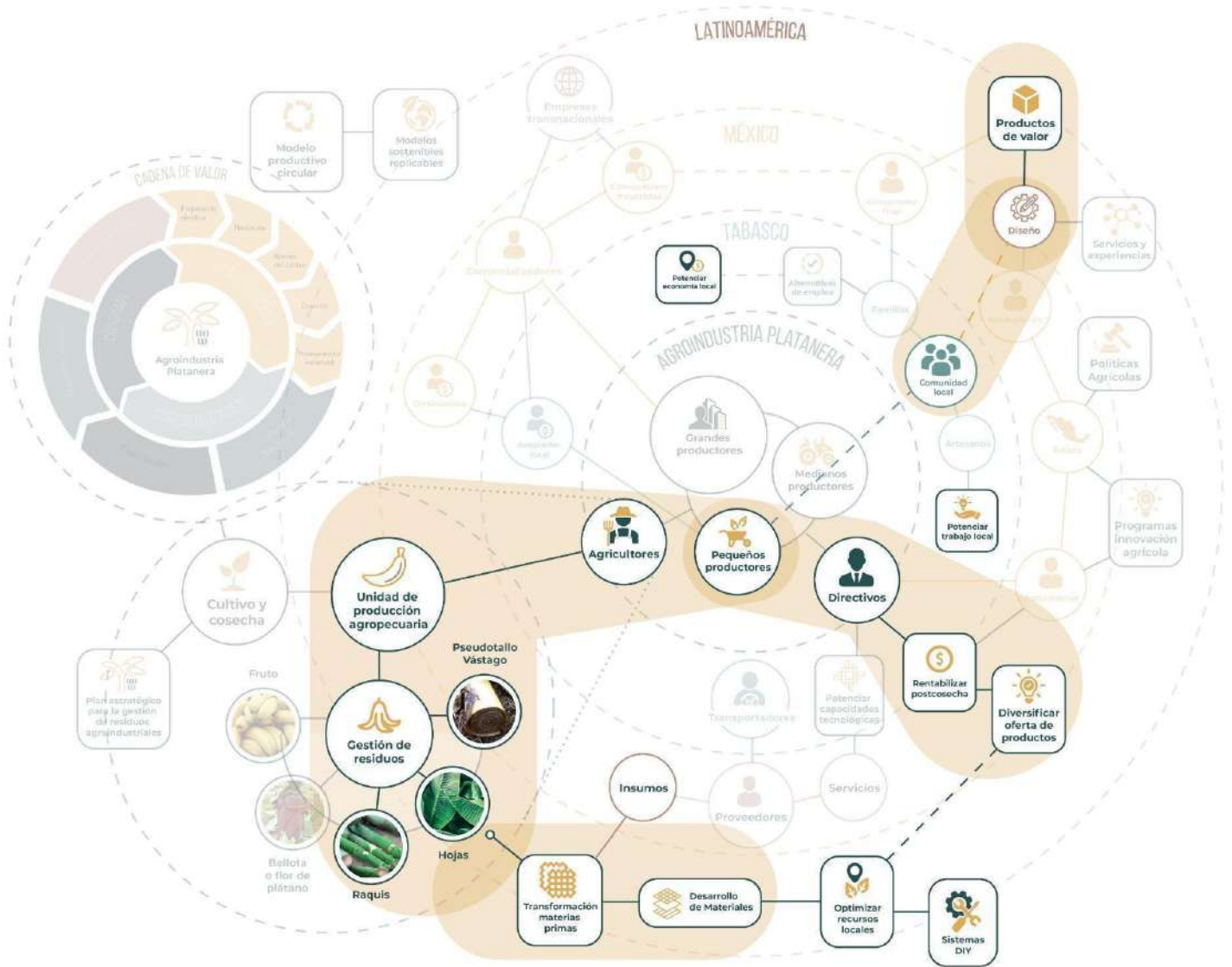


Fig. 14. Modelo sistémico. Área de oportunidad y enfoque del proyecto. Elaboración propia.



2. Marco Teórico

En este capítulo, se explorarán los conceptos fundamentales que sustentan el enfoque de sostenibilidad que se integran al desarrollo y visión de la investigación. Se abordarán conceptos clave como la sostenibilidad, el diseño circular, la economía circular, el

pensamiento sistémico, el desarrollo social y los biomateriales a partir de un enfoque integral y efectivo en la resolución de problemas complejos en la actualidad. Se tomará al diseño como eje guía que entrelaza estos conceptos para articularlos en una propuesta investigativa.

2.1. Enfoque sostenible desde el diseño y la economía circular

El proyecto parte de una preocupación ambiental por hacer frente al problema del manejo de los residuos agroindustriales, pero no se limita a un aspecto medioambiental, sino que abarca un enfoque sostenible y circular, que atañe tanto lo económico como lo social. Pues pretende, a través del aprovechamiento de los residuos agrícolas, apoyar el trabajo de los agricultores con la apertura de nuevos mercados para el sector, ampliando y diversificando la oferta de productos del campo aportando al crecimiento económico de la industria platanera.

Mediante una colaboración estrecha entre el sector agrícola, entidades gubernamentales, academia y comunidades rurales, se persigue la creación de entornos productivos que sean sostenibles y resilientes. Por medio de la propuesta investigativa se pretende crear acciones para mitigar el impacto ambiental de los residuos agroindustriales del sector platanero y ofrecer alternativas para el aprovechamiento de estos remanentes agrícolas, y con ello llegar a impactar positivamente en apego a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de la ONU, así como hacer frente a los límites planetarios (Postdam, 2022) desde sistemas productivos agrícolas sostenibles, circulares y restaurativos. Para ello, el proyecto se orienta desde dos ejes clave: El diseño sostenible y la economía circular.

El diseño sostenible se entiende como una filosofía y metodología de diseño que se enmarca bajo principios de sostenibilidad económica, social y ecológica. Busca mejorar la calidad de vida y el entorno de las personas, al mismo tiempo que asegura el equilibrio y desarrollo armonioso de productos y servicios que no comprometan los recursos para las generaciones futuras (Cuello, 2019). Este enfoque se fundamenta en una perspectiva sistémica del diseño, que persigue la satisfacción de necesidades de la mejor manera posible desde lo social, lo económico y lo ambiental (UNEP, 2007).

El diseño como catalizador se afianza para cambiar el modelo tradicional de “hacer, usar y desechar”, impulsando una transición a una economía reparadora, regenerativa y circular (Moreno, 2016). Una noción que tuvo origen bajo el concepto de “*green design*” o diseño verde, como una preocupación del diseño por integrar conceptos ambientales (Chambouleyron, 2004; Madge, 1997), que tiempo después se extendería al diseño de todo el ciclo de vida del producto con el “*ecodiseño*” y el “*Análisis de Ciclo de Vida*” (Van, 1996). Lo que orientaría el surgimiento del “*diseño para sostenibilidad*” como un modelo que considera aspectos ambientales, sociales y económicos.

De la mano del diseño sostenible, la economía circular toma protagonismo y se constituye como una estrategia reparadora y regenerativa, un modelo económico que procura mantener el valor de los recursos y le apunta a reemplazar el concepto de *fin de vida* por el de *restauración*. Tiene como objetivo desacoplar gradualmente el crecimiento del consumo de recursos finitos (Fundación Ellen MacArthur, 2017). Ésta pretende ser una economía de “*ciclo cerrado*”, que persigue objetivos holísticos de sostenibilidad a través de una cultura de no desperdicio (De los Rios, 2017), promoviendo un ciclo de desarrollo positivo continuo que preserve y mejore el capital natural, a la par que optimice el rendimiento de los recursos y minimice los riesgos del sistema mediante la gestión de existencias finitas y flujos renovables (Wastling, 2018).

Un modelo económico que se interpretó basado en la gestión de los residuos a través de las 3Rs reducir, reciclar y reutilizar, que años más tarde se ampliaría al modelo de las 9Rs: rechazar, repensar, reducir, reutilizar, restaurar, remanufacturar, reproponer, reciclar y recuperar (Lankester, 2018), donde se busca reemplazar el flujo lineal actual de los materiales por un flujo circular de optimización de los recursos, encaminado a desarrollar productos, procesos y materiales inteligentes (OECD, 2009) .

La intersección de estas dos visiones, del diseño sostenible suscrito en la economía circular ha concebido al Diseño Circular, un enfoque del diseño que integra principios sostenibles, asumiendo un pensamiento holístico y sistémico de aspectos tanto ambientales, como sociales, económicos y multifuncionales (Bhamra, 2007). La visión del diseño circular va más allá de la mera optimización de procesos y materiales. Implica un cambio de paradigma en la mentalidad y la cultura de diseño, donde se prioriza la durabilidad, la modularidad, la reparabilidad y la adaptabilidad en la creación de productos, servicios y sistemas. Este enfoque se esfuerza por cerrar los ciclos de vida de producto, priorizando el uso de recursos locales e integrando una dimensión estratégica que reduzca la cantidad de residuos y minimice el impacto ambiental en la búsqueda de soluciones sostenibles e innovadoras (Fundación Ellen MacArthur, 2016).

2.2. El diseño circular desde una visión sistémica

Esta filosofía de diseño consciente, parte de una visión sistémica sobre el manejo de los recursos y cierre de ciclos, para proponer sistemas restaurativos que creen sinergias entre el diseño y el medio ambiente. Basándose en principios de la economía circular y el diseño sostenible, se orienta a repensar desde el inicio todo el ciclo de vida del producto para extender al máximo su vida útil (Rojas, 2019). Le apunta a la optimización del potencial económico de los recursos a través de nuevos modelos de negocio, migrando de una economía que genera ganancias a partir de la venta de artefactos, a una que genera beneficio del flujo de materiales y productos a lo largo del tiempo (Bakker, 2014) y se propone evitar que los productos sean desechados, manteniéndose dentro del ciclo como elementos que siguen aportando valor a los usuarios, a los negocios y al medioambiente (Fundación Ellen MacArthur, 2017).

Dentro del diseño circular se estructuran tres principios claves que orientan el desarrollo de sistemas sostenibles (Ellen MacArthur Foundation, 2013):

Principio 1: Diseñar para acabar con los residuos y la contaminación, a través de ciclos optimizados de recursos y productos donde el origen de los recursos proviene del descarte de otras industrias, reduciendo el desperdicio y gestionando de mejor forma los residuos.

Principio 2: Mantener los productos y servicios en uso, haciendo una revisión de los componentes consumibles y duraderos de un producto, recalando que se debe buscar un buen retorno de los recursos consumibles al ambiente y apuntar a la reutilización de materiales y componentes duraderos.

Principio 3: Regenerar los sistemas naturales, haciendo uso de los materiales de origen biológico, disminuyendo la dependencia a los recursos y aumentando la capacidad de

recuperación del sistema, mediante alternativas como el uso de energías renovables y materiales alternativos.

Partiendo de estos principios, desde el diseño circular de productos y servicios se han venido orientado estrategias y metodologías para ralentizar ciclos y cerrar bucles de recursos, proponiendo una revisión más consciente del uso e impacto de los materiales y componentes durante el ciclo de vida de producto. En esta medida, se han propuesto tres grandes enfoques para afrontar los retos que propone la economía circular: el diseño para la conservación de recursos; el diseño para ralentizar el ciclo de recursos; y el diseño de todo el sistema (De los Rios, 2017).

En el marco de estos principios dentro del desarrollo de estrategias desde el diseño circular, se vinculan a metodologías y herramientas preexistentes del diseño (Tabla 2) que orientan el desarrollo de innovaciones circulares (Moreno, 2016).

Acercamiento	Estrategia de Diseño Circular	Enfoque de Diseño	Métodos / Herramientas
Diseño para la conservación de recursos	Diseño para suministros circulares	Diseño para cerrar ciclos de recursos	Diseño para la biodegradabilidad
	Diseño para la conservación de recursos	Diseño para reducir el consumo de recursos	Diseño para reducir el uso de materiales y recursos
Diseño para ralentizar bucles de recursos	Diseño para alargar la vida útil de productos	Diseño para la rentabilidad y durabilidad	Diseño para la vida útil del producto
		Diseño para la atracción y confianza de producto	Diseño de experiencias placenteras
		Diseño para extender el ciclo de vida del producto	Diseño para la reparabilidad
			Diseño para la actualización
	Diseño para la materialización de productos	Diseño de sistemas-producto servicio	
Diseño para múltiples ciclos	Diseño para la recuperación de recursos	Diseño para la remanufacturaación	
Diseño de todo el sistema	Diseño para sistemas de cambio	Diseño para reducir la carga ambiental	Diseño de la cadena de valor
		Diseño para regenerar sistemas	Diseño para la biomimesis

Tabla 2. Estrategias, enfoques y métodos del diseño circular (Moreno, 2016).

A partir de las estrategias y enfoques del diseño circular, emergen cuatro modelos de diseño clave: el diseño para la longevidad, el diseño para el servicio, el diseño para la reutilización en la fabricación y el diseño para la recuperación de materiales. Estos modelos se estructuran como circuitos de bucles cerrados (Figura 15), donde los productos o recursos circulan continuamente (RSA, 2013), con el propósito principal de reducir al mínimo el uso de materiales en comparación con el sistema de producción lineal.

Estos cuatro modelos propuestos tienen como objetivo fundamental prolongar tanto la vida de los productos como la de sus materiales y componentes, logrando una circulación sostenida que busca maximizar tanto el número de ciclos consecutivos como la duración de cada ciclo. En este contexto, al utilizar un enfoque en cascada, se busca diversificar la reutilización en cada fase de la cadena de valor. Por esta razón, resulta fundamental establecer flujos de materiales no contaminados que aumenten la eficiencia de la recolección y redistribución, al mismo tiempo que se preserva la calidad.

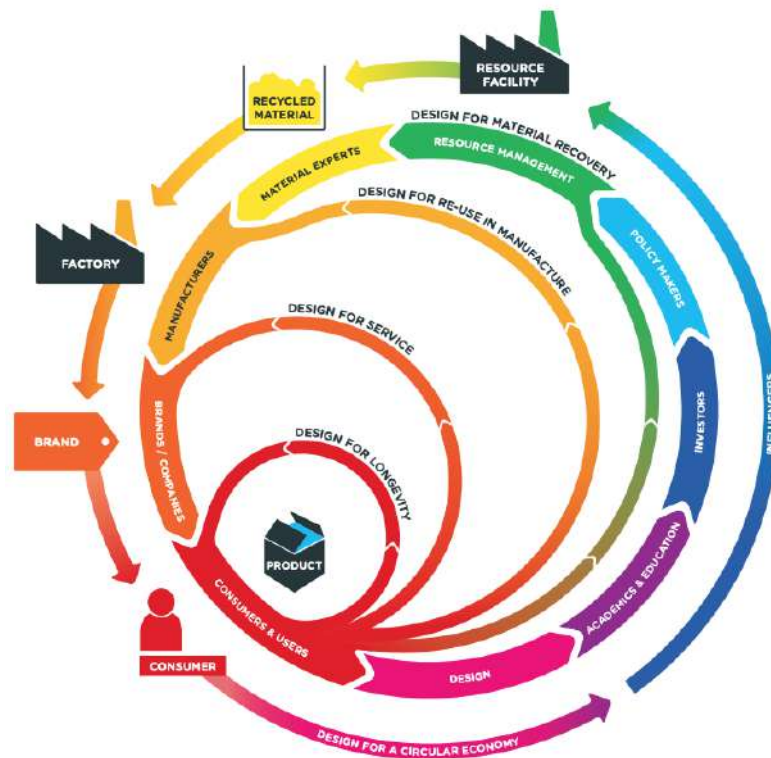


Fig. 15. Los cuatro modelos del diseño circular. Fuente: The Great Recovery, 2013

Dentro de este marco de principios, estrategias y metodologías, el desafío del aprovechamiento de los residuos agroindustriales del sector platanero se presenta como una oportunidad importante para la implementación del diseño y la economía circular. El objetivo es crear sistemas sostenibles que promuevan el cierre de ciclos de recursos, haciendo uso eficiente de las materias primas que actualmente están subutilizadas en el sector platanero. Esto contribuiría a establecer un entorno productivo responsable en términos ambientales, sociales y económicos.

En este contexto, el enfoque del proyecto se basa en el modelo circular del diseño para la recuperación de materiales, utilizando estrategias del diseño para la conservación de recursos. Se centra en cerrar los ciclos de recursos y reducir la carga ambiental, al mismo tiempo que busca regenerar los sistemas. Para lograr esto, se incorporan métodos como el diseño para la biodegradabilidad, el diseño de la cadena de valor y el diseño para la biomimética.

2.3. Circularidad desde el C2C y el Biomimetismo

Para lograr todos estos cambios es esencial implementar estrategias de diseño que promuevan sistemas de ciclo cerrado. Una de las metodologías clave que respalda este enfoque y es fundamental en el contexto de la economía circular es la filosofía "Cradle to Cradle" (C2C), que se traduce como "de la cuna a la cuna". Esta filosofía representa un enfoque económico que, en contraposición al modelo lineal "de la cuna a la tumba" típico de la producción y el consumo, tiene como objetivo preservar el valor de los productos, materiales y recursos durante el mayor tiempo posible. El propósito principal es minimizar la generación de residuos (Braungart, 2007).

La metodología Cradle to Cradle (C2C) tuvo su origen en el libro publicado en 2002 por el arquitecto alemán William McDonough y el químico-ecologista Michael Braungart, titulado "Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things". En esta obra, proponen una nueva perspectiva del ecologismo centrada en la optimización de recursos. Su enfoque sostenible aborda los problemas ambientales desde su raíz, comenzando con el diseño y la concepción de los productos, teniendo en cuenta todas las etapas del ciclo de vida, que incluyen la extracción, el procesamiento, el uso, la reutilización y el reciclaje de materiales. La metodología busca cerrar completamente el ciclo de los materiales y optimizar el uso de la energía (Braungart & McDonough, 2002).

Esta metodología implica el desarrollo de sistemas de bucles de ciclo cerrado, en los que los productos o residuos de un sistema se convierten en recursos para otros sistemas. En este contexto, se identifican dos bucles de recursos fundamentales en el diseño circular: el "ciclo tecnológico" y el "ciclo biológico" (Figura 16). El ciclo tecnológico se refiere a la reutilización continua de materiales inorgánicos o sintéticos sin que pierdan sus propiedades o valor. Por otro lado, el ciclo biológico se centra en la reintegración de materiales orgánicos o nutrientes en el sistema o en su descomposición sin causar impactos negativos en el medio ambiente (Wastling, 2018).

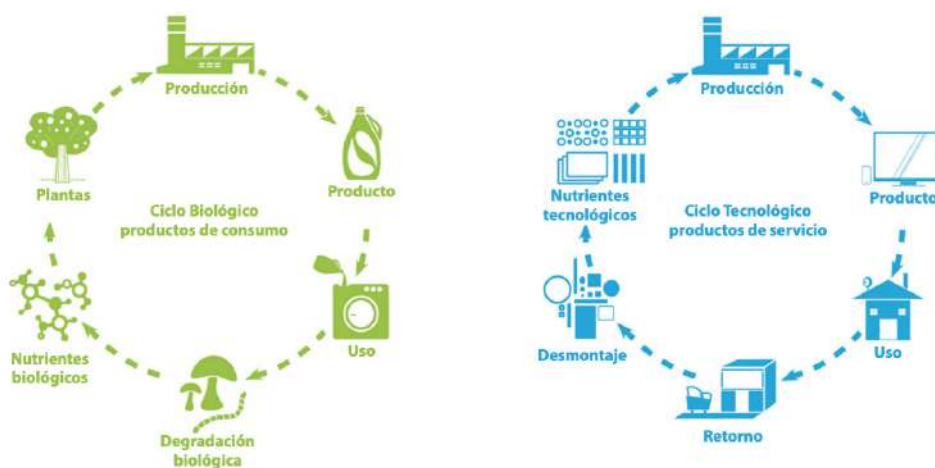


Fig. 16. Procesos industriales cíclicos en diseño de cuna a cuna. Fuente: C2C Platform.

En este marco de bucles de recursos dentro de ciclos tecnológicos y biológicos, se establecen cuatro estrategias relativas al flujo de materiales para cerrar ciclos y reducir el impacto ambiental (Knošková, 2020):

- 1. Disminución de los ciclos de recursos:** Diseñar productos que sean duraderos y que puedan ser reparados o renovados, se prolonga su tiempo de uso, lo que a su vez ralentiza el consumo de recursos.
- 2. Cerrar bucles de recursos:** A través del reciclaje y la reutilización, se puede establecer un ciclo continuo de recursos, donde los productos al final de su vida útil se convierten en materias primas para la producción de nuevos productos.
- 3. Eficiencia de los recursos:** Reducir la cantidad de recursos utilizados por unidad de producto contribuye a minimizar el impacto ambiental y a optimizar la gestión de recursos.
- 4. Diseño de sistemas integrales:** Transicionar hacia sistemas que regeneren el medio ambiente y promuevan la conciencia ambiental es esencial para abordar los desafíos ambientales de manera integral.

En sintonía con la filosofía de la circularidad, el biomimetismo se enfoca en la imitación consciente de los modelos, sistemas y elementos de la naturaleza para abordar desafíos humanos complejos (Vincent, 2006). Se basa en la premisa de que la naturaleza actúa como un "modelo, medida y mentor", sugiriendo que es más efectivo emularla que intentar superarla (Benyus, 1997). Su objetivo principal es mejorar la calidad de vida de la humanidad a través de la sostenibilidad, utilizando la naturaleza como fuente de inspiración para resolver problemas humanos, ya sea imitando directamente sus diseños y procesos o adaptándolos para abordar nuestras necesidades (Benyus, 1997).

2.4. Integración enfoques sostenible en el proyecto

Si bien el proyecto involucra tres enfoques principales interconectados, su enfoque principal y predominante es el Diseño Sistémico (DS). Este enfoque se centra en la creación de sistemas de producción sostenibles en los que los residuos se transforman en recursos, minimizando así el impacto ambiental. El Diseño Sistémico adopta una perspectiva territorial que enfatiza la importancia de las acciones locales utilizando los recursos naturales locales. Se busca establecer conexiones sinérgicas entre los procesos de producción agrícola y los procesos naturales, integrándolos de manera efectiva en el entorno circundante (Barbero & Fassio, 2011).

En este contexto, este enfoque fusiona conceptos del C2C (*Cradle to Cradle*), la economía circular y el biomimetismo, con un énfasis en el territorio y los sistemas. Adopta una perspectiva en la que los residuos se consideran recursos, donde los productos finales de un sistema se convierten en insumos para otros sistemas (Ceschin & Gaziulusoy, 2020). Este enfoque representa una transición desde un modelo de producción y consumo lineal hacia uno más circular.

Esta visión se centra en el diseño de la complejidad de factores e interacciones dentro de un sistema, teniendo en cuenta elementos de la biosfera (recursos naturales), la sociosfera (conocimientos y prácticas locales) y la tecnosfera (flujos de materiales y energía). Reconoce la necesidad de aplicar un pensamiento sistémico y un enfoque holístico para gestionar la amplia variedad de variables y enfoques interdisciplinarios involucrados en la sostenibilidad (Peruccio, 2017).

Bajo estos enfoques, las nuevas perspectivas del diseño promueven la idea de establecer conexiones más estrechas con la naturaleza y explorar innovaciones en materiales, considerando a la naturaleza como una colaboradora en el proceso de diseño, a menudo denominado como "los nuevos artesanos" (Parisi, 2020). Esta concepción implica alejarse de las nociones antropocéntricas y reconocer que la materia viva es un componente activo y dinámico con el cual los diseñadores pueden trabajar en conjunto.

En este contexto, el proyecto propone la integración de la biofabricación en los procesos de aprovechamiento de los residuos agroindustriales. La biofabricación representa una nueva forma de abordar el diseño, redefiniendo la manera en que concebimos los materiales a través de la co-creación con la naturaleza, en lugar de simplemente explotarla. Este movimiento ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años y ha sido objeto de numerosas investigaciones, con la expectativa de que dirija el futuro de los biomateriales (Cohen, 2020).

A partir de estos enfoques del diseño orientado hacia la sostenibilidad, se plantea la idea de combinar elementos comunes de diversas visiones y enriquecer la investigación con otros conceptos relevantes. De esta manera, la propuesta global del proyecto se basará en el diseño sistémico, con una perspectiva que abarca la economía circular y se nutre de enfoques del biodiseño. Se busca establecer sistemas productivos de ciclo cerrado en los cuales los recursos se utilicen de manera óptima y se promuevan alternativas para aprovechar los residuos. Además, se adoptará un enfoque territorial que fomente la co-creación con la naturaleza, permitiendo el desarrollo de innovaciones en materiales y la creación de vínculos que conecten los procesos agrícolas con los procesos naturales, utilizando el diseño como un intermediario activo en esta relación.

2.5. Eficiencia y resiliencia de sistemas agrícolas

Los sistemas actuales de producción agrícola se han vuelto insostenibles, el ritmo de cambio y la carga creciente de las actividades humanas sobre la capacidad de la tierra representan un enorme problema para la agricultura. Según la FAO, nos enfrentamos a una creciente escasez y degradación de los recursos naturales, se estima que una tercera parte de la tierra agrícola se está

degradando y hasta el 75 por ciento de la diversidad genética de los cultivos se ha perdido, en un momento en que la demanda de alimentos está aumentando y se empieza a perder rentabilidad en los cultivos, el balance del medio ambiente y la equidad social y económica (FAO, 2015).

La agricultura sostenible surge como una respuesta necesaria ante los cambios actuales en la agricultura. Busca desarrollar sistemas agrícolas alternativos que sean más adecuados para las demandas de la sociedad contemporánea. Se basa en la idea de promover sistemas de producción agrícola que conserven los recursos naturales, operen en entornos ambientalmente saludables y sean económicamente viables (Filippone, 2018). Este enfoque también se centra en la reducción del uso de agroquímicos y promueve la utilización de productos de origen biológico que dependan de fuentes renovables de materia prima y energía. El objetivo fundamental de la agricultura sostenible es satisfacer las necesidades alimentarias actuales y futuras sin comprometer la salud del medio ambiente ni la disponibilidad de recursos naturales. Esto se realiza con el propósito de mantener la viabilidad económica del sector agrícola (EOS, 2020).

Los desafíos que plantea los sistemas agrícolas actuales dan lugar a cinco principios clave para guiar el desarrollo estratégico de nuevos enfoques y la transición hacia la sostenibilidad (FAO, 2015):

1. Mejorar la eficiencia en el uso de los recursos.
2. Conservar, proteger y mejorar los recursos naturales.
3. Proteger y mejorar los medios de vida rurales y el bienestar social.
4. Aumentar la resiliencia de las personas, de las comunidades y de los ecosistemas.
5. Buena gobernanza de los sistemas naturales y los sistemas humanos

Para promover los principios de la agricultura sostenible, es esencial orientar la agroindustria hacia procesos biológicos y ecológicos que abarcan aspectos como ciclos de nutrición, fijación de nitrógeno, regeneración del suelo, alelopatía, competencia, entre otros. Al mismo tiempo, es crucial minimizar el uso de métodos no renovables que tienen un impacto adverso tanto en el medio ambiente como en la salud de los agricultores y los consumidores de alimentos. Como respuesta a estos desafíos, están surgiendo propuestas de producción ecológica que se alinean con las demandas sociales y buscan establecer una agricultura sostenible. Estos enfoques se basan en aprovechar el conocimiento y las habilidades de los agricultores para fortalecer el capital humano y promover su independencia frente a terceros. Además, fomentan el trabajo comunitario para abordar de manera colectiva los problemas relacionados con los recursos naturales (EOS, 2020).

En el contexto de la agricultura sostenible y la gestión de recursos, la industria aspira a establecer una relación armoniosa con el entorno agrícola mediante prácticas sostenibles y equilibradas. El objetivo es maximizar la utilización de los recursos naturales y fomentar una simbiosis entre el entorno natural y los sistemas agroindustriales. Para lograr esto, es preciso establecer mecanismos que conecten la industria con los sistemas agrícolas a través del aprovechamiento de los residuos, impulsando el cierre de ciclos desde una visión sistémica donde todos los componentes están conectados entre sí.

Esta visión se centra en abordar los impactos ambientales de las actividades industriales al promover el uso responsable de los recursos naturales en sistemas de circuito cerrado. En estos sistemas, los residuos se transforman en recursos para nuevos procesos. El objetivo principal es impulsar el desarrollo sostenible en sus tres dimensiones clave: ambiental, social y económica, a menudo representadas como las "3P": prosperidad, personas y planeta (Figura 17) (Ashby, 2015).

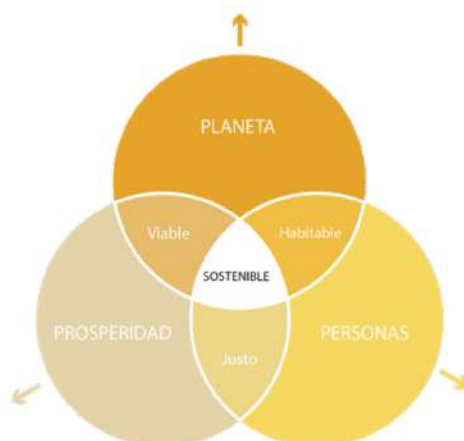


Fig.17. Las 3P: Prosperidad, personas y planeta. Fuente: Zamora, 2021 basada en Ashby (2015)

Se están llevando a cabo esfuerzos colaborativos para acercar la industria a los entornos agrícolas con el propósito de fomentar el desarrollo sostenible de las agroindustrias y reducir el impacto ambiental de las operaciones industriales. Este enfoque integral busca empoderar a las comunidades locales y promover la transformación de las materias primas regionales en productos con valor añadido. Esto no sólo fortalecería la economía local al aprovechar la postcosecha del plátano, sino que también contribuiría a la mitigación del impacto ambiental.

2.6. Estrategias de Desarrollo Económico y Social

Para lograr estos cambios, es esencial implementar estrategias de desarrollo socioeconómico que comprendan un proceso integral, lo que significa un crecimiento constante del potencial económico y la autosuficiencia de las comunidades, mejorando completamente sus condiciones en términos económicos, sociales y ambientales (Cepal, 2002). Este proceso de transformación social busca mejorar y fortalecer la calidad de vida de todos los miembros de una comunidad a través de contribuciones económicas, sociales y ambientales (Castillo, 2011). Se basa en una teoría de innovación local que se consolida mediante la colaboración de diversas entidades para lograr un desarrollo impactante en las regiones o territorios en los que se implementa (Boisier, 2009).

A partir de esta premisa, la propuesta de contribución a través del diseño se entretreje con escenarios de participación comunitaria con el objetivo de impulsar innovaciones locales de relevancia global. Esto se basa en considerar elementos como: la delimitación de un territorio que posea una identidad y características distintivas que definan a su población; la presencia de

recursos endógenos, que pueden ser organismos vivos como plantas, animales o microorganismos, así como minerales autóctonos del territorio. Un ejemplo es la propuesta de Boisier (2009) en la que se propone la interacción de diferentes actores para lograr una aportación local de importancia mundial (Fig. 18).

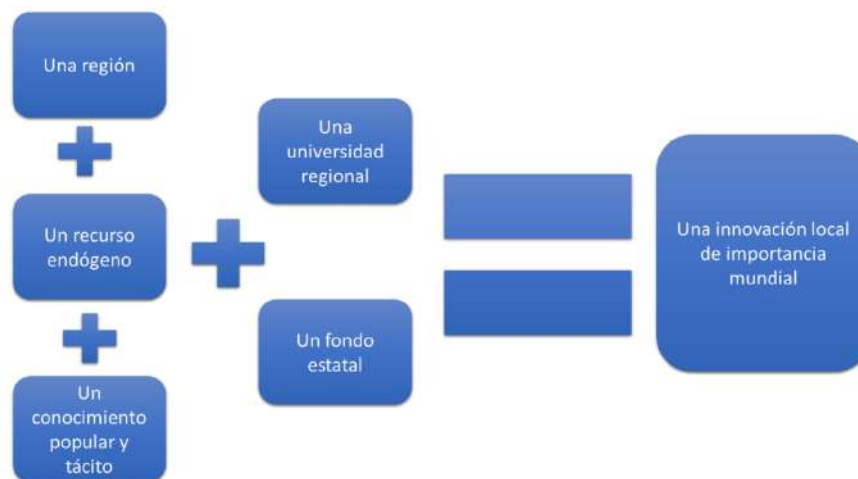


Fig.18. Factores determinantes del desarrollo de una región. Fuente: Boisier, 2009. Elaboración por Arango (2018)

Por lo anterior, resulta crucial implementar estrategias de desarrollo que integren los aspectos económicos, sociales y ambientales, aprovechando la sinergia entre los recursos locales y tecnologías de transformación. Estas estrategias deben estar orientadas a corto, mediano y largo plazo, con el propósito de cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible a nivel local. Estas innovaciones deben tener un impacto positivo en las comunidades y beneficiar a los productores agrícolas. Además, se deben basar en sistemas de ciclo cerrado que optimicen los recursos y generen valor a partir de los recursos y el trabajo locales.

2.7. Diseño desde los materiales

Desde la introducción del primer polímero sintético en torno a 1910, como la baquelita, los materiales plásticos se establecieron firmemente en el mercado, gradualmente reemplazando a los materiales tradicionales como la madera, el metal y el cuero. La ventaja clave de los polímeros sintéticos radica en su capacidad de ser moldeados químicamente en diversas formas y resistencias, lo que ha impulsado su uso en una amplia variedad de aplicaciones industriales (Rogers, 2005).

Sin embargo, estas mismas propiedades que hacen que los polímeros sintéticos sean tan versátiles también han generado una seria amenaza para el medio ambiente. Su durabilidad prolongada significa que estos compuestos permanecen en el ecosistema durante largos períodos de tiempo, planteando una preocupación global que en las últimas décadas ha impulsado investigaciones y desarrollos en materiales que hacen frente al daño ambiental causado (Marjadi, 2011).

Una revisión histórica de la evolución de los plásticos revela los esfuerzos conjuntos que se han llevado a cabo en las últimas décadas para impulsar una transición hacia sistemas de materiales sostenibles y resistentes (véase Figura 19). Estos esfuerzos se han centrado en el desarrollo de alternativas basadas en biomateriales con el objetivo de reemplazar los materiales petroquímicos. En esta perspectiva, a lo largo de los años, ha habido numerosos avances relacionados con materiales alternativos. Se destaca especialmente un creciente interés en los materiales derivados de fuentes renovables, lo que fomenta nuevas dinámicas en la producción y el consumo industrial hacia prácticas más responsables y sostenibles.

2.4.2. Nuevas visiones de los materiales

La transición desde el ámbito del diseño hacia el campo de los materiales ha dado lugar a investigaciones y descubrimientos innovadores, impulsados por la perspectiva del diseñador y la colaboración multidisciplinaria. Esto ha llevado a la creación de materiales novedosos con un bajo impacto ambiental, gracias a la colaboración entre diseñadores, biólogos, químicos y otros investigadores. Esta visión está alineada con filosofías como el "*Hazlo tú mismo*" (DIY), que promueven la democratización del conocimiento, los procesos y las tecnologías, convirtiéndolos en recursos accesibles para la innovación.

En la última década, la expansión del movimiento "*Hazlo tú mismo*" (DIY) hacia el ámbito de los materiales ha permitido la incorporación de nuevas dinámicas en el desarrollo de materiales, con el objetivo de crear experiencias significativas que trasciendan su mera utilidad. Esto implica evaluar un material no solo por sus propiedades físicas, sino también por su capacidad de expresión, su capacidad para provocar emociones y su influencia en nuestras acciones. Este enfoque se alinea con la noción de "*Diseño orientado por los materiales*", que representa un viaje del diseñador desde lo tangible hacia lo abstracto y luego de regreso a lo tangible (Buraglia, 2021).

Uno de los grandes desafíos en el desarrollo de nuevos materiales y productos es superar la brecha tecnológica que existe entre los laboratorios de investigación y los entornos de producción y transformación (Centro de Materiales, 2019). Por esta razón, es de vital importancia que en la exploración de materiales, el diseñador adquiera una comprensión completa de los materiales que trascienda los aspectos técnicos, centrándose en la creación de soluciones que tengan un significado para las personas, que generen nuevas experiencias y que sean sostenibles (Ashby, 2014).

En este sentido, el diseño de materiales se enfoca en una exploración que abarca aspectos técnicos y experienciales, guiado por los principios de la economía circular, la filosofía del *hazlo tú mismo* (DIY) y el diseño sistémico, donde los productos de desecho de un sistema se convierten en insumos para otro (Bistagnino, 2009). Por lo tanto, la elección de un material no se reduce únicamente a consideraciones técnicas o de eficiencia, ni se limita a criterios estilísticos; más bien, se convierte en una amalgama de ciencia y arte. Esta perspectiva promueve la democratización de las tecnologías y la personalización de los productos al involucrar activamente al material en el proceso creativo (Ayala y Rognoli, 2015).

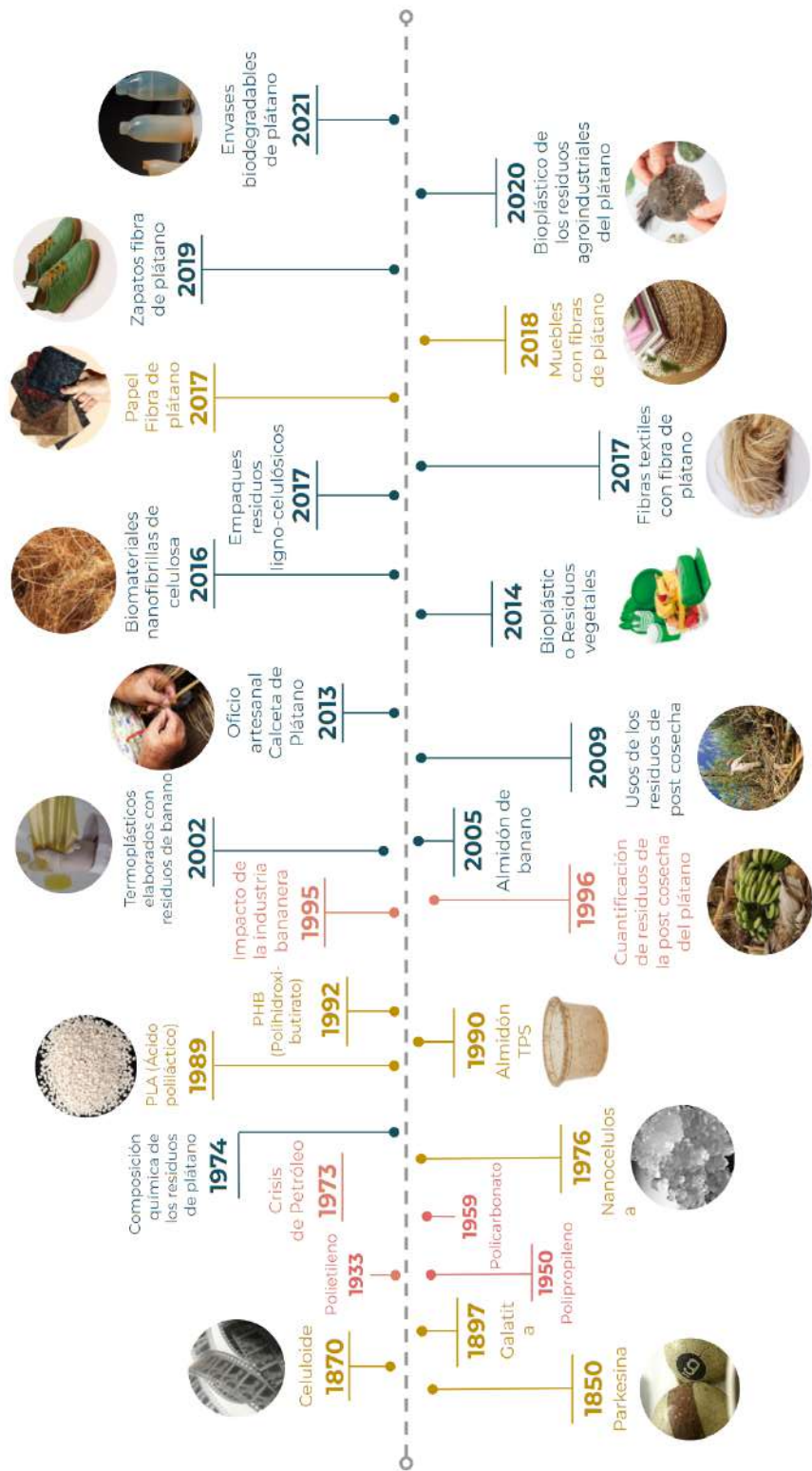


Fig. 19. Línea de tiempo - Evolución de los Biomateriales y nuevos desarrollos. Elaboración propia basada en (Marjadi, 2011)



03

3. Antecedentes

3.1. Vigilancia Tecnológica y marco referencial

Recientemente, diversos estudios han publicado hallazgos importantes en el campo de desarrollo de materiales y residuos agrícolas (Botero & Mazzeo, 2009; Kalia, 2011; López, 2014; Kasper 2013). En dichos estudios destaca el hecho de que los avances investigativos y tecnológicos se han centrado, principalmente, en el uso de remanentes agrícolas desde un abordaje

biotecnológico, empleando estas materias primas dentro de procesos industriales bajo aplicaciones agroalimentarias o de insumos, como concentrado para alimentación animal, abonos orgánicos, papel, bioplástico, biocombustibles, etanol y otros bioproductos.

Bajo este panorama, se encuentra que el interés por dar un uso provechoso a los residuos agroindustriales plátano se remontan algunas décadas atrás, desde que se reconoce el impacto que tiene la industria

platanera, lo que despierta una preocupación particular en el ámbito mundial por generar alternativas que medien en procesos de sostenibilidad de la agroindustria y el desarrollo de productos de valor para otras industrias. La figura 20 representa la evolución en este campo, señalando fechas importantes en las que se desarrollaron investigaciones asociadas al proyecto de investigación.

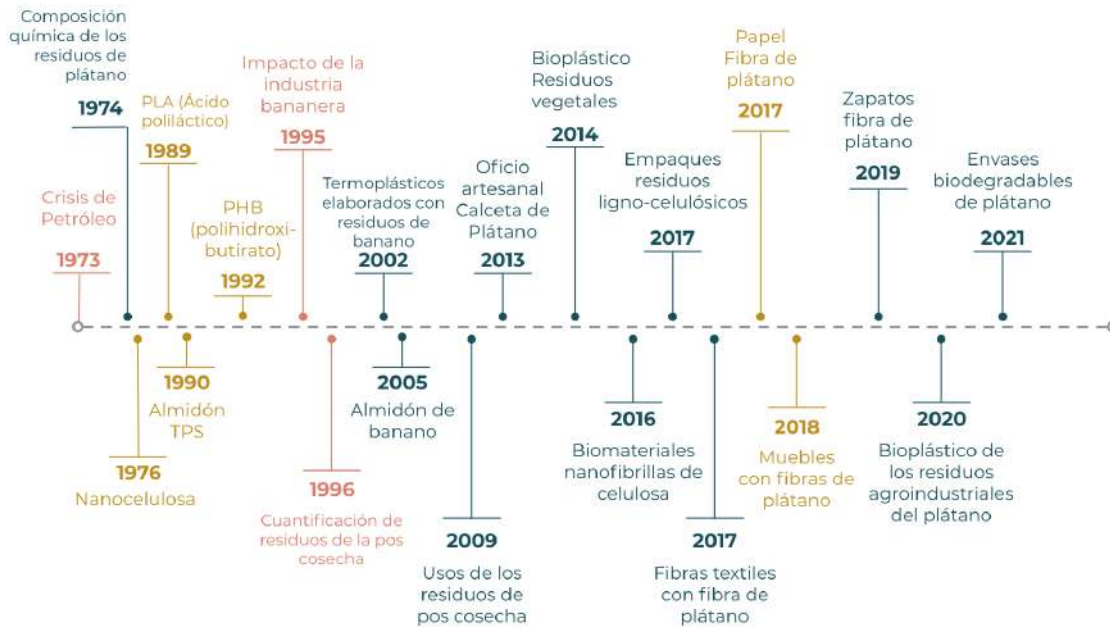


Fig. 20. Línea de tiempo de investigaciones adelantadas respecto a hitos históricos. Elaboración propia basado en (Arango, 2018; Marjadi, 2011)

En el marco de las investigaciones adelantadas, se evidencia que los residuos agroindustriales cuentan con un alto potencial para ser aprovechados en diferentes procesos y productos de valor que promuevan un desarrollo sostenible del sector platanero. Particularmente, las investigaciones adelantadas en el área de materiales han permitido comprobar la factibilidad de utilizar estos remanentes agrícolas en la elaboración de biopolímeros y materiales biocompuestos como sustitutos de los materiales de origen fósil que son altamente contaminantes y nocivos para el ambiente (Tamayo, 2017).

En este sentido, si bien se han venido dado avances tecnológicos e investigativos en torno al aprovechamiento de los residuos agroindustriales del sector platanero, las soluciones propuestas no han cerrado la brecha que existe entre la optimización de los recursos y los procesos de transformación local dentro de sistemas sostenibles circulares, por lo que las soluciones propuestas han quedado aisladas del contexto comunitario local, evidenciando que se requiere de un cambio muy drástico, en el que el diseño medie en el proceso para dar un uso de provecho a estos recursos.

3.2. Desarrollos adelantados desde el diseño

Una revisión del estado del arte evidenció que se han venido adelantando desarrollos tecnológicos en torno al aprovechamiento de los residuos agroindustriales del plátano vinculados a la industria y al diseño de productos. Dichos desarrollos demarcan la versatilidad y potencial de uso que tienen estas materias primas para el desarrollo de productos sostenibles, pues representan un recurso abundante, barato y de fácil acceso que, de contar con alternativas para su aplicación mediadas por el diseño, darían campo a la creación de productos con un alto valor agregado que promuevan dinámicas de desarrollo sostenible para la agroindustria y las comunidades que dependen de esta actividad económica.

En este sentido, se vienen adelantando investigaciones en distintos campos del conocimiento que le apuntan a dar un uso provechoso a estos remanentes agrícolas en productos de valor para el mercado. Dentro de estas propuestas adelantadas, destaca los avances en biomateriales y biocompuestos a partir del aprovechamiento de estos remanentes agrícolas (Velasteguí, 2017; Pedraza, 2019). Tendencias en materiales biobasados que perfilan nuevas propuestas de materiales alternativos y sostenibles desde el aprovechamiento de los residuos agrícolas a fin de reducir la brecha tecnológica que existe entre el campo y la tecnología, facilitando el aprovechamiento de los recursos, en escalas pequeñas y medianas de baja complejidad tecnológica (Buraglia, 2021).

Por otra parte, dentro de los usos que les han dado las comunidades a estas materias orgánicas destaca su uso en artesanías, elaborando desde bolsos, sombreros, hasta canastos. Comunidades conformadas principalmente por asociaciones de mujeres emprendedoras, han aprovechado estos recursos agrícolas desperdiciados para crear artesanías con un gran valor, generando sustento económico para sus familias (Garavello, 2008). Una tradición artesanal que se arraiga desde 3 generaciones atrás, como un compendio de técnicas y procesos artesanales que sigue viva en regiones de Colombia, Costa Rica, Ecuador y Nicaragua (Artesanías de Colombia, 2015). Sin embargo, por su concepción artesanal, los productos tienden a ser rústicos, con diseños repetitivos y sin el tratamiento adecuado para resaltar las cualidades de esta materia prima (Torres, 2013).

Ahora bien, desde el área del diseño, se han venido adelantando propuestas de aprovechamiento desde el diseño de productos, entre los que destacan: mobiliario, accesorios, vestuario, zapatos, chapillas, papeles de colgadura, entre otros (Chiappe, 2019). Lo que denota una preocupación del diseño por brindar alternativas que den un uso provechoso a estas materias primas agrícolas, desde escenarios donde se promueva una gestión más eficiente de los residuos, estableciendo alternativas más sostenibles para su uso, cerrando los ciclos de recursos y abriendo nuevos mercados para el sector que rentabilicen la poscosecha del plátano.

La integración del diseño desde la transdisciplina⁴ ha contribuido a la generación de nuevos desarrollos tecnológicos en el campo de los materiales, así como a la creación de laboratorios enfocados en biomateriales y biofabricación que integran nociones del diseño. Particularmente en el caso de Latinoamérica, se han venido desarrollando laboratorios especializados que buscan incentivar la investigación y la innovación en materiales, laboratorios como Biofab UC, NBD o Labva en Chile, plataformas de acceso libre como Materiom, o incluso empresas como Envés en Colombia, ejemplifican el interés en generar una nueva Cultura Material sustentada en la relación simbiótica entre la abundancia y la diversidad natural, bajo la filosofía de aprovechamiento de los recursos locales para emplearlos en materiales regenerativos que sean inclusivos para las comunidades (Labva, 2019; Biofab, 2019).

El análisis de tendencias en el marco de los desarrollos a futuro en el campo de materiales sugiere una transición a sistemas regenerativos y sostenibles bajo nuevos modelos productivos y de concepción de la materialidad. Plantea una conexión simbiótica entre el entorno natural y el entorno artificial a través de propuestas que exploran nuevas propiedades y capacidades de los materiales desde el diseño y la multidisciplinariedad. Esto sugiere, además, una nueva era de cambio de paradigma en un mundo post plástico, mediada por la bio-fabricación de materiales, donde se co-cree con la naturaleza a través de sistemas resilientes en los que se cosechen materiales y de mano de la tecnología se potencien y diseñen las características mismas de los materiales del futuro proponiendo una nueva visión de la materialidad desde una perspectiva más holística y sistémica.

⁴ La transdisciplina es un enfoque que busca abordar problemas complejos trascendiendo las fronteras de las disciplinas académicas tradicionales. Se caracteriza por la integración de conocimientos de múltiples campos, la colaboración entre expertos, el enfoque en problemas del mundo real, la consideración de aspectos culturales y sociales, promoviendo el diálogo interdisciplinario en busca soluciones holísticas para desafíos globales y multifacéticos (Espina, 2007).



04

4. Estrategia Metodológica

4.1. Enfoque metodológico de la investigación

Para abordar la investigación, se empleó una propuesta metodológica de tipo mixta bajo un estudio exploratorio y descriptivo, basado en un abordaje documental, experimental y de estudio de campo, orientado por un trabajo en articulación con pequeños plantíos de plátano en la región de Tabasco, México.

Para ello, desarrolló un trabajo interdisciplinario, que vinculó al diseño con

distintos campos de conocimiento, entre los que destacan: la biología, la antropología, la agronomía, la ingeniería de materiales, entre otros. En este sentido, como eje transversal del proyecto, se adoptaron metodologías y técnicas de investigación vinculadas al diseño. Apropiando de cada una, herramientas y métodos pertinentes para la investigación que enriquecieron el desarrollo del proyecto a fin de englobar una visión holística y sistémica del problema que permita proponer una respuesta acorde desde el diseño

Enfoque Mixto

El abordaje metodológico de la investigación se basó en un enfoque de tipo mixto, sustentado en un diseño concurrente que entrelaza la visión de la investigación cuantitativa y la visión de la investigación cualitativa, a partir de un proceso sistemático de recolección, análisis e interpretación de datos para favorecer una perspectiva amplia y profunda de fenómenos específicos (Hernández, 2010; Ortega, 2018), neutralizando los sesgos inherentes que pueden existir en cada metodología (Creswell, 2014) y fundamentándose en el pragmatismo, desde una búsqueda de soluciones prácticas acordes a la investigación y su contexto particular que generen una teoría inductiva que soporte la formulación teórica o hipótesis conceptuales sobre un área de conocimiento (Glaser, 1992).

Esta metodología se sustenta en un análisis de datos para generar categorías con mayor o menor nivel de abstracción, dicha recolección de datos puede darse por la transcripción de entrevistas semi-estructuradas, grupos de discusión, observación participante o la información digitalizada (imagen, video, sonido) (Carrero, 2012), de forma que se puedan combinar dos o más fuentes de datos, utilizando estrategias múltiples o mixtas para responder a las preguntas de investigación y/o comprobar hipótesis (Driessnack, 2007).

En el marco de la investigación, se propuso un estudio basado en metodología mixta pues se pretende comprender y caracterizar el aprovechamiento de los residuos agroindustriales del plátano dentro del contexto de comunidades rurales mexicanas para lo que se requiere la adquisición de datos a través de metodologías cualitativas y cuantitativas de forma convergente para su análisis individualizado que permita conocer el contexto que enmarca al sector platanero y a las comunidades rurales mexicanas. Con ello fue posible trabajar en el desarrollo de un nuevo biomaterial aplicado al diseño de productos de valor para el sector agrícola, como una forma de potenciar el uso de la materia prima agrícola desechada y promover una gestión más eficiente de los residuos agrícolas del sector platanero.

4.2. Metodología

Método experimental

Dentro de la metodología mixta propuesta, se realizó la recolección de información cuantitativa para recabar información sobre las variables dentro del contexto particular de las comunidades rurales mexicanas y plantíos de plátano en regiones de México. Para ello, se utilizó un abordaje metodológico que consistió en la recolección de datos a través de técnicas cualitativas y cuantitativas en comunidades de agricultores.

Para el caso particular de la investigación, como parte de la recolección de datos para contextualizar la situación de la agroindustria platanera en regiones de México, se observó la generación de residuos agrícolas en el sector platanero y los procesos de aprovechamiento de estas materias primas desde contextos locales. Esto se realizó a través de un trabajo de campo en pequeños plantíos de plátano en el que se logró:

1. Obtener información cuantitativa sobre el volumen del residuo
2. Obtener información cualitativa sobre el impacto generado por el residuo
3. Determinar la escala de producción a partir de esa información.
4. Revisar usos de los residuos dentro del cultivo

Herramientas de recolección de información

Para llevar a cabo la investigación, se tomó como punto de partida un estudio de caso particular. Esta decisión metodológica permite la contextualización del estudio, de manera que sea posible mapear la situación actual respecto al manejo y gestión de los residuos agroindustriales de la postcosecha del plátano. Por lo anterior, el trabajo de campo se ha realizado en la región sureste de México, particularmente en la región de Tabasco, en el estado de Teapa.

Como se mencionó anteriormente, el procedimiento de la investigación siguió un enfoque mixto con diferentes fases:

- 1. Investigación en campo**
 - a. Fase 1: Recolección de información sobre la gestión de residuos agrícolas
 - i. Cuestionario
 - ii. Entrevistas virtuales
 - b. Fase 2: Trabajo de campo
 - i. Análisis y síntesis de información
- 2. Investigación experimental**
 - a. Trabajo en laboratorio

Para ello, se propuso un sondeo general en la región sureste de México, para luego enfocar el estudio en un estado de la región de Tabasco. Se propusieron dos fases:

- 1. Cuestionario virtual sobre la gestión de residuos agrícolas:** Medición de la percepción sobre el manejo de los residuos sólidos orgánicos dentro de la industria platanera.
 - **Formulario virtual** a directivos, productores y personas del sector.
- 2. Entrevistas virtuales y contextuales (semi-estructuradas):** Diálogo con directivos y personas con amplia experiencia en el sector, sobre los residuos agrícolas y su manejo, percepciones, visiones a futuro del sector, proyectos y viabilidad de la investigación.
 - **Entrevista virtual preliminar** directivos y agremiaciones
 - **Entrevista contextual** agricultores, comunidad aledaña

1. Cuestionario virtual sobre la gestión de residuos agrícolas

Como un mapeo preliminar del sector platanero en la región sureste de México, se recolectó información sobre la gestión y manejo de residuos agrícolas poscosecha del plátano. Para ello se empleó un cuestionario virtual que se divulgó con productores, agremiaciones y partes interesadas del sector platanero en el sureste de México con el fin de sondear la situación actual

en el sector y contrastar la información obtenida con la información documentada, así como revisar qué se ha hecho en algunos estados de la región y encontrar los avances, similitudes y problemas en común.

2. Entrevistas virtuales y contextuales (semi-estructuradas):

Como una fase posterior a los cuestionarios, se llevaron a cabo algunas entrevistas con directivos y personas con amplia experiencia en el sector, para conocer desde su visión la situación actual en sus organizaciones respecto la gestión de residuos. Así mismo, otro objetivo fue evaluar la viabilidad de desarrollar el proyecto investigativo y revisar el interés del sector por temas de sostenibilidad y aprovechamiento de residuos. Este primer acercamiento con los directivos también permitió crear conexiones para llevar a cabo el trabajo de campo.

Variables del estudio

Para el análisis se utilizaron variables de tipo cuantitativo y cualitativo, debido a la necesidad de recopilar información sobre el manejo y disposición de los residuos generados en la postcosecha de plátano en la región de Tabasco, por lo que la información tuvo que ser cuantificable y apta para el tratamiento estadístico, además de descriptiva para identificar los problemas de gestión de residuos sólidos y la percepción de las partes interesadas.

- *Información cualitativa:* Capacidades productivas, conocimiento del personal, cargo en la empresa, variedad utilizada, problemas sanitarios, asistencia productiva, sistemas de riego, nacimientos de agua, áreas de protección, condiciones laborales.
- *Información cuantitativa:* Área del cultivo (ha), número de plantas (ha), producción promedio (semanal), productividad, personas que trabajan en el cultivo, y núcleos familiares que viven del cultivo.

1. Estudio de campo en plantaciones

Para llevar a cabo la recopilación de información sobre los residuos producidos en los cultivos de plátano de regiones de México, se llevó a cabo un estudio de campo en pequeñas plantaciones de plátano en regiones de México, articulado con una revisión documental, para conocer de mano propia el problema dentro del contexto particular.

La información recolectada permitió determinar los productos, subproductos y residuos del plátano en los periodos de cosecha y postcosecha en los cultivos. Con base en estos datos se identificó el potencial productivo y de aprovechamiento que tienen estos remanentes agrícolas para el sector y para las comunidades aledañas, a través de productos de valor que puedan generar nuevos ingresos económicos para los productores y sus familias.

Análisis y síntesis de información

Después de la recolección de datos en campo y de forma virtual, se realizó un análisis de información y síntesis, perfilando la información hacia las potencialidades de creación y diseño en relación con los posibles escenarios futuros. Para ello se tomó en consideración los escenarios con

especial foco en el desarrollo de productos de valor para el sector agrícola y, a partir de allí, se determinaron las características esperadas para los materiales respecto a las aplicaciones que se buscaban.

2. Investigación experimental

Articulado con el trabajo de campo en fincas plataneras, se realizó un estudio experimental con el material donde se exploraron las propiedades de las materias primas encontradas y se revisaron alternativas para la extracción de fibras de los residuos agrícolas postcosecha del plátano a través de procesos de baja complejidad tecnológica.

Se desarrolló un estudio experimental en laboratorio donde se exploraron las propiedades de la materia prima extraída de los remanentes agrícolas, a través de la experimentación con variaciones de los agregados y pruebas con las fibras, para ser testeadas en un entorno controlado que permita caracterizar sus propiedades físicas y mecánicas, evaluando la viabilidad del material para ser aplicado en productos de valor de producción local.

Etapas para desarrollar materiales desde un contexto local

1. Aproximación al contexto

Planificación previa a la visita. Se investigaron los ecosistemas existentes, las distintas especies, los recursos antropogénicos, las comunidades y culturas nativas así como también las industrias y actores relevantes en el territorio. Fue necesario anticipar todo el equipo requerido para la zona y los distintos procesos de fabricación.

2. Recolección de muestras

Una vez en el territorio, se realizaron visitas a los cultivos plataneros para la recolección de materia prima residual que se encontró in situ, caracterizando los distintos tipos de residuos producidos por la poscosecha de plátano.

3. Preparación de los materiales

Una vez obtenida la materia prima, se evaluaron métodos para la obtención de las fibras del plátano a partir de los residuos agrícolas, en este caso, del pseudotallo a través de distintos métodos a fin de seleccionar el más apropiado y eficiente.

4. Experimentación material

Se realizaron estudios experimentales a partir de la fibra obtenida para el desarrollo de un material que pueda aplicarse a productos de valor para la industria agrícola. Ello como una alternativa sostenible para mejorar la gestión de los residuos agroindustriales de la industria platanera y potenciar el aprovechamiento de los recursos locales bajo filosofías de cero desperdicio y economía circular



05

5. Hallazgos y resultados

5.1. Investigación de campo: Recolección de información

i. Cuestionario virtual sobre la gestión de residuos agrícolas

En el cuestionario participaron 15 personas que trabajan o están vinculadas al sector platanero en la región de Tabasco, principalmente directivos y agricultores de pequeñas y medianas empresas productoras

de plátano. Los resultados que se obtuvieron mostraron un panorama general de las prácticas que se realizan en el sector y particularmente, cómo se da la gestión de residuos agrícolas dentro de las empresas. Esta información, si bien no representa la realidad concreta del contexto regional, da un primer acercamiento a las dinámicas locales y permite corroborar o cuestionar la información documental encontrada.

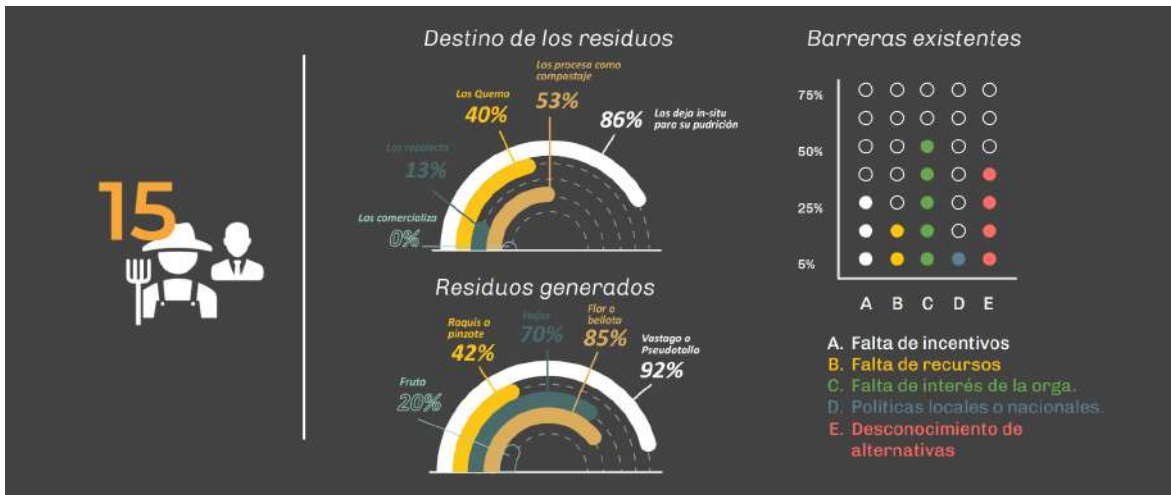


Fig. 21. Resultados del cuestionario virtual. Elaboración propia.

Dentro de los hallazgos importantes que arrojó el cuestionario (Fig. 21), destaca que, según los encuestados, el destino que tienen los residuos es principalmente como desecho o composta del cultivo y que es muy poco el porcentaje que se recolecta y nulo el que se comercializa. De igual forma, la mayoría confirma que el pseudotallo es el residuo que más se genera en la postcosecha. Y que algunas de las razones o barreras que limitan el aprovechamiento de estos residuos, se hallan en el desconocimiento de alternativas para su uso y la falta de interés por parte de las organizaciones, en algunos casos por la falta de incentivos o beneficios que se pueda ver estas materias primas.

El cuestionario (Anexo A) permitió sondear la importancia que se le da a los residuos y su tratamiento, para evaluar la viabilidad de desarrollar un proyecto que aporte al desarrollo local de la región que pueda ser aceptado e integrado dentro del contexto productivo para dinamizar la oferta de productos del campo para la industria. Y si bien para la mayoría de los encuestados los residuos no tienen mayor valor, un gran porcentaje se mostró abierto e interesado en integrar procesos de aprovechamiento de los residuos agrícolas dentro de su cadena productiva, en tanto genere un beneficio notable en su producción o económicamente.

ii. Entrevistas virtuales

Las entrevistas virtuales se llevaron a cabo con directivos de dos empresas productoras de plátano en Tabasco, con ellas se pudo ver más a detalle las prácticas que se han venido realizando dentro del proceso productivo del plátano, se dialogó sobre los problemas que enfrenta el sector, el funcionamiento de la cadena de valor, las personas involucradas y las conexiones que existen dentro de todo el proceso productivo. También se habló sobre los proyectos productivos que se esperan implementar en la región y particularmente, sobre los residuos agrícolas, su gestión y manejo.

Las entrevistas sirvieron para conocer de voz propia de los productores como se percibe el problema de gestión de residuos agrícolas postcosecha, adicionalmente revisar otros factores que pueden influir en cómo se han venido dando las prácticas productivas en el sector. Dentro de los

hallazgos importantes, destaca el hecho de que muchas de las prácticas que se realizan, están condicionadas por el mercado y la competencia directa entre productores de la región. En este sentido, la producción se ha venido dando en función de minimizar costos, pero garantizando la mayor calidad posible. De esta forma, un gran porcentaje de la inversión se sustenta en el cuidado y mantenimiento del cultivo, a través de la fertilización, el control de plagas y el control de maleza, así como la poda y el riego. Aun así, no se invierte ni se prioriza la gestión de residuos, pues no es un problema al que le prestan mayor atención.

Los productores se mostraron abiertos a la posibilidad de implementar proyectos que mejoren el aprovechamiento de los residuos agrícolas en sus empresas, pues representaría un beneficio tanto económico como ambiental para sus cultivos. Lo que denota la viabilidad de implementar proyectos sostenibles dentro del sector para rentabilizar la postcosecha y potenciar el valor de las materias primas desechadas.

5.1.1. Visita de campo al caso de estudio

Como parte de la contextualización de la investigación, se realizó un trabajo de campo en una de las empresas productoras de plátano en la zona Centro de Tabasco, donde se documentó los procesos productivos, el contexto y la gestión de residuos agrícolas. Con el apoyo del director de la empresa se recorrieron las plantaciones y se conoció de mano propia el trabajo al interior de estas empresas. Se habló con los agricultores y directivos sobre la situación en el sector, los problemas y preocupaciones, así como la viabilidad de desarrollar un proyecto productivo que aproveche los residuos agrícolas de la postcosecha.

La visita de reconocimiento a las plantaciones permitió contrastar la información documentada frente a la que se encuentra en el contexto, evaluando la pertinencia de implementar un proyecto productivo vinculado a la cadena de valor del sector platanero. De igual forma, permitió identificar actores clave en la región, así como los vínculos entre las empresas y la importancia que tiene esta industria para la economía local.

El objetivo de esta visita fue conocer el contexto actual de la agroindustria platanera en pequeñas plantaciones de plátano en la región de Tabasco, analizando la cadena productiva desde la producción hasta la gestión de los residuos agrícolas, a fin de evaluar la viabilidad de desarrollar proyectos que encaminen al sector platanero en México a prácticas sostenibles de aprovechamiento de los residuos agrícolas. Específicamente se cumplieron los siguientes objetivos:

- Identificar la percepción de los actores involucrados respecto al manejo, gestión y aprovechamiento de los residuos agroindustriales.
- Evaluar la importancia que se le da a proyectos que buscan encaminar a la agroindustria platanera a prácticas sostenibles.
- Conocer el interés de agremiaciones y productores en desarrollar proyectos que beneficien a la comunidad desde la optimización de los recursos locales.

- Revisar el valor que se le da a innovaciones desde el contexto local y la viabilidad de apropiarse dentro del modelo productivo actual agrícola.

Caso de estudio

Villahermosa, Tabasco - México

Medianos Productores (22 hectáreas de cultivo)

Variedad: Plátano Macho

El caso de estudio es una empresa familiar con más de 18 años de experiencia en el sector platanero, dedicada a la producción de plátano macho para el mercado nacional. Se encarga de la siembra, el cultivo y la cosecha, destacan en el sector por la calidad de su producto y sus procesos limpios, pese a no ser una empresa de producción a gran escala, ha tenido un crecimiento significativo en los últimos años, pasando de 5 a 22 hectáreas en la última década, abarcando terrenos en cercanías de Villahermosa y Cunduacán.

Al interior de uno de los corregimientos aledaños a Villahermosa - Tabasco, se ubica uno de los cultivos de la empresa de estudio (Fig. 22) rodeado de otros pequeños y medianos productores de plátano y banano, en este sector se ubican tres de las cinco áreas de cultivo de la empresa, las cuales están clasificadas por tiempo de cultivo y variedad. Al ser un cultivo que se produce todo el año, diariamente se realiza mantenimiento, limpieza, fertilización y cosecha. Para ello, la empresa cuenta con 15 personas encargadas de estos procesos, 9 en los cultivos de Cunduacán y 6 en los cultivos del Centro. En temporadas de alta producción este número tiende a casi duplicarse.



Fig. 22. Visita en campo, plantaciones de plátano - Tabasco. Fotografía propia

Contexto de la región

La región central de Tabasco, México, se encuentra en una zona de gran importancia económica, social y ambiental debido a su riqueza natural y a su ubicación estratégica. Su economía se basa

principalmente en la agricultura, la pesca y la industria petrolera. La agricultura es la principal actividad económica, y los cultivos más importantes son el plátano, la caña de azúcar, el cacao y el maíz. La pesca es también una actividad importante, especialmente en la costa de la región. Además, la industria petrolera tiene una gran presencia en la región, ya que se encuentra en ella el complejo petrolero más grande de México. Esta industria es importante para la economía local y regional, pero también ha tenido impactos negativos en el medio ambiente y la salud de las comunidades.

Su población es diversa, la región está habitada por población indígena y no indígena, con la presencia de diversos pueblos originarios. La región ha experimentado un rápido crecimiento demográfico en las últimas décadas, lo que ha dado lugar a una serie de retos sociales, como la pobreza, la falta de acceso a servicios básicos, la violencia y la migración. Además, la región ha sido afectada por desastres naturales como inundaciones y huracanes, que han tenido un impacto negativo en las comunidades y su desarrollo (CENAPRED, 2022).

La región se encuentra en una zona de gran riqueza natural, con una amplia variedad de ecosistemas como selvas tropicales, manglares, ríos y lagunas. Sin embargo, estas áreas han sido afectadas por la deforestación, la contaminación y el cambio climático, lo que ha tenido un impacto negativo en la biodiversidad y en la calidad de vida de las comunidades locales. Además, la actividad petrolera ha tenido impactos negativos en el medio ambiente, como la contaminación del aire, el agua y el suelo, y ha afectado la salud de las personas que viven en la región (Lievano, 2019).

Contexto del cultivo

La empresa está ubicada en la región central de Tabasco, a los alrededores de Villahermosa y Cunduacán, una zona dedicada principalmente a la agricultura y la ganadería, motor de desarrollo socio-económico local, brinda empleo a gran parte de la mano de obra de la región. Por su clima tropical húmedo se generan las condiciones propicias para el cultivo de plátano, por lo que es de los frutos con mayor área cultivada de la región. Las variedades que predominan son el plátano macho y el banano guineo por sus características que facilitan el cultivo y comercialización.

En la región se concentran una gran cantidad de pequeñas y medianas empresas productoras de plátano. Son pocas las empresas que producen a gran escala, pues éstas se ubican en cercanías de Teapa, principalmente. Pese a la gran cantidad de empresas, no existen vínculos entre ellas, pues en la región no se han creado asociaciones de productores de plátano, por lo que cada una trabaja independientemente. Tampoco existen apoyos por parte del gobierno, lo que conlleva que cada empresa deba mantenerse por su cuenta aún en temporadas de baja cosecha.



Fig. 23. Racimos de plátano cosechados. Fotografía de la empresa



Procesos Productivos

La producción de plátano es relativamente sencilla y corta en tiempos, su siembra se da por hijuelos (pequeños vástagos) y su crecimiento puede tardar entre 9 y 12 meses, una vez da su primer racimo, puede seguir produciendo frutas cada 2 o 3 meses durante varios años, dependiendo de las condiciones del cultivo. Las plantas requieren de cuidado y atención regular, su mantenimiento puede realizarse cada 2 o 4 semanas, dependiendo de las necesidades específicas de la plantación. Lo principal para mantener las condiciones óptimas para el cultivo son la fertilización, el control de plagas y el control de maleza, así como la poda y el riego.

Fig. 24. Cultivos de plátano en la empresa. Fotografía propia

Una vez que el cultivo alcanza su madurez fisiológica, es decir, cuando los frutos han alcanzado su tamaño completo, están firmes y próximos a cambiar de color, se realiza la cosecha del racimo, para ello se corta en x en la parte superior de la planta para que ésta se doble; una vez doblada, se corta el racimo y se corta la parte del tallo donde se dobló, quedando en el suelo con las hojas. No se corta más abajo de la marca para conservar los nutrientes de la planta que se puedan pasar al hijo en crecimiento.

Pese a ser un cultivo que se da todo el año, la planta es sensible a los cambios climáticos por lo que existen temporadas en las que aumenta o disminuye la producción, cuando es primavera o verano aumenta y para invierno y otoño disminuye. Aun así, la producción es constante y todo el año se trabaja en el cultivo. Luego de su cosecha, se recogen los racimos a granel sin separar para ser llevados donde el distribuidor. La empresa cuenta con un distribuidor local que se encarga de llevar la producción a las centrales de abasto de Tabasco, donde se comercializa por la región. También se distribuye a otras ciudades como Puebla y Toluca.



Fig. 25. Pseudotallo después de la cosecha. Fotografía propia.

La producción estimada de la empresa es de unas 15 a 20 toneladas semanales, dependiendo de la temporada. Cuando es zarga alta o de alta producción en la región, los precios disminuyen y se dificulta la comercialización, por lo que un porcentaje de lo que se produce se desecha o se regala. De igual manera, cuando atacan enfermedades a los cultivos se debe desechar la producción, es

por ello la importancia del control de plagas con fumigaciones preventivas de fungicidas e insecticidas. Para esto, la empresa se apoya de ingenieros agrícolas que orientan sobre los procesos y cuidados del cultivo. Aun así, en otras empresas cuando no hay suficiente mantenimiento es común que se vea afectada la producción.



Fig. 26. Transporte de los racimos para su distribución. Fotografía de la empresa



Fig. 27. Troncos (Pseudotallo) de plátano abandonado en el cultivo. Fotografía propia

Gestión de Residuos

La gestión de residuos en la empresa y en general en las pequeñas y medianas empresas de plátano del sector se centra en la reducción de residuos, la reutilización y el reciclaje. Si bien de momento no son prácticas tan implementadas en la región, el sector se ha venido preocupando por implementar procesos sostenibles que cuiden el ambiente y garanticen unas condiciones óptimas para el cultivo.

Una práctica común en la región de Tabasco es la reutilización de los residuos agrícolas para el compostaje. Los residuos orgánicos, como las hojas y los tallos de los plátanos, se utilizan como materia prima para la producción de compost. El compost se utiliza para mejorar la calidad del suelo, reducir la necesidad de fertilizantes químicos y reducir la cantidad de residuos que se eliminan.

Muchos productores han adoptado una agricultura de conservación, que implica dejar los residuos orgánicos en el campo después de la cosecha. Los residuos orgánicos proporcionan nutrientes al suelo y ayudan a mantener la humedad, lo que reduce la necesidad de riego. Así mismo ayuda a controlar el crecimiento de maleza y mantiene más limpio el cultivo.

Otra práctica común es el uso de residuos agrícolas como alimento para el ganado. Los tallos de los plátanos, que son desechados principalmente por las empresas bananeras, se pueden utilizar como alimento para el ganado, reduciendo la cantidad de residuos que se eliminan y proporcionando una fuente de alimento para los animales. Aún así al no ser una práctica tan implementada, muchos de los residuos terminan siendo desechados a orilla de carretera en espera que alguien los tome o simplemente se descompongan.



Fig. 28. Residuos postcosecha abandonados en el cultivo. Fotografía propia.



En algunas pequeñas plantaciones de plátano en Tabasco, los residuos agrícolas se queman para reducir su volumen y facilitar su eliminación. Sin embargo, esto puede tener un impacto negativo en el medio ambiente debido a las emisiones de gases de efecto invernadero.

Es importante destacar que en México existen regulaciones ambientales y de gestión de residuos que se deben cumplir en la producción agrícola, como la ley para la prevención y gestión integral de los residuos (PROFEPA, 2015), incluyendo la gestión adecuada de los residuos agrícolas. Además, existen programas de capacitación y asesoramiento técnico para los productores agrícolas para fomentar prácticas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente en la producción agrícola. Sin embargo, en esta región de Tabasco no existen tales apoyos ni controles para que se realicen buenas prácticas agrícolas, el conocimiento es empírico y los procesos se han estandarizado con el tiempo y la experiencia de los agricultores.

Fig. 29. Raquis de plátano abandonados para su descomposición. Fotografía propia.

5.1.2. Identificación de principales problemáticas y posibles oportunidades

A partir del trabajo de campo se pudo observar de mano propia de los agricultores y del contexto cómo se desarrolla el sector agrícola desde sus procesos, actores y entornos, permitió entender a mayor profundidad la problemática que enfrentan con el manejo de los residuos sólidos orgánicos y evaluar la viabilidad de implementar proyectos que optimicen los recursos naturales locales. De igual forma, ayudó a comprender las dinámicas que el sector ha desarrollado para mitigar los impactos al ambiente y al cultivo, así como la importancia de implementar prácticas sostenibles que salvaguarden los recursos y optimicen los procesos agrícolas.

En este sentido y a partir de la revisión del contexto, dentro de las acciones puntuales que se podrían tomar para mejorar el aprovechamiento de los residuos agrícolas del plátano desde el contexto local en la región de Tabasco, destacan:

1. Promover la formación de cooperativas o grupos de productores locales para la gestión de residuos agrícolas. Estos grupos podrían establecer sistemas de recolección y almacenamiento de residuos para su posterior uso en la producción de abono orgánico o su venta a empresas de compostaje.
2. Fomentar la implementación de sistemas agroforestales y agroecológicos que permitan el uso de los residuos de la producción de plátanos como abono orgánico para los cultivos. Estos sistemas no solo mejorarían la gestión de residuos, sino que también mejorarían la calidad del suelo y aumentarían la diversidad de cultivos en las fincas.
3. Explorar el uso de tecnologías de biotecnología o bioprocesamiento para la transformación de los residuos agrícolas del plátano en productos de mayor valor agregado, como biocombustibles, materiales de construcción, papel, entre otros.
4. Desarrollar programas de capacitación y asesoramiento técnico para los productores agrícolas locales sobre la gestión adecuada de residuos y prácticas sostenibles en la producción agrícola.
5. Promover la creación de incentivos económicos para la gestión adecuada de residuos, como exenciones fiscales o subsidios para la implementación de prácticas sostenibles.

Estas medidas podrían no solo mejorar la gestión de residuos agrícolas del plátano a nivel local, sino que también podrían generar beneficios económicos y ambientales a largo plazo dentro de la economía local y para el sector. Por otra parte, desde la industria y el diseño también se pueden hacer importantes aportes para mejorar el aprovechamiento de los residuos agrícolas del plátano. Algunas alternativas que se buscaría implementar son:

1. Investigar y desarrollar tecnologías innovadoras que permitan la transformación de los residuos agrícolas del plátano en productos de mayor valor agregado que beneficien al sector y a la economía local.

2. Fomentar la implementación de sistemas de economía circular en la cadena de suministro, mediante la reutilización de los residuos de la producción de plátanos en la fabricación de nuevos productos.
3. Promover el uso de prácticas sostenibles en la producción de plátanos, como la gestión adecuada de residuos, la implementación de sistemas agroforestales y la reducción del uso de agroquímicos y pesticidas, entre otros.
4. Desarrollar estrategias de logística inversa para la recuperación y reutilización de los residuos de plátano generados en la cadena de producción y distribución.
5. Establecer alianzas estratégicas entre la industria y los productores agrícolas para el aprovechamiento conjunto de los residuos agrícolas del plátano, generando así sinergias y oportunidades de negocio para el sector
6. Desarrollo de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico que promuevan el aprovechamiento sostenible de los residuos agrícolas del plátano que generen sinergias y oportunidades de negocio

Estas medidas podrían contribuir a mejorar la gestión de residuos agrícolas del plátano desde una perspectiva industrial y de diseño, a la par que podrían generar beneficios económicos y ambientales a largo plazo, promoviendo una economía más circular y sostenible para la región.

5.1.3. Escenarios de Aportación dentro del contexto

A partir del análisis de los residuos agrícolas dentro del contexto particular de Tabasco y su potencial de aprovechamiento, se proponen mecanismos que articulen el uso de la materia prima agrícola desechada con procesos de transformación local bajo escenarios de ciclo cerrado que optimicen y aprovechen de los recursos locales con innovaciones que beneficien a los pequeños productores agrícolas de plátano en México.

La fibra de plátano del pseudotallo puede ser utilizada para desarrollar una amplia variedad de productos y aplicaciones, para el proyecto se buscaron aportaciones desde el contexto local en donde se puedan producir y utilizar las fibras de los residuos agrícolas. Con ello, cerrar el ciclo abierto de residuos en el sector platanero y aportar al desarrollo económico, social y ambiental de la región agrícola del sur de México

1er escenario: Control de erosión del suelo

El cambio climático ha afectado en gran medida a la región de Tabasco, que en los últimos años ha sufrido una degradación ambiental drástica, al ser una zona costera, se ubica en un sector de alta vulnerabilidad que ha sufrido alteraciones hidrológicas, degradación, contaminación y erosión de

los suelos, lo que se traduce en el aumento del número de tormentas severas y en algunos puntos períodos de sequía extremos y prolongados (Lievano, 2019). A esto se suma que al ser una región con cultivos intensivos, la erosión del suelo puede ser un problema en aumento para los productores de plátano por factores como la deforestación, la falta de cobertura vegetal y la práctica de la agricultura intensiva sin medidas de conservación del suelo (SEG, 2020).

La erosión del suelo puede generar diversos problemas para los agricultores, como la pérdida de nutrientes, la disminución de la capacidad de retención de agua, la pérdida de la capa vegetal, el aumento de la escorrentía y la degradación del suelo a largo plazo. Estos problemas pueden afectar la producción de cultivos, la calidad del suelo y la sostenibilidad de la agricultura. Por ello es importante implementar prácticas agrícolas sostenibles y medidas de conservación del suelo para evitar o mitigar su erosión en las zonas de cultivo.

El uso de la fibra de plátano puede ayudar a prevenir la erosión del suelo de varias maneras. Debido a su estructura fibrosa, la fibra de plátano puede retener la humedad del suelo y mejorar su capacidad para retener nutrientes y agua. Por ello, la fibra de plátano puede ser utilizada como un material de cobertura del suelo, creando una capa protectora que ayuda a retener la humedad y reducir la erosión provocada por el viento y la lluvia.

De igual forma, la fibra de plátano puede mejorar la estructura del suelo y aumentar su capacidad de retención de agua, lo que puede reducir la erosión del suelo al evitar la escorrentía superficial. Tomando en consideración que la fibra de plátano se descompone lentamente, se puede proporcionar una capa de materia orgánica en el suelo que ayuda a mejorar su estructura y retención de agua. Así como en algunos casos se puede utilizar para estabilizar laderas y taludes, lo que reduce la erosión causada por la escorrentía del agua.

Algunas soluciones técnicas existentes que han sido desarrolladas en diferentes contextos y con diferente materia prima se describen a continuación. Estos conceptos pueden ser útiles para contribuir al proceso de desarrollo del producto de la presente investigación puesto que han probado principios que funcionan en general para el sector agrícola.

Mantas orgánicas para la erosión

Una de las alternativas que actualmente se usan para hacer frente al problema de la erosión es la aplicación de la cobertura vegetal en el suelo, esto tiene múltiples efectos beneficiosos para las zonas de cultivo pues aumenta la rugosidad del lecho, lo que reduce la velocidad de la escorrentía y facilita la infiltración del agua durante las lluvias. Esto, a su vez, contribuye a amortiguar la temperatura del suelo al evitar que los rayos solares incidan directamente sobre él y reduce la evaporación del agua retenida, actuando como un efecto *mulching*. También promueve la actividad microbiana y el intercambio catiónico en el suelo. Por último, crea condiciones favorables para la germinación y el arraigo de las plantas, lo que beneficia la implantación de la vegetación (Contreras, 2003). Por lo que resulta una alternativa viable para desarrollarse dentro del contexto de la investigación, considerando las condiciones y los recursos locales disponibles.

2do Escenario - Sustratos para suelos

Los agricultores a menudo enfrentan problemas con los fertilizantes y sus costos para los cultivos. Los fertilizantes químicos pueden ser costosos, especialmente para los agricultores de bajos recursos que pueden no tener los medios para comprar grandes cantidades de fertilizantes. A esto se suma que el uso excesivo de fertilizantes químicos puede tener un impacto negativo en el medio ambiente y en la salud de las personas. Cuando los fertilizantes son aplicados en exceso, pueden filtrarse en las aguas subterráneas y los cuerpos de agua cercanos, lo que puede provocar la eutrofización y dañar los ecosistemas acuáticos.

Bloques de sustrato

Una alternativa para minimizar el uso de fertilizantes químicos en la agricultura es el uso de bloques de sustrato, un medio de cultivo que se utiliza para cultivar plantas por hidroponía. Estos bloques pueden proporcionar una fuente de nutrientes naturales para las plantas. Además, su estructura porosa permite una buena aireación y drenaje, así como pueden ayudar a retener la humedad en el suelo, lo que puede reducir la necesidad de regar con frecuencia y mejorar la eficiencia del uso del agua (Projar, 2020).

Alfombra para Maleza

El uso de alfombras para maleza en la agricultura aporta una serie de beneficios significativos. Estas alfombras reducen o incluso eliminan la necesidad de quitar la maleza manualmente, lo que ahorra costos de mano de obra y mantiene las plantas en condiciones óptimas. Además, actúan como una barrera efectiva contra el crecimiento de malas hierbas, protegiendo los sustratos de la erosión. Regulan las fluctuaciones de temperatura en el suelo, manteniéndolo más fresco en verano y más cálido en invierno, lo que favorece a las raíces superficiales. También disminuyen la evaporación del agua, lo que extiende los intervalos entre riegos, y minimizan la pérdida de fertilizantes, previniendo la acumulación de sales en la superficie. En general, estas alfombras simplifican el trabajo y contribuyen al crecimiento saludable de las plantas (Plantalogic, 2021).

Dentro de estas aplicaciones, la fibra de plátano resulta una materia prima con alto potencial de aprovechamiento pues su estructura fibrosa, favorece la aireación y el drenaje, sumado a que es rica en nutrientes como potasio, calcio y magnesio, que son esenciales para el crecimiento de las plantas, por lo que resulta una alternativa ecológica y sostenible, ya que se producen a partir de un material renovable sin utilizar productos químicos ni fertilizantes sintéticos en su producción, al igual que se eliminan las emisiones por su transporte, lo que representa un ahorro para los agricultores.

3er Escenario - Embalajes para transporte

El embalaje es de gran importancia para el transporte y la comercialización del plátano. El plátano es una fruta muy delicada, por lo que necesita un embalaje adecuado para protegerlo durante el transporte y mantener su calidad para la comercialización. El embalaje del plátano tiene como

objetivo proteger la fruta durante el transporte, minimizar los daños físicos, y reducir las pérdidas postcosecha. Además, el embalaje también facilita el manejo y la distribución del plátano, asegurando que llegue al consumidor final en óptimas condiciones.

La fibra de plátano se puede utilizar como materia prima para la fabricación de embalaje, una alternativa sostenible a los materiales de embalaje convencionales hechos de plástico y papel de origen forestal. La fibra de plátano es un material abundante y renovable, y su uso en la fabricación de materiales de embalaje puede ayudar a reducir la cantidad de residuos plásticos y la tala de bosques. Además, los materiales de embalaje hechos de fibra de plátano pueden ser biodegradables y compostables, lo que significa que se pueden descomponer en el medio ambiente y no causan daño al ecosistema. Esto puede ayudar a reducir el impacto ambiental de los residuos de embalaje.

Estos productos agrícolas comparten un enfoque sostenible que busca mejorar el uso de los recursos locales y la calidad de los cultivos, brindando alternativas para hacer frente a problemas como la erosión, la eficiencia del agua y los altos costos de fertilizantes. Aprovechando los residuos agrícolas se propone el desarrollo de materiales sostenibles que reduzcan los costos y la dependencia de insumos externos, al tiempo que rentabilizan la postcosecha, minimizan el impacto ambiental y simplifican el trabajo de los agricultores.

5.2. Estudio experimental

La fase experimental tuvo como objetivo explorar las propiedades de las materias primas de la postcosecha del plátano para determinar las mejores alternativas para la extracción de fibras naturales y el desarrollo de nuevos materiales tipo aglomerado de las fibras del pseudotallo del plátano que puedan tener aplicaciones para la industria mexicana.

Se realizó un estudio en laboratorio para explorar las propiedades de la materia prima extraída de los remanentes agrícolas del plátano y evaluar en un entorno controlado los procesos y recursos necesarios para la obtención de aglomerados a partir de las fibras de plátano que posteriormente puedan ser testeadas según sus características físicas, químicas y mecánicas, para evaluar su uso dentro de la industria.

Fases del estudio

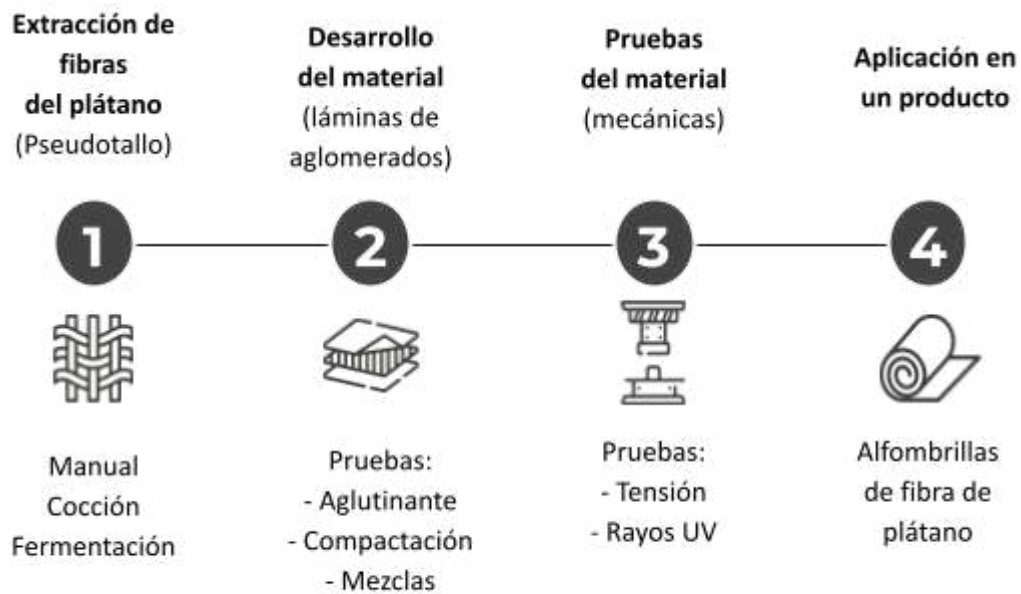


Fig. 30. Fases del estudio experimental. Elaboración propia.

La figura 30 describe las diferentes fases del estudio, en particular representa de manera esquemática el proceso experimental para la producción de la propuesta final.

5.2.1. Extracción de fibras del plátano

Como una primera fase del estudio, se evaluaron los métodos más eficientes y apropiados para la extracción de las fibras del plátano. Para ello, se tomó el pseudotallo, al ser el residuo que más se produce en la poscosecha. Se emplearon procesos de baja complejidad tecnológica que pudieran ser adaptados al contexto y se realizó una comparativa para determinar el más eficiente respecto a tiempos, recursos y calidad de la fibra obtenida. Se emplearon tres procesos para la extracción de las fibras: a) extracción manual; b) proceso de cocción; c) proceso de fermentación.

A. Extracción manual

Raspado manual: El raspado manual implica usar una herramienta como un cuchillo o espátula para raspar la corteza del pseudotallo y exponer las fibras. Una vez expuestas, las fibras se pueden separar del material no fibroso manualmente o con la ayuda de un peine metálico. Luego de ser lavadas y secadas al sol, ya pueden ser utilizadas.

A.1. Procedimiento

Para evaluar la extracción de fibras por método manual se tomó una muestra del pseudotallo recolectada en Tabasco de la variedad de plátano Macho. La muestra se conservó bajo refrigeración por una semana después de su corte. Se utilizó una espátula y un cepillo metálico para separar la fibra del material no fibroso (A).



Fig. 31. Instrumentos utilizados para la prueba de extracción manual. Elaboración propia

A.1. Procedimiento

<p>A.</p> 	<ol style="list-style-type: none">1. Con ayuda de la espátula se retiró la capa externa de la corteza del pseudotallo, exponiendo las fibras interiores. Se realizó por ambas caras de la muestra (A).
<p>B.</p> 	<ol style="list-style-type: none">2. Retirada la capa externa, se utilizó un cepillo metálico para raspar suavemente la superficie expuesta de las fibras, retirando el material no fibroso, cuidando de no dañar las fibras (B). Se repitió este proceso de raspado y separación


	<p>hasta quedar solo la fibra expuesta.</p>	
<p>C.</p> 	<p>3. Se realizó el mismo proceso para el otro extremo de la muestra hasta retirar por completo el material no fibroso de las fibras (C).</p>	
<p>D.</p> 	<p>4. Se lavaron las fibras con agua limpia para eliminar cualquier suciedad o residuo que hubiera quedado (D).</p>	
<p>E.</p> 	<p>5. Una vez limpias (E) se pusieron a secar al aire libre por 24 horas hasta que estuvieron completamente secas, adquiriendo un tono más claro y mayor rigidez (F).</p>	<p>F.</p> 

Tabla 3. Extracción de fibras por método manual. Elaboración propia.

El proceso de extracción de fibras manual suele ser laborioso y requiere de mayor tiempo y esfuerzo que los procesos mecánicos o químicos. Sin embargo, se puede obtener una fibra de buena calidad que no ha sido tan maltratada. Adicional son una opción viable para pequeñas comunidades o empresas de escala reducida que no cuentan con el acceso a tecnología o

maquinaria especializada, lo que reduce costos y permite adaptar los procesos a las necesidades del contexto, resultando más sostenible pues no requiere de una gran cantidad de energía o de recursos no renovables. La separación del material no fibroso como subproducto puede resultar en un recurso aprovechable no solo para el desarrollo del material, sino como materia prima para otras actividades económicas en la región, como el curtido de pieles marinas, que por su contenido de taninos en la savia del plátano resulta una materia prima con potencial de aprovechamiento (Alfonso, 2015).

B. Proceso de cocción





Como segundo método se realizó un proceso de cocción de las muestras en agua hirviendo como tratamiento térmico para facilitar la extracción de las fibras y eliminar la lignina del pseudotallo, con lo que se busca mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las fibras, como la resistencia y la durabilidad.



Fig. 32. Instrumentos utilizados para la prueba de extracción por cocción. Elaboración propia

B.1. Procedimiento

Para evaluar la extracción de fibras por método de cocción se tomó una muestra del pseudotallo y se llevó a cocción en agua hirviendo por 2 horas. Se utilizó un recipiente en aluminio, espátula y cepillo para extraer el material no fibroso (Figura 32).

<p>A.</p> 	<p>1. Se cortó la muestra de unos 24 cm (tamaño del recipiente) y se sumergió en agua hasta cubrirlo completo. Se dejó a fuego medio durante dos horas a una temperatura entre los 80 y 100 °c (A).</p>	
<p>B.</p> 	<p>2. Transcurridas las dos horas y con la muestra ya blanda, se retiró del fuego y se dejó reposar por un par de minutos (B).</p>	
<p>C.</p> 	<p>3. La capa externa se retiró con ayuda de una espátula (C) y al estar mucho más blanda se pudo extraer con mayor facilidad y con menor esfuerzo (D).</p>	<p>D.</p> 




 <p>E.</p>		<p>4. Se extrajo el material no fibroso restante y se terminaron de lavar las fibras para retirar cualquier residuo extra (E).</p>
 <p>F.</p>		<p>5. Se secaron al aire libre hasta adquirir un tono claro y brillante (F).</p>
 <p>G.</p>	<p>6. El material no fibroso se reservó para extraer los lixiviados que posteriormente puedan ser integrados a la formulación del aglomerado (G,H).</p>	 <p>H.</p>

Tabla 4. Extracción de fibras por método de cocción. Elaboración propia.

Este proceso resultó más eficiente para la extracción de fibras, pues suaviza la lignina y hace que sea más fácil de eliminar el material no fibroso mediante un lavado posterior. Sin embargo, el blanqueado con agua hirviendo no solo elimina la lignina de las fibras, sino que también puede reducir el contenido de otros componentes importantes, como la celulosa y las hemicelulosas, que son necesarios para la resistencia y durabilidad de las fibras (Parra, 2010). Por lo tanto, es importante ajustar el tiempo y la temperatura del blanqueado con agua hirviendo para evitar la sobreexposición de las fibras al calor y minimizar la pérdida de otros componentes importantes.

C. Proceso de Fermentación

El tercer proceso implicó la fermentación del pseudotallo para la extracción de las fibras. Para ello se empleó un método de fermentación natural, sumergiendo los tallos en agua junto con un agente de fermentación como el vinagre, lo que facilitó la descomposición de la lignina permitiendo extraer fibras más suaves y sin la necesidad de ningún proceso químico o mecánico que las dañe.

El procedimiento de fermentación se desarrolló en 4 etapas:

<p>A.</p> 	<p>1. Se seleccionaron los pseudotallos de plátano maduros y se cortaron en las dimensiones deseadas (A).</p>
<p>2. Los trozos de pseudotallo se sumergieron en agua junto con un agente de fermentación, en este caso el vinagre, durante un período de 5-7 días para permitir la fermentación natural (B). Durante este periodo, los microorganismos presentes en el agua y en el pseudotallo descompusieron la lignina y otros componentes no deseados de las fibras.</p>	<p>B.</p> 
<p>C.</p> 	<p>3. Después de la fermentación, los trozos de pseudotallo se lavaron cuidadosamente para eliminar los productos de fermentación y otros residuos (C).</p>


<p>4. Finalmente, las fibras se extrajeron manualmente de los trozos de pseudotallo lavados. Para facilitar su extracción se empleó un método de golpeo y arrastre, lo que implica golpear suavemente el pseudotallo con un mazo de madera o un palo para ablandar las fibras y luego arrastrarlas suavemente para separarlas del material no fibroso (D).</p>	 <p>D.</p>
--	--

Tabla 5. Extracción de fibras por método de fermentación. Elaboración propia

La extracción de fibras del pseudotallo de plátano mediante fermentación ofrece algunas ventajas importantes, como ser un proceso natural y respetuoso con el medio ambiente, tener un bajo costo y bajo consumo energético, así como producir fibras suaves. Al no requerir de gran infraestructura, puede ser realizado desde el contexto local con los recursos y capacidades locales.

La extracción de fibras de plátano mediante fermentación es un proceso complejo que requiere un control cuidadoso de las condiciones de fermentación, como la temperatura, el pH y el tipo de microorganismos utilizados. Además, la fermentación de la lignina es un proceso lento y puede requerir varios días o semanas para completarse, lo que puede limitar la capacidad de producción. A eso se suma que la calidad de las fibras no es la óptima pues se obtienen diámetros desiguales, lo que puede afectar su resistencia y durabilidad (Parra, 2010).

Variables del estudio y Propiedades de la materia prima

Para determinar el método más apropiado para la extracción de fibras de plátano se realizó una comparativa de los tres métodos, evaluando las propiedades de las fibras obtenidas. La fibra con mejores características respecto a su proceso de obtención y calidad será empleada para el desarrollo de láminas de aglomerado con aplicaciones para la industria agrícola.

Variables a controlar:

- *Selección del pseudotallo:* Se seleccionaron pseudotallos maduros y saludables para obtener fibras de alta calidad.
- *Corte y pelado:* la forma en que se corta y pela el pseudotallo puede afectar la calidad y cantidad de las fibras.

- *Temperatura y tiempo de cocción:* si se utiliza el método de cocción, es importante controlar la temperatura y el tiempo de cocción para evitar dañar las fibras.
- *Tipo y duración del proceso de fermentación:* si se utiliza la fermentación para extraer las fibras, el tipo y duración del proceso de fermentación empleado
- *Método de separación:* el método utilizado para separar las fibras de la pulpa o material no fibroso.
- *Enjuague y secado:* el enjuague y secado de las fibras también puede afectar su calidad y apariencia

Variables a medir

- *Rendimiento de las fibras:* la cantidad de fibras producidas en relación con el peso del pseudotallo utilizado.
- *Longitud y diámetro de las fibras:* la longitud y diámetro de las fibras pueden afectar su calidad y su uso potencial.
- *Contenido de humedad:* el contenido de humedad de las fibras puede afectar su manejo y almacenamiento.
- *Contenido de lignina:* la cantidad de lignina presente en las fibras puede afectar su resistencia y rigidez.
- *Contenido de celulosa:* la cantidad de celulosa presente en las fibras puede afectar su resistencia y flexibilidad.
- *Contenido de impurezas:* la cantidad de impurezas presentes en las fibras, como residuos vegetales o suciedad, puede afectar su calidad.
- *Propiedades mecánicas:* las propiedades mecánicas de las fibras, como la resistencia a la tracción y la elasticidad, pueden afectar su uso potencial.

Análisis de Espectroscopía

Para evaluar la calidad de las fibras obtenidas por cada método, se realizaron pruebas de espectroscopía en el laboratorio de espectroscopia del IIM en la UNAM con un espectrómetro (Fig. 33), una técnica que consiste en el análisis de la luz u otras formas de radiación para determinar información sobre las propiedades físicas y químicas de las sustancias (Hernández, 2018), en este caso se revisó las propiedades de las fibras de plátano extraídas por cada método, la medición determinaría la presencia de impurezas, así como afectaciones por los procesos de producción y manipulación de la fibra.

Los resultados de la comparativa de las fibras (Fig. 34) mostraron una uniformidad entre las muestras, si bien con algunos picos espectrales de diferencia, se mantiene el patrón que se asocia a la celulosa, por lo que no existe mayor diferencia de las fibras extraídas por método manual, por cocción o por fermentación. En este sentido, la evaluación del mejor método de extracción será determinado en función del tiempo, esfuerzo y recursos necesarios.

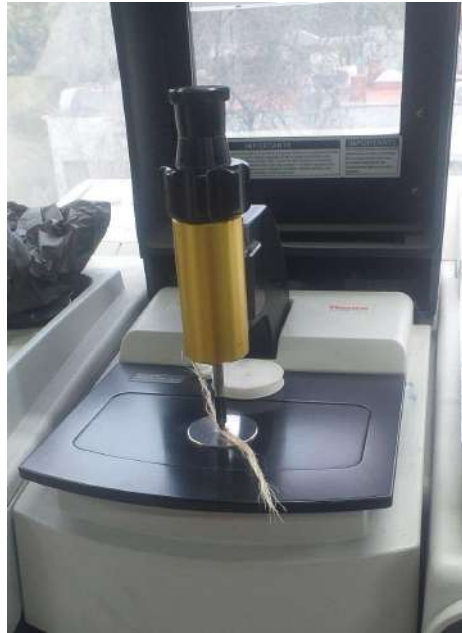


Fig. 33. Pruebas de espectroscopía a las fibras de plátano. Elaboración propia.

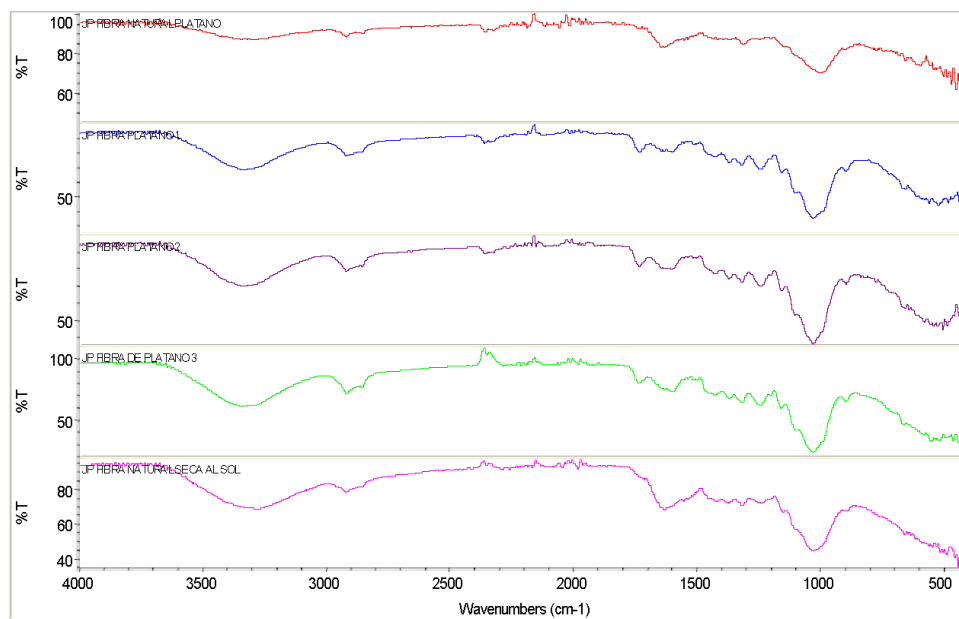


Fig. 34. Comparativa entre los métodos de extracción de fibras de plátano. Elaboración propia.

5.2.2. Desarrollo del material

Para el desarrollo de la propuesta de un material aglomerado de fibras de plátano se tomaron en consideración dos variables: las fibras del pseudotallo del plátano y el componente aglomerante (mezcla de PVA y lixiviado de plátano). A partir de allí, se evaluaron las formulaciones,

proporciones y procesos idóneos para obtener un material que cumpla con las características deseadas. Dichas características, se determinaron en función de la aplicación que se le quería dar, considerando los escenarios futuros planteados, la investigación propuso el desarrollo de alfombras de fibras de plátano.

Se tomó el PVA pues brinda una adhesión efectiva, lo convierte en un aglutinante eficaz para la formación de aglomerados, ya que puede unir las partículas de material de manera efectiva y uniforme. De igual forma cuenta con buena resistencia mecánica por lo que tiene una mayor estabilidad y cohesión. A esto se suma que tiene baja toxicidad, por lo que no representa riesgos significativos para la salud humana. Es versátil y económico, por lo que puede adaptarse a los requerimientos de aplicación en aglomerados.

Se realizaron distintas pruebas de mezclas entre las fibras y el aglomerante, así como variaciones en los procesos de elaboración y condiciones del entorno. Con ello se realizó una comparativa que permitió identificar la potencialidad de las mezclas y su comportamiento a través de los procesos. Para esta comparativa se evaluaron variables como la resistencia a la tracción, la densidad, la uniformidad de la superficie, la suavidad al tacto, entre otras. Luego de analizar los resultados obtenidos y ajustar las proporciones de las variables se obtuvo la formulación del material deseado que permitirá desarrollar un prototipo de la propuesta de diseño que pueda integrarse dentro del contexto de la investigación.

5.2.2.1. Pruebas compactación de la fibra

Un primer factor a evaluar fue la compactación de la fibra de plátano en un material aglomerado. Para evaluar la mejor forma de compactar las fibras en una mezcla uniforme y resistente se tomaron en consideración las siguientes variables:

- **Humedad:** la cantidad de humedad en las fibras puede afectar su capacidad para ser compactadas. Si las fibras están demasiado secas, pueden romperse fácilmente durante el proceso de compactación. Si están demasiado húmedas, pueden adherirse entre sí y producir un material aglomerado poco uniforme.
- **Tamaño de partícula:** el tamaño de partícula de las fibras de plátano puede afectar su capacidad para ser compactadas. Las fibras más grandes pueden requerir una mayor fuerza para compactar adecuadamente, mientras que las fibras más pequeñas pueden producir un material aglomerado menos resistente.
- **Orientación de las fibras:** Si las fibras se orientan en una dirección específica durante la compactación, el material aglomerado resultante puede tener una mayor resistencia en esa dirección. Por otro lado, si se orientan las fibras de manera aleatoria, el material aglomerado puede ser más uniforme en términos de resistencia en todas las direcciones.

- **Aglutinante:** el tipo y la cantidad de aglutinante utilizado para compactar las fibras pueden tener un impacto significativo en la resistencia y la uniformidad del material aglomerado resultante. En el caso de las fibras de plátano, se podría utilizar una mezcla de PVA y lixiviado de plátano como aglutinante.
- **Fuerza de compactación:** la cantidad de fuerza utilizada para compactar las fibras puede afectar la resistencia y la uniformidad del material aglomerado resultante. Demasiada fuerza puede hacer que las fibras se rompan o deformen, mientras que muy poca fuerza puede producir un material aglomerado suelto y poco resistente.
- **Temperatura:** la temperatura ambiente puede afectar la capacidad de las fibras de plátano para ser compactadas. Las temperaturas más altas pueden hacer que las fibras se vuelvan más flexibles y fáciles de compactar, mientras que las temperaturas más bajas pueden hacer que las fibras se vuelvan más rígidas y más difíciles de compactar adecuadamente.

Para evaluar la mejor forma de compactar las fibras se pondrán a prueba tres métodos: las fibras en doble dirección (lisas), de forma aleatoria (enredadas) y en partículas (trituradas). De esta manera se identificará el método más eficiente para aglomerar las fibras. Para realizar las pruebas se utilizó un molde en mdf (Figura 35) y una prensa hidráulica de laboratorio, las muestras se prensaron bajo 2 toneladas de presión durante 24 horas.



Fig. 35. Molde en mdf de 10 cm. Elaboración propia.

1ra. Prueba

Se realizó el prensado de las fibras del plátano en un molde cuadrado de 10 cm (Fig. 35) orientando las fibras en doble dirección para quedar perpendiculares y distribuir las fibras uniformemente. Se dispusieron 3 capas de fibras en dirección horizontal y 3 en dirección vertical intercaladas (Fig. 36). La muestra se compactó en la prensa por 24 horas sin ningún aglutinante y a temperatura ambiente.



Fig. 36. Prensado de fibras de plátano en doble dirección. Elaboración propia

Como resultado se obtuvo una muestra que adquirió la forma del molde, pero no compactó las fibras adecuadamente, tampoco se obtuvo una capa uniforme y pese a ser ligera y suave al tacto, las fibras se separaban con facilidad. Por lo que este método no se consideró adecuado para la aglomeración de fibras, la humedad de la muestra pudo ser un factor que afectó la compactación de la misma.

2da. Prueba

Para la segunda muestra se realizó el prensado de las fibras en dirección aleatoria, para ello se utilizó un cepillo de cardado a fin de entrelazar las fibras y distribuirlas uniformemente. Con este método se obtuvo mayor suavidad y compactación de la fibra (Fig. 37). Se utilizaron tres capas de fibras cardadas que se prensaron en el molde por 24 horas. Se agregó una pequeña porción de líquido lixiviado para humedecer un poco la fibra y favorecer la compactación (Fig. 38).



Fig. 37. Cardado de las fibras en dirección aleatoria. Elaboración propia



Fig. 38. Prensado de las fibras en dirección aleatoria. Laboratorio del IIM-UNAM. Fotografías propias



Fig. 39. Muestra de fibras aglomeradas. Elaboración propia.

La muestra obtenida mediante el prensado de las fibras cardadas en dirección aleatoria obtuvo mayor compactación y uniformidad de las fibras, así como una textura lisa y suave, el agregado de lixiviado le confirió mayor unidad a las capas y flexibilidad a la mezcla (Fig. 39). Sin embargo, quedó muy delgada la muestra, por lo que se requieren de un mayor número de capas para obtener el grosor deseado.

3ra. Prueba

Para la tercera prueba se tomó una muestra seca del pseudotallo y se trituró en pedazos, se mezcló la fibra junto con la parte no fibrosa y se le añadió un agregado de lixiviado. La mezcla se unificó y se prensó para compactarla. Se dejó secar a temperatura ambiente (Fig. 40).





Fig. 40. Muestra con fibras trituradas y partículas de material no fibroso. Elaboración propia.

Esta muestra obtuvo mayor uniformidad y una superficie más compacta y lisa. Sin embargo, al ser particulado, era poco flexible y quebradizo, además que algunas fibras se separaban o quedaban como astillas, por lo que no resultaba viable para ser aplicado como alfombrilla de fibras de plátano. Aun así, brindaba mayor grosor y suavidad, por lo que se tomó en consideración para las pruebas con agregados.

5.2.2.1. Pruebas de formulación de aglutinante

Una vez que se evaluó el mejor método para compactar la fibra, se pasó a revisar la formulación adecuada para obtener el aglutinante que se mezclará con la fibra para generar el material aglomerado deseado. Para ello, se evaluó la mezcla del lixiviado del residuo junto con PVA, un alcohol polivinílico soluble en agua que funciona como agente aglutinante, para este caso, un PVA biodegradable que se utiliza en tres densidades diferentes: baja, media y alta. Para las pruebas se evaluaron las tres densidades en distintas proporciones de mezcla con el lixiviado.

1. Formulación del aglutinante

Para la formación del aglutinante se utilizará una solución de PVA (acetato de polivinilo), la cual se mezclará con la pulpa extraída a fin de obtener una mezcla óptima que sirva como aglutinante para el aglomerado. Para establecer la dosis óptima y la viscosidad del líquido aglutinante se harán pruebas variando la concentración de pulpa y PVA. Se evaluará la proporción idónea para el aglomerado.

Lixiviado	PVA	Mezcla
100 %	0%	100-0
0%	100%	0-100
50%	50%	50-50
30%	70%	30-70
70%	30%	70-30

Tabla 6. *Proporciones de mezcla para el aglutinante.*

2. Sedimentación de los lixiviados

Se filtraron los líquidos extraídos de los residuos para la separación de las partículas gruesas. La pulpa sedimentada se separó y se pesó su contenido al finalizar. El contenido final se utilizó para la formulación del aglutinante.

3. Fabricación de los moldes

Se elaborarán moldes para muestras de 10 x 10 cm con espesores de 6 mm, que puedan ser prensados y desarmables para facilitar el desmoldado.

4. Formulación de la composición de matrices

La determinación del contenido de fibras y aglutinantes se realizará evaluando la rigidez, resistencia y consistencia obtenida. Se espera que a mayor volumen de fibras aumenta la resistencia mecánica y la rigidez, sin embargo, con más de un 80% de fibras no es posible garantizar una distribución uniforme de la aglutinante, por lo que se manejaron proporciones máximas de 70-30.

5. Prensado en molde y curado

Se realizó un prensado en los moldes con una resistencia entre 2 y 5 ton por intervalos entre 20 min y 24 horas, hasta compactar la mezcla. Una vez se prensó se evaluó la relación entre tiempo y resistencia que mejor funcione para compactar las mezclas. Posteriormente se realizó un curado en horno o un secado a temperatura ambiente por 24 horas.

6. Comparativa de las muestras

Se compararon los resultados de las muestras respecto a las características deseadas del material a fin de evaluar la que mejor cumple con todos los requisitos del material. Se buscó que cumpliera con características como suavidad, flexibilidad y resistencia. Al final se exploró la mejor formulación para obtener un material que cumpla con todas las características deseadas y que pueda ser comparado con el material comercial.

Características esperadas del material

Considerando que el material se utilizará en aplicaciones para exteriores, particularmente como alfombra para los cultivos, es importante asegurar su durabilidad y resistencia en condiciones ambientales adversas. Para ello se debe tomar en cuenta las siguientes características:

- **Resistencia a la humedad:** El material aglomerado de fibras de plátano debe tener una buena resistencia a la humedad para evitar el deterioro por exposición a la lluvia, la humedad del suelo u otras fuentes de humedad en exteriores.
- **Estabilidad dimensional:** El material debe tener una buena estabilidad dimensional para resistir los cambios de temperatura y humedad sin deformarse o agrietarse excesivamente. La expansión y contracción excesivas pueden afectar negativamente la integridad estructural y la apariencia del material.
- **Resistencia a los rayos UV:** La exposición a la radiación ultravioleta (UV) puede causar decoloración, degradación y pérdida de resistencia en materiales compuestos. Es importante utilizar aditivos o recubrimientos que proporcionen protección contra los rayos UV para evitar estos efectos negativos en el aglomerado de fibras de plátano.
- **Resistencia a la intemperie:** El material debe ser capaz de resistir la acción de los elementos atmosféricos, como la lluvia, el viento, la nieve y la exposición al sol. Se pueden considerar aditivos o recubrimientos que ofrezcan mayor resistencia a la intemperie para prolongar su vida útil.
- **Degradación biológica:** Los materiales utilizados en exteriores están expuestos a microorganismos, hongos, insectos u otros organismos que pueden causar degradación biológica. Si bien se busca un material que pueda degradarse para reintegrarse al entorno, es importante que la degradación sea controlada y pueda prolongarse durante el tiempo que se requiera.

Cálculo del Porcentaje de humedad

Para calcular el porcentaje de agua presente en las fibras se pesa una determinada cantidad de muestra fresca (M1), se procede a secar hasta peso constante (M2), se calcula la cantidad de agua presente de acuerdo con la relación:

$$\% \text{ agua} = (M1 - M2) / M1 \times 100$$

En este caso, el peso inicial de la fibra de plátano fue de 315 gramos y el peso final después de secarla fue de 4.2 gramos. Sustituyendo estos valores en la fórmula, se obtiene:

$$\text{Porcentaje de humedad} = (315 \text{ g} - 4.2 \text{ g}) / 315 \text{ g} \times 100 = 98.67\%$$

Por lo tanto, el porcentaje de humedad de la fibra de plátano es del 98.67%. Lo que evidencia el gran porcentaje de humedad que contienen los pseudotallos del plátano en su estado original. Por ello, los líquidos extraídos serán tomados en consideración para el desarrollo del material.



Fig. 41. Pesaje muestra de Pseudotallo y extracción de fibras. Elaboración propia



Fig. 42. Pesaje de fibras de plátano secas. Elaboración propia



Fig. 43. Separación del líquido y la pulpa del pseudotallo. Elaboración propia

Pruebas de formulación de aglutinante

Una vez se evaluó el mejor método para compactar la fibra, se pasó a revisar la formulación adecuada para obtener el aglutinante que se mezclará con la fibra para generar el material aglomerado deseado. Para ello se evaluó la mezcla del lixiviado del residuo junto con PVA, un alcohol polivinílico soluble en agua que funciona como agente aglutinante, para este caso, un PVA biodegradable que se utiliza en tres densidades diferentes: baja, media y alta. Para las pruebas se evaluaron las tres densidades en distintas proporciones de mezcla con el lixiviado.

5.2.2.3. Pruebas de mezclas

Para la primera prueba se diluyó 5 gr de cada densidad de PVA en 100 ml de agua, resultando en una solución al 5%. Se mezcló hasta diluirse por completo en el agua (figura 43). De cada densidad se realizó una mezcla con fibras para evaluar la que mejor características brinda al material deseado.



Fig. 44. Mezcla de PVA con agua al 5%. Elaboración propia.

Para esta prueba se utilizaron fibras del pseudotallo del plátano cardadas de 2 g cada una, a las que se le agregó 25 ml de la solución de PVA al 5%. Las muestras se dejaron humedecer hasta que la fibra absorbió la solución (Figura 44). Una vez húmedas se prensaron con un peso de 2 toneladas por 20 min. Luego de ese tiempo se dejaron secando a la intemperie (Figura 45).



Fig. 45. Mezcla de PVA con fibras de plátano. Elaboración propia.



Fig. 46. Prensado y secado de la 1ra mezcla. Elaboración propia.

Como resultado se obtuvo una mezcla con mayor consistencia y rigidez, luego de su secado las fibras se compactaron en una muestra algo dura y flexible. Para el caso de la muestra de baja densidad (1B) se obtuvo un aglomerado más compacto, de textura lisa, flexible con cierta rigidez y ligeras deformaciones por su secado. Para la muestra de densidad media (1M) se obtuvo una mezcla igualmente rígida y compacta, con menos flexibilidad y algunas fibras sueltas que requieren de una mayor compactación. La tercera muestra de densidad alta (1A) resultó más rígida y dura que las demás, con poca flexibilidad y algo quebradiza.

Se evidenció que se requiere diluir más el aglomerante para obtener una fibra más flexible y suave que siga conservando su rigidez, se añadirá una proporción de lixiviado para evaluar si mejoran las propiedades del material aglomerado.

Mezcla de aglutinante de PVA con lixiviado

Para realizar la mezcla del aglutinante de PVA con el lixiviado, primero se sedimentaron los líquidos extraídos de los residuos para separar las partículas gruesas del lixiviado. Utilizando un embudo de separación se filtró el líquido de la parte más espesa, obteniendo un lixiviado sin partículas (Figura 46). Este líquido se pesó y se mezcló en igual proporción con el PVA hasta obtener una mezcla homogénea.



Fig. 47. Sedimentación del lixiviado. Elaboración propia

Se realizaron tres muestras mezclando en cantidades iguales el PVA y el lixiviado como aglutinantes, utilizando diferentes densidades en cada muestra. Se sumergieron las fibras de plátano en esta mezcla hasta humedecerse y quedar integradas (Figura 47). Una vez húmedas se llevaron a prensa para compactarlas y retirar el líquido sobrante. Pasadas 24 horas, se sacaron de la prensa y se dejaron secar a temperatura ambiente.

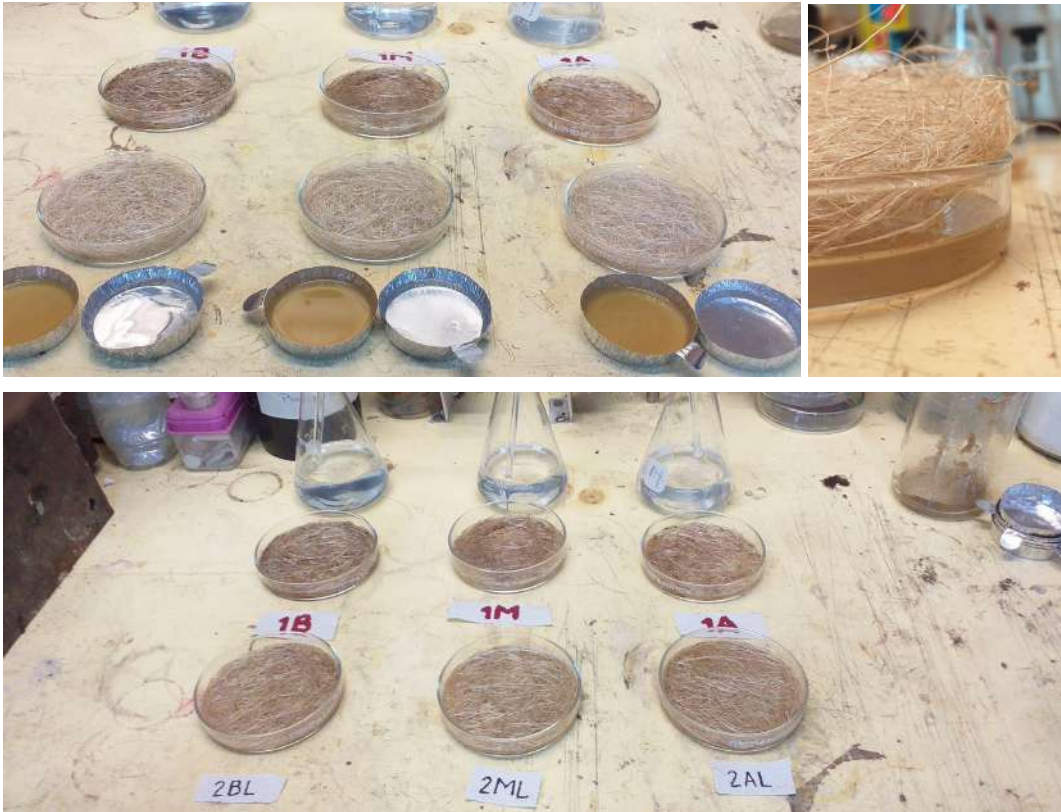


Fig. 48. Muestras de fibras aglomeradas con aglutinante de lixiviado y PVA. Elaboración propia.



Fig. 49. Muestras con lixiviado prensadas y secas. Elaboración propia.

Como resultado se obtuvieron mezclas más flexibles y suaves, aunque menos unificadas y compactas que con solo PVA, con algunas fibras sueltas, aun así en algunas se consiguió una buena compactación y texturas más uniformes y lisas, esto debido a los procesos utilizados que fueron un factor clave en el resultado de la muestra (figura 48).

Para el caso de la muestra de PVA de baja densidad (2BL) se obtuvo buena flexibilidad, aunque baja compactación y uniformidad, una textura suave con algunas fibras sueltas. La muestra de densidad media (2ML) tuvo una relativa mejor compactación y unidad de las fibras, mayor flexibilidad con una textura blanda y suave, aunque con algunas astillas de las fibras sueltas. La muestra de alta densidad (2AL) fue la de mejor compactación con menos fibras sueltas, conservando la flexibilidad, aunque con una superficie un poco menos lisa y más rugosa.

Mezcla de aglutinante 1:3 (PVA con lixiviado)

Para la tercera muestra se utilizó una mezcla de aglomerante en una proporción de 1:3, es decir un 30% de lixiviado y un 70% de PVA. Este aglutinante se mezcló con fibra triturada para comprobar su resistencia y capacidad para compactarse en un material aglomerado de fibras. Se realizaron 3 pruebas con distintas densidades de PVA (Figura 49) y una vez húmedas las fibras se llevaron a la prensa por 24 horas y se dejaron secar a la intemperie.



Fig. 50. Mezcla con el 30% de lixiviado con fibras trituradas. Elaboración propia.





Fig. 51. Muestras de fibras trituradas, prensadas y secas. Elaboración propia

Se obtuvieron tres muestras de fibra aglomerada (Figura 50) que, al ser particulada, tuvo mayor uniformidad y compactación de la mezcla, así como suavidad y blandura que las de fibras largas. Sin embargo, era menos flexible y más quebradiza al tener mayor rigidez, por lo que se tenían partículas sueltas al manipular la muestra.

La muestra de baja densidad (3BL) tuvo buena compactación y uniformidad de la fibra, así como una textura blanda y lisa, aún así tiende a ser frágil al doblarse y poco flexible. La muestra de densidad media (3ML) presentó propiedades similares aunque con mayor rigidez y por tanto menor flexibilidad. La muestra de densidad alta (3AL) fue la que obtuvo mayor rigidez y estructura.

Comparativa de las muestras

Luego de comparar las muestras, se obtuvieron mezclas con características particulares, algunas con mayor uniformidad y otras con mayor flexibilidad, considerando que se busca un material aglomerado que pueda emplearse dentro del cultivo como barrera protectora del suelo, estará expuesta a condiciones externas, por lo que se requiere de un material con resistencia y durabilidad, que sea flexible y uniforme.

Partiendo de estas características deseadas del material, se compararon las muestras obtenidas, evaluando las características perceptivas que pudiesen cumplir con el material deseado para la aplicación que se estaba buscando. Si bien no se pueden evaluar factores como la durabilidad o la resistencia con una evaluación perceptiva, se pudieron evaluar factores sensoriales del material como su uniformidad, la suavidad, la flexibilidad y su compactación (Tabla 7).

Características deseadas del material					
Muestra	Peso	Uniformidad	Suavidad	Flexibilidad	Compactación
1B	1,7 g	x			x
1M	2,2g	x			x
1A	1,8 g	x			x
2BL	1,9 g		x	x	x
2ML	1,7 g		x	x	x
2AL	1,6 g	x	x	x	x
3BL	5,2 g	x	x		
3ML	4,8 g	x	x		
3AL	4,3 g	x	x		

Tabla 7. Características deseadas del material

Particularmente, las muestras con aglutinante de solo PVA presentaron mayor uniformidad y compactación, mientras las muestras con agregado de lixiviado resultaron más flexibles y suaves, por lo que una adecuada proporción del aglutinante es determinante para las características del material. En este sentido, las muestras con aglutinante en proporciones iguales de lixiviado y PVA (2BL, 2ML, 2AL), resultaron ser las más balanceadas en tanto uniformidad, flexibilidad, suavidad y compactación, por lo que resultan una alternativa viable para el desarrollo del material. Sin embargo, para poder determinar el material con mejor resistencia y durabilidad fue preciso realizar pruebas físico- mecánicas a cada una de las muestras.

5.3. Pruebas físico-mecánicas

Propiedades Mecánica

Para realizar las pruebas mecánicas del material se debe seguir la norma ASTM D3039. Esta norma se utiliza para realizar pruebas de tracción en materiales compuestos.

Un material compuesto se define como un material que se compone de dos o más materiales diferentes que se combinan para formar una estructura con propiedades que no pueden lograrse por cada material por separado.

Un material aglomerado puede clasificarse como un material compuesto porque se compone de dos o más materiales diferentes, en este caso, fibras y un aglutinante para formar una estructura

sólida. Por lo tanto, para medir las propiedades mecánicas de los aglomerados de fibras de plátano se empleará la norma ASTM D3039.

Norma ASTM D3039

Esta norma detalla los procedimientos para realizar pruebas de tracción unidireccional en materiales compuestos, en este caso, materiales aglomerados de fibras de plátano. Las especificaciones que indica la norma para esta muestra son:

- **Tamaño y forma de las muestras:** la norma indica que las muestras deben ser de sección transversal rectangular en una dimensión que puede variar entre 10 mm y 25,4 mm de ancho y 100 mm y 25,4 mm de longitud. Se establece que la longitud de la sección de prueba debe ser al menos cuatro veces la longitud de la sección transversal.
- **Preparación de las muestras:** la norma establece los requisitos para la preparación de las muestras, incluyendo la forma en que se deben cortar las muestras y cómo se deben sujetar en la máquina de prueba. Para este caso, se harán muestras de 15 mm de ancho por 100 mm de largo
- **Velocidad de prueba:** La norma establece una velocidad de prueba constante de 1,3 mm/min \pm 30%.
- **Parámetros de medición:** La norma especifica que deben medirse la carga aplicada y la deformación producida en la muestra durante la prueba.

Preparación de muestras

Para realizar las pruebas mecánicas se adecuaron las muestras respecto a la norma ASTM D3039 de materiales compuestos, por cada formulación se tomaron tres muestras para poder medir las propiedades mecánicas a través de una máquina de prueba universal electromecánica. Cada muestra se midió en longitud y grosor para adecuar las mediciones a las especificaciones del material.



Fig. 52. Muestras adecuadas para pruebas mecánicas. Elaboración propia.



Fig. 53. Toma de grosores de las muestras con un micrómetro digital. Elaboración propia.

El grosor se utiliza para calcular la tensión y el módulo de elasticidad en la dirección de la prueba. La norma ASTM D3039 especifica que el grosor de la muestra debe medirse en al menos tres ubicaciones diferentes a lo largo de la longitud de la probeta. Estas ubicaciones deben ser representativas del grosor promedio del material. Para la medición se utilizó un micrómetro digital para medir el grosor de cada muestra independiente (Fig. 52).

Muestra	Grosor 1 (mm)	Grosor 2 (mm)	Grosor 3 (mm)	Promedio Grosor (mm)
1B	0,859	0,780	0,821	0,820
2BL	1,128	1,282	1,471	1,293
3BL	1,958	2,002	2,214	2,058
1M	1,316	1,574	1,785	1,559
2ML	2,085	1,186	1,38	1,550
3ML	2,426	2,505	2,295	2,409
1A	1,028	0,987	1,0496	1,022
2AL	1,157	1,178	1,197	1,177
3AL	2,144	2,343	2,121	2,202

Tabla 8. Grosores de muestras.

Una vez se realizó la medición de las dimensiones y los grosores, se establecieron los parámetros para la prueba en la máquina de pruebas universal, incluyendo la velocidad de carga y la tasa de deformación requerida por la norma ASTM D3039. Las muestras se sujetaron desde los extremos en la máquina de ensayo sin introducir ninguna tensión adicional. Se aplicó una carga axial a la muestra a una velocidad constante de 1,3 mm/min hasta que la muestra llegó a la ruptura o alcanzó su nivel máximo de deformación. Durante la prueba, se midieron y registraron las cargas y deformaciones aplicadas.



Fig. 56. Pruebas mecánicas a las muestras con fuerza de tracción unidireccional. Elaboración propia

Para analizar los resultados se tomaron en consideración los siguientes factores:

- **Resistencia a la tracción:** La resistencia a la tracción es la máxima carga o fuerza aplicada a la muestra antes de que se produzca la rotura. Se expresa en unidades de fuerza por área, como MPa (megapascales), estos valores se comparan con los requisitos o estándares aplicables del material para identificar si cumple con los criterios de resistencia a la tracción.
- **Deformación:** La deformación es el cambio relativo en la longitud o la forma de la muestra durante la prueba de tracción. Se expresa generalmente como un porcentaje de la longitud original de la muestra. La deformación puede proporcionar información sobre la ductilidad o la capacidad de deformación del material antes de la rotura.
- **Módulo de elasticidad:** El módulo de elasticidad, también conocido como módulo de Young, es una medida de la rigidez del material. Se calcula a partir de la pendiente inicial de la curva de tensión-deformación en la región elástica. El módulo de elasticidad se expresa en unidades de presión, como MPa. Un mayor módulo de elasticidad indica una mayor rigidez del material.
- **Curva de tensión-deformación:** La curva de tensión-deformación muestra la relación entre la tensión aplicada y la deformación experimentada por la muestra durante la prueba. La forma de la curva determina si el material exhibe un comportamiento frágil o dúctil. Una curva de tensión-deformación típica muestra una región elástica lineal seguida de una región plástica no lineal y, finalmente, la fractura de la muestra.

- **Punto de fluencia:** En algunos casos, es posible que observes un punto de fluencia en la curva de tensión-deformación. Este punto representa el límite donde el material comienza a deformarse de manera permanente y a fluir sin aumentar significativamente la tensión aplicada. El punto de fluencia puede ser importante para evaluar el comportamiento plástico del material.

Resultados de las pruebas mecánicas

Los resultados de las muestras mecánicas se muestran en el Anexo B en detalle. Esta sección describe algunos resultados relevantes para la investigación.

1B - Aglomerado de PVA (baja densidad)

Las pruebas mecánicas sobre la muestra 1B, mezcla de aglomerado de fibras con PVA de baja densidad, muestran una deformación constante hasta la ruptura, lo que puede indicar que se comporta de forma plástica, es decir que se deforma sin una recuperación total antes de su rotura, con buena capacidad de carga, los picos al final de la curva indican una ruptura repentina lo que lo vuelve un material resistente, pero frágil.

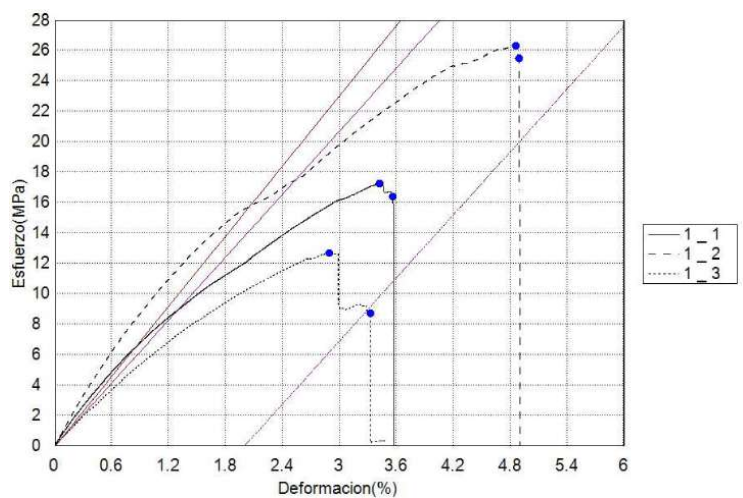


Fig. 54. Prueba mecánica muestras 1B. Elaboración propia

2BL - Aglomerado de PVA (baja densidad) y lixiviado - 50:50

Las pruebas mecánicas sobre la muestra 2BL, mezcla de aglomerado de fibras con PVA y lixiviado en proporciones 50:50, muestran un comportamiento frágil, los picos repentinos en la gráfica podrían indicar que el material ha alcanzado su límite de resistencia y se ha fracturado repentinamente, esto puede significar que no hay homogeneidad en la estructura del material y se produjeron varias rupturas.

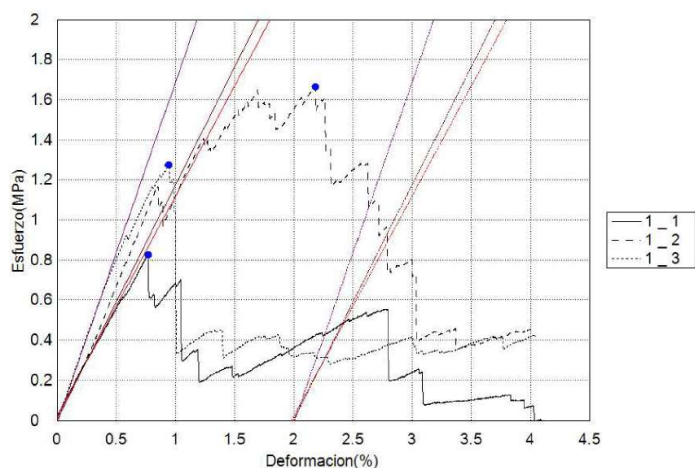


Fig. 55. Prueba mecánica muestras 2BL. Elaboración propia

3BL - Aglomerado de PVA (baja densidad) y lixiviado - 70:30

Las pruebas mecánicas sobre la muestra 3BL, mezcla de aglomerado de fibras con PVA y lixiviado en proporciones 70:30, muestran un material bastante frágil, la ruptura con un mínimo de esfuerzo y los constantes picos, puede significar que se produjeron varias rupturas en el material, no hay homogeneidad con el aglomerante ni suficiente cohesión de las fibras.

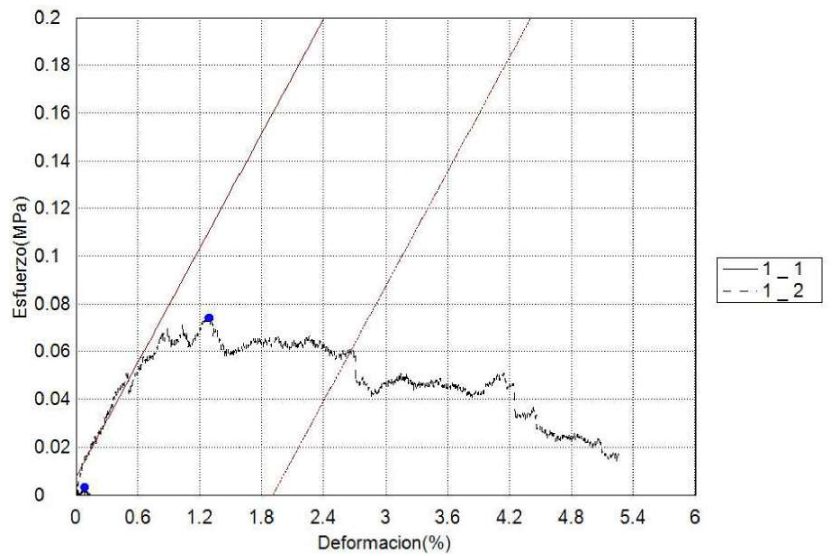


Fig. 56. Prueba mecánica muestras 3BL. Elaboración propia.

1M - Aglomerado de PVA (media densidad)

Las pruebas mecánicas sobre la muestra 1M, mezcla de aglomerado de fibras con PVA de media densidad, muestran un comportamiento elástico y una menor resistencia a la deformación, respecto a la de baja densidad, la segmentación gradual de las curvas descendientes podría indicar un proceso de fluencia en el material, produciendo una deformación lenta del material y una acumulación gradual de daño.

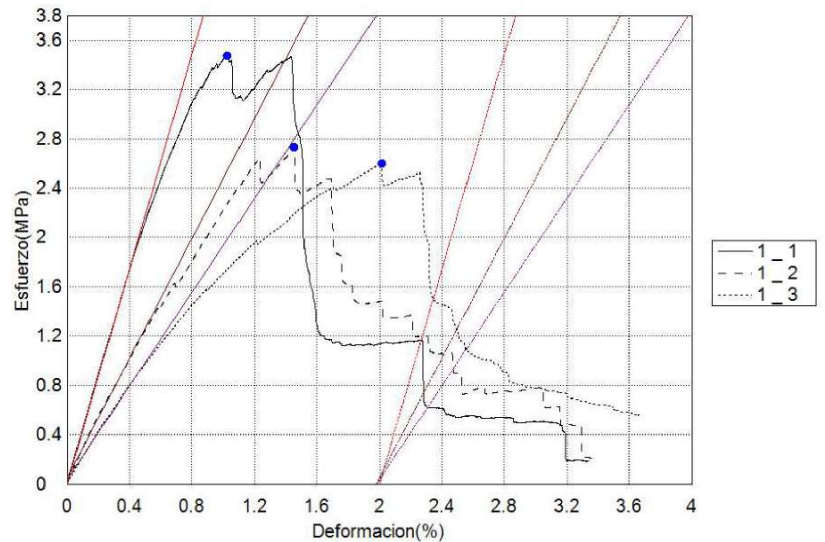


Fig. 57. Prueba mecánica muestras 1M. Elaboración propia

2ML - Aglomerado de PVA (media densidad) y lixiviado - 50:50

Las pruebas mecánicas sobre la muestra 2ML, mezcla de aglomerado de fibras con PVA de media densidad y lixiviado, muestran un comportamiento variable elástico con un mayor porcentaje de deformación, la segmentación gradual de las curvas descendientes indica que se produce una deformación lenta del material, lo que lo vuelve más elástico ante los esfuerzos mecánicos.

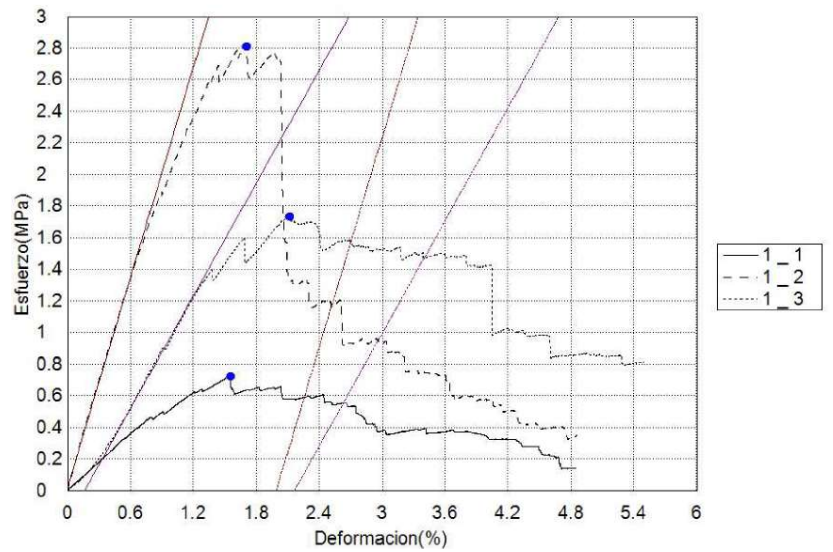


Fig. 58. Prueba mecánica muestras 2ML. Elaboración propia.

3ML - Aglomerado de PVA (media densidad) y lixiviado - 70:30

Las pruebas mecánicas sobre la muestra 3ML, mezcla de aglomerado de fibras con PVA de media densidad y lixiviado en proporciones 70:30, muestran un comportamiento frágil elástico con un mayor porcentaje de deformación antes de la ruptura, la segmentación gradual alargada de las curvas descendientes indican que se produce una deformación lenta del material, pero a muy baja carga.

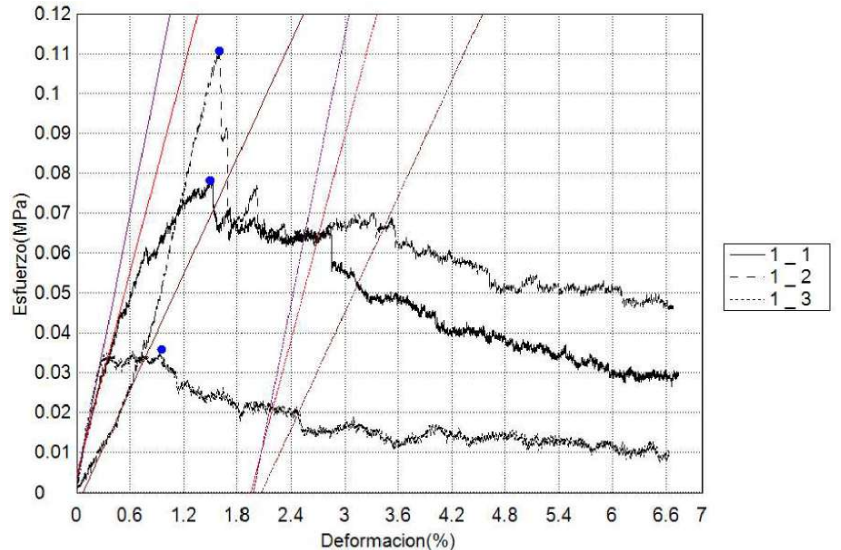


Fig. 59. Prueba mecánica muestras 3ML. Elaboración propia.

1A - Aglomerado de PVA (alta densidad)

Las pruebas mecánicas sobre la muestra 1A, mezcla de aglomerado de fibras con PVA de alta densidad, muestran un comportamiento rígido y algo frágil, pese a tener buena capacidad de carga, tiende a fracturarse repentinamente, aún así tiene un porcentaje de deformación constante antes de la ruptura y cierta ductilidad que no lo vuelve totalmente rígido.

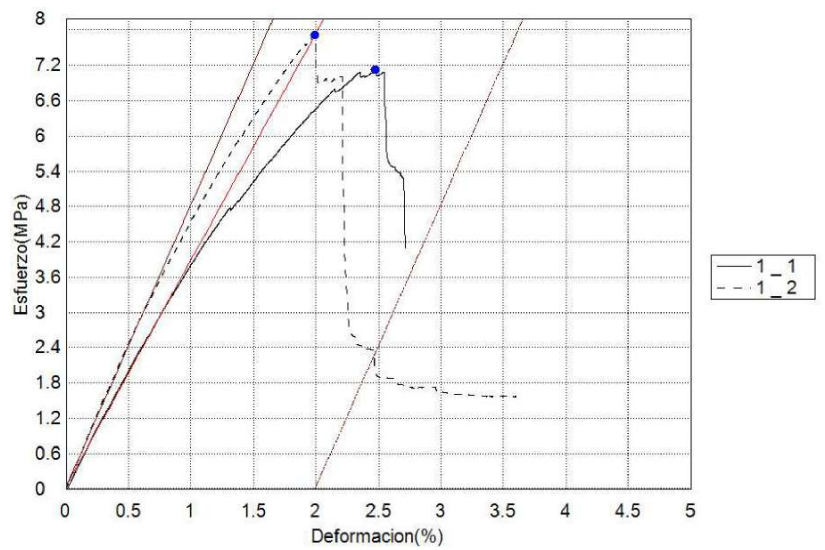


Fig. 60. Prueba mecánica muestras 1A. Elaboración propia.

2AL - Aglomerado de PVA (alta densidad) y lixiviado - 50:50

Las pruebas mecánicas sobre la muestra 2AL, mezcla de aglomerado de fibras con PVA de alta densidad y lixiviado en proporción 50:50, muestran un comportamiento variable elástico con un mayor porcentaje de deformación, la segmentación gradual de las curvas descendientes indican que se produce una deformación lenta del material, posterior a una ruptura inicial, lo que lo vuelve más elástico y dúctil ante los esfuerzos mecánicos.

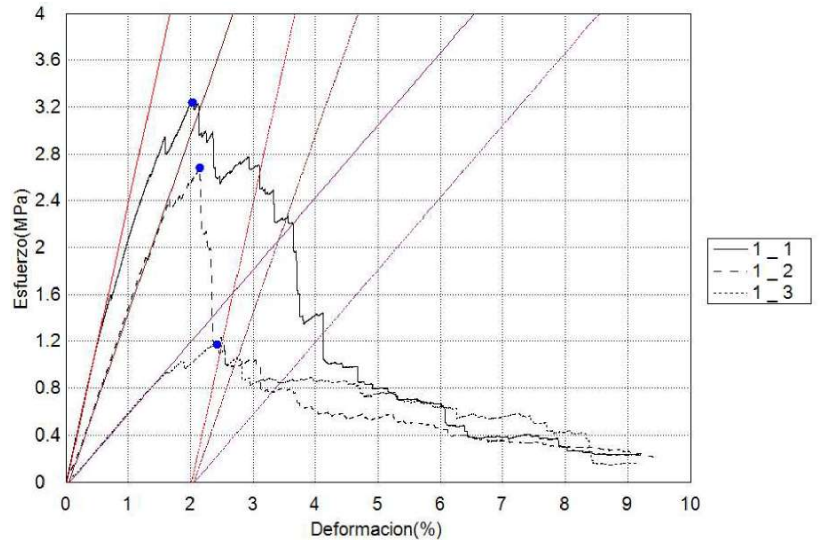


Fig. 61. Prueba mecánica muestras 2AL. Elaboración propia.

3AL - Aglomerado de PVA (alta densidad) y lixiviado - 70:30

Las pruebas mecánicas sobre la muestra 3AL, mezcla de aglomerado de fibras con PVA de alta densidad y lixiviado en proporciones 70:30, muestran un comportamiento frágil elástico con poca resistencia a la carga mecánica y alto porcentaje de deformación antes de la ruptura, los picos descendientes indican que se producen rupturas progresivas que deforman el material lentamente a baja carga.

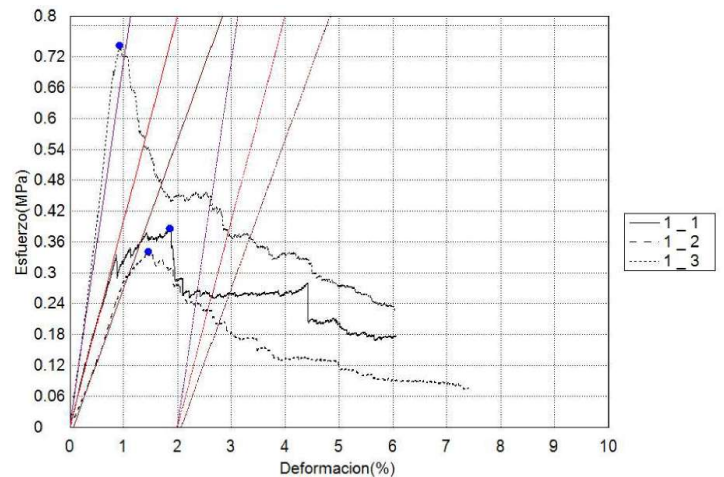


Fig. 62. Prueba mecánica muestras 3AL. Elaboración propia.

Comparativa de resistencia mecánica

Los resultados de las pruebas mecánicas permitieron determinar las características mecánicas de las muestras, identificando la formulación de aglomerado con mejores propiedades, en tanto su resistencia, rigidez y elasticidad. De igual forma permitió realizar una comparativa entre los materiales con tendencia a la fractura y los que se deformaban con mayor facilidad (Figura 59). De esta forma se seleccionó la mezcla que cumplía con las características deseadas del material aglomerado para aplicaciones como barrera protectora del suelo en los cultivos.

Mezcla	Máy. Fuerza (N)	Carga Máxima (MPa)	Máy. desplazamiento (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Límite elástico (N)
1B	226.45	18.738	0.932	769.943	109.30
1M	67.50	2.935	0.375	289.365	25.72
1A	112.54	7.419	0.559	432.374	35.62
2BL	24.64	1.255	0.325	132.45	10.67
2ML	36.06	1.756	0.448	170.204	25.59
2AL	41.55	2.364	0.550	151.591	26.15
3BL	1.16	0.039	0.172	8.004	1.77
3ML	2.74	0.075	0.337	8.186	1.82
3AL	15.98	0.490	0.353	46.481	9.71

Tabla 9. Comparativa propiedades mecánicas de las muestras

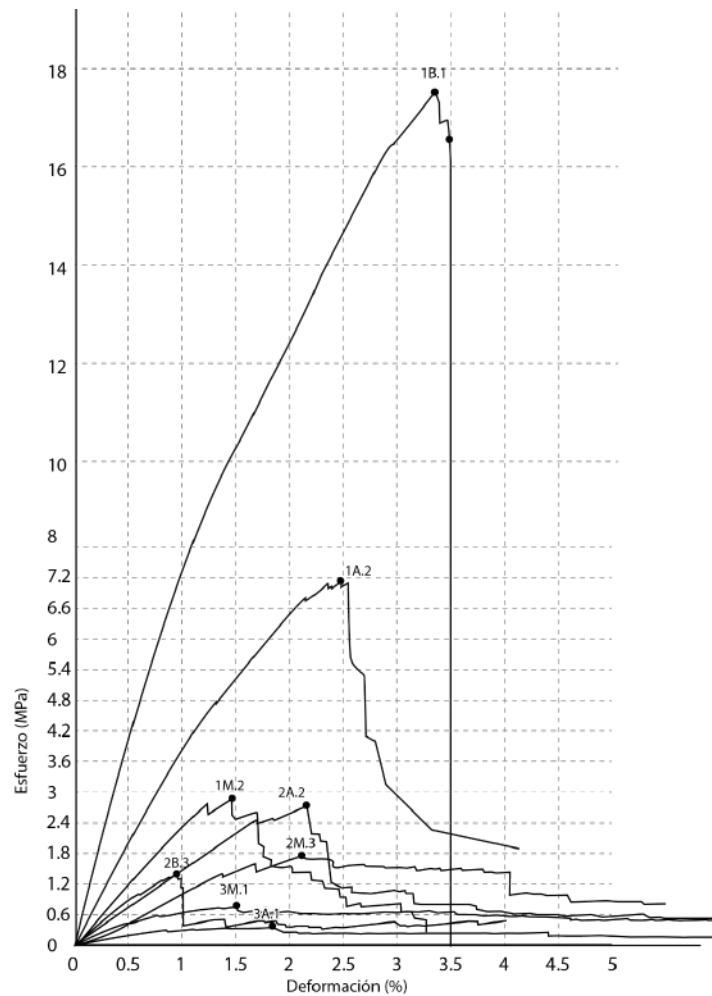


Fig. 63. Comparativa de las pruebas mecánicas. Elaboración propia.

Los resultados se compararon respecto a las tres densidades del aglutinante y las tres proporciones de mezcla con lixiviado. Entre los datos obtenidos destaca que las muestras con aglomerado de solo PVA obtuvieron mayor resistencia a la deformación, por lo que podían resistir mayores cargas que las muestras que se mezclaron con lixiviado, sin embargo, esto también las volvía más frágiles. Por otro lado, las mezclas con lixiviado obtuvieron menor resistencia a la deformación, pero mayor ductilidad, lo que significa que presentaban mayor deformación antes de su rotura, permitiéndoles absorber mayor energía.

Analizando las muestras por separado, se puede observar que existen diferencias significativas entre las muestras con la misma formulación, pero diferente densidad. De esta manera, el aglomerado con solo PVA de baja densidad (1B) resultó tener la mayor capacidad de carga respecto a los aglomerados con su misma formulación. Sin embargo, para el caso de los aglomerados con lixiviado se obtuvo mayor capacidad de carga y de elasticidad con el aglomerado de alta densidad (2AL).

Las pruebas mostraron que la adición del aglutinante con lixiviado ha permitido que el material tenga mayor deformación antes de su rotura, brindándole mayor ductilidad y por tanto mayor deformación plástica sin fracturarse, lo que indica una mayor capacidad de absorción de energía y deformación antes del fallo. Sin embargo, la resistencia del material se ha visto disminuida con la adición del lixiviado, lo que indica una reducción en la capacidad del material para resistir fuerzas aplicadas. En este sentido, la incorporación del lixiviado puede mejorar la capacidad de deformación del material, pero a expensas de su resistencia.

Tomando en cuenta que se busca un material con buena resistencia y flexibilidad, es preciso que el material no resulte demasiado frágil, ni tan dúctil. Es por ello que, un aglomerado rígido que tiende a la rotura, pese a soportar una mayor carga, no es el adecuado por su baja elasticidad. En el otro extremo, si se tiene demasiada elasticidad y muy poca resistencia a la carga, resultaría un aglomerado muy frágil que se deforma con facilidad. Por lo anterior, se busca un equilibrio entre la resistencia y la elasticidad del material, por lo que alternativas como las mezclas con lixiviados (2BL, 2ML o 2AL) resultan las más adecuadas para la aplicación que se está buscando.

5.3.1. Pruebas de radiación ultravioleta (UV)

Para evaluar el comportamiento del material frente a condiciones ambientales se realizaron pruebas de radiación ultravioleta que simulan la exposición a la radiación solar evaluando el efecto en las propiedades físicas, químicas y ópticas del material, como la resistencia al envejecimiento, la decoloración, la degradación superficial, la pérdida de resistencia, entre otros. Para ello se utilizó un equipo especializado en pruebas de intemperismo que simulan la exposición a la radiación UV, el calor y la humedad.

Estos equipos de prueba UV permiten controlar y acelerar las condiciones ambientales para evaluar el efecto de la radiación UV en los materiales. El proceso implica exponer las muestras de material a la radiación UV durante un período de tiempo determinado, generalmente utilizando lámparas de arco de xenón o lámparas de luz fluorescente especializadas que emiten una cantidad controlada de radiación UV que simulan la radiación solar.

Estas pruebas aceleradas pueden proporcionar una estimación útil del comportamiento del material bajo la exposición a la radiación UV. Para realizar esta prueba se siguió la norma ASTM G154, titulada "*Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for Exposure of Materials*"

Norma ASTM G154

Esta norma establece las especificaciones y los procedimientos para el funcionamiento de equipos de exposición a la radiación UV mediante lámparas fluorescentes ultravioleta (UV). Esta norma se utiliza para evaluar el envejecimiento y la resistencia de materiales no metálicos expuestos a la radiación UV simulada. La norma detalla la configuración del equipo, así como los ciclos de exposición y el control de variables.



Fig. 64. Muestras de aglomerado para pruebas de radiación UV. Elaboración propia.



Fig. 65. Muestras de aglomerado en el equipo de envejecimiento acelerado. Laboratorio del IIM-UNAM. Fotografía propia.

Para la prueba se dispusieron muestras de los aglomerados en las probetas del equipo de envejecimiento acelerado (QUV) (Fig. 64), se estima que un mes en la máquina es equiparable a un año de exposición a la intemperie. Por lo que pasado un mes de las muestras en el equipo se podrá ver el desgaste que tendría en un año de exposición a condiciones ambientales. Para ello, se adecuaron muestras de unos 75 mm de ancho y se colocaron en el equipo, las muestras de aglomerado se compararon con fieltro de lana para ver el desgaste de ambos materiales y comparar el más eficiente y resistente (Fig. 63).



Fig. 66. Muestras de aglomerado después de un mes de radiación UV. Elaboración propia.

Luego de un mes se observó una decoloración en los materiales con una pérdida del brillo y variaciones en la tonalidad (Fig. 65). En algunas muestras se evidenció una degradación superficial del material con algunas fibras sueltas. Sin embargo, tomando en consideración que la simulación aproxima la degradación de un año a la intemperie, las muestras se han conservado en buenas condiciones por lo que su degradación puede darse de forma más prolongada sin alterar significativamente sus propiedades. Esta degradación prolongada resulta conveniente para las aplicaciones que se están proponiendo pues se puede garantizar que frente a condiciones adversas el material puede resistir sin inconvenientes y una vez cumpla con su ciclo de vida útil puede degradarse en el ambiente sin generar impactos negativos.

5.4. Propuesta de diseño

Dentro de la gama de aplicaciones que pueden tener los aglomerados de fibras, se consideraron aquellas que pudiesen tener un uso concreto dentro del contexto y un beneficio para el sector platanero. De esta manera se garantiza que se puede cerrar el ciclo de los residuos agrícolas en un entorno controlado a partir de aplicaciones prácticas desde el aprovechamiento de los recursos locales. Es por ello que la propuesta se centra en desarrollar un sistema que permita la transformación de los residuos desde el contexto local, pues esto permitirá una mejor apropiación de la propuesta por parte de los agricultores, así como tendrá un impacto social, económico y ambiental.

Tomando en consideración las condiciones del cultivo y las características propias de los residuos, reintegrar los residuos al cultivo para mejorar la cadena de valor puede beneficiar directamente al cultivo mismo. Esto promueve la circularidad y la eficiencia en el uso de los recursos, ya que los residuos se reciclan dentro del sistema agrícola en lugar de ser descartados.

En este sentido, la propuesta de diseño plantea utilizar los residuos agrícolas del cultivo de plátano para fabricar alfombras de fibras de plátano que dentro del sector agrícola pueden tener variedad de aplicaciones. Dentro de ellas, destacan:

- **Control de malezas:** Las malezas compiten con los cultivos por nutrientes, agua y luz solar. Al colocar alfombrillas alrededor de los cultivos, se crea una barrera física que evita el crecimiento de malezas no deseadas. Esto reduce la competencia y permite que los cultivos aprovechen al máximo los recursos disponibles, lo que puede mejorar su crecimiento y rendimiento.
- **Conservación del suelo:** Las alfombrillas protegen el suelo de la erosión causada por el viento y la lluvia. La erosión puede llevar a la pérdida de la capa fértil del suelo y de los nutrientes, lo que afecta negativamente la productividad de los cultivos. Al mantener el suelo en su lugar, las alfombrillas ayudan a conservar la estructura del suelo y los nutrientes esenciales, lo que favorece un entorno favorable para el crecimiento de los cultivos.
- **Retención de humedad:** Las alfombrillas pueden ayudar a retener la humedad en el suelo al reducir la evaporación. Al cubrir el suelo expuesto, se reduce la exposición directa al sol y se disminuye la evaporación de agua. Esto puede ser especialmente beneficioso en áreas con condiciones climáticas secas o en épocas de sequía, ya que contribuye a mantener una mayor disponibilidad de agua para los cultivos, lo que promueve su crecimiento y desarrollo.
- **Retención de los nutrientes:** Favorece el uso de fertilizantes en el área de los cultivos pues ayuda a mantener los nutrientes en el lugar donde se necesitan, lo que puede contribuir a una mejor absorción de los fertilizantes por parte de los cultivos de plátano, brindando un suelo más fértil.
- **Reducción de enfermedades y plagas:** Al crear una barrera física que pueda ayudar a reducir el contacto directo entre los cultivos y posibles fuentes de enfermedades y plagas presentes en el suelo. Esto puede disminuir la incidencia de enfermedades y la propagación de plagas, lo que a su vez puede mejorar la salud y la productividad de los cultivos.

Las alfombrillas de fibra de plátano pueden ser una alternativa sostenible a los materiales sintéticos utilizados tradicionalmente para este propósito. Al utilizar fibras naturales y renovables, se reduce la dependencia de materiales no biodegradables y se promueve un enfoque más respetuoso con el medio ambiente.

De igual forma, si se integran materiales aislantes, pueden ayudar a regular la temperatura del suelo y, en consecuencia, la temperatura de los cultivos, lo que puede ayudar a mantener una temperatura más constante y mitigar los extremos de calor o frío. De esta forma, se puede generar una regulación de la temperatura del suelo, que impacte en la productividad del cultivo.

Adicionalmente, se pueden mejorar las condiciones del cultivo pues se ayuda a controlar las malezas, prevenir la erosión del suelo y conservar la humedad, lo que crea un entorno más favorable para el crecimiento y desarrollo del plátano, lo que puede implicar un aumento en la productividad y la calidad de la producción.

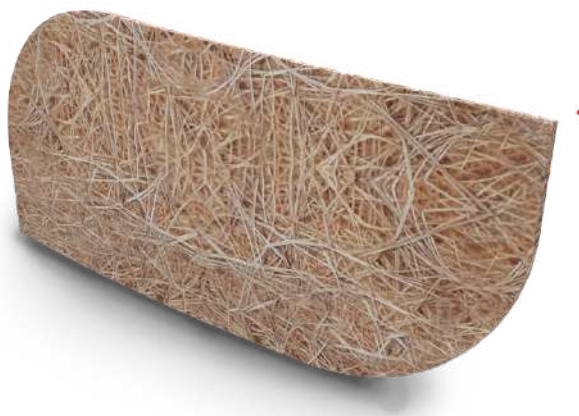
En últimas, la propuesta plantea una alternativa para cerrar el ciclo agrícola de los residuos postcosecha pues propone un producto útil que beneficia directamente al mismo cultivo del cual

proviene, promoviendo la circularidad y la eficiencia en el uso de los recursos. Sin embargo, no se limita a sólo el contexto agrícola, sino que puede expandirse a otros escenarios de la industria y el diseño.

Alternativas de diseño

Dentro del proceso exploratorio se tomaron en consideración los requerimientos de diseño que debía cumplir la propuesta en tanto se pudiera desarrollar con los recursos y las capacidades locales. Para ello se partió de que fuese de baja complejidad tecnológica, flexible y adaptable a distintos contextos, con la capacidad de ser escalable, con un mínimo de procesos de transformación y que aprovechara los recursos agrícolas, particularmente las fibras de plátano.

Para el desarrollo de propuestas, se tuvo en cuenta un componente modular para favorecer su escalabilidad, tomando en cuenta su uso particular como alfombra protectora para las plantas de plátano. Se seleccionó la alternativa que cumplía con los requisitos de diseño y que en su forma misma resultaba más eficiente y práctica para lo que se buscaba.



Alfombra modular de fibra de plátano

La alfombra se compone de un módulo base que permite la configuración de más piezas para proteger la base de las plantas de plátano. Está conformado de fibras de plátano del pseudotallo con aglutinante de PVA y lixiviado.

Fig. 67. Alfombrilla de fibra de plátano. Elaboración propia

Su forma permite disponerla según el tamaño del tronco de la planta, variando la cantidad de piezas según se requiera.

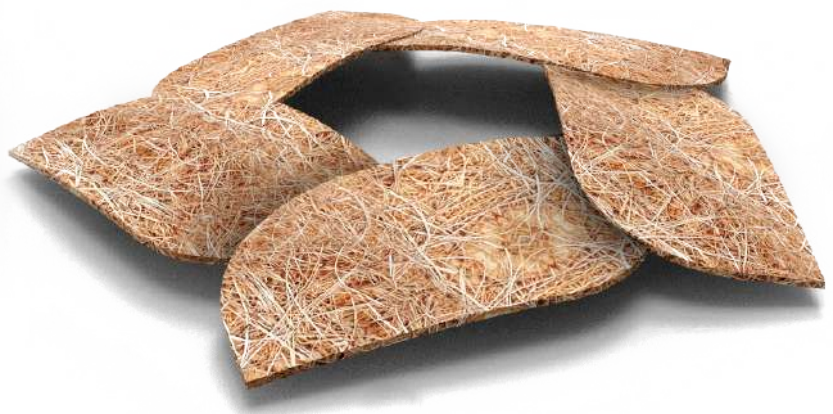


Fig. 68. Módulos de alfombrilla. Elaboración propia



Fig. 69. Alfombra adaptable a distintos tamaños de planta. Elaboración propia

Puede ser dispuesta en distintas etapas de crecimiento de la planta y permite adecuarse según el área que se requiera cubrir.

Alfombras en contexto



Fig. 70. Alfombrillas para el crecimiento de las plantas. Elaboración propia.



Fig. 71. Alfombrillas para cuidado y mantenimiento de las plantas. Elaboración propia.



Fig. 72. Alfombrillas para el control de maleza. Elaboración propia.



06

6. Conclusiones

6.1. Aportaciones de la investigación

En este estudio, se ha investigado el aprovechamiento de los residuos agrícolas del plátano y su transformación en un material aglomerado de fibras con aplicaciones para la agroindustria. El objetivo principal ha sido proponer un sistema de aprovechamiento de residuos agroindustriales del plátano que permita la generación de productos de valor, a través del diseño y la implementación de procesos circulares.

El desarrollo de un sistema de aprovechamiento de residuos agroindustriales del plátano implica la implementación de procesos circulares. Esto supone establecer un enfoque integral que abarque desde la recolección y selección de los residuos, hasta la transformación y producción de los productos finales. La circularidad se logra al cerrar el ciclo agrícola, donde los residuos se retornan dentro del sistema para la generación de valor.

El sistema propuesto no sólo se limita a la generación de un nuevo producto, sino que también implica consideraciones de viabilidad técnica, económica y ambiental. La optimización de los procesos de transformación, la evaluación de la calidad del material aglomerado y la identificación de oportunidades de mercado son aspectos clave para el éxito y la implementación a gran escala de este sistema.

En el contexto de Tabasco, la implementación de un sistema de aprovechamiento de residuos agrícolas del plátano se presenta como una oportunidad valiosa para abordar los desafíos ambientales y promover la sostenibilidad en el sector agrícola. Se destaca la viabilidad y la necesidad de establecer dicho sistema en la región, con el objetivo de generar beneficios económicos, sociales y ambientales.

En primer lugar, se ha demostrado que Tabasco cuenta con una producción significativa de plátano, lo que se traduce en una gran cantidad de residuos agrícolas generados durante el proceso de cosecha y postcosecha. El aprovechamiento de estos residuos a través de un sistema bien diseñado y estructurado puede reducir su impacto ambiental negativo, evitando su disposición inadecuada y su potencial contaminación del suelo y el agua.

Además, se identificó que la transformación de los residuos agrícolas del plátano en productos de valor, como un material aglomerado de fibras, puede generar oportunidades económicas para los agricultores y la agroindustria local. Esto no solo puede diversificar los ingresos de los agricultores, sino también fomentar la creación de empleo y fortalecer la economía regional.

En términos de beneficios ambientales, la implementación de un sistema de aprovechamiento de residuos agrícolas puede contribuir al fomento de prácticas agrícolas más sostenibles. Al cerrar el ciclo agrícola y reincorporar los residuos en forma de productos de valor, se evita la necesidad de utilizar recursos adicionales y se promueve la conservación de los ecosistemas locales.

Para la implementación exitosa de este sistema, es fundamental el desarrollo de una estrategia integral que involucre a todos los actores relevantes, como agricultores, agroindustria, instituciones gubernamentales y la sociedad en general. Se requiere el establecimiento de políticas y regulaciones adecuadas que promuevan y respalden la adopción de prácticas sostenibles, así como la creación de alianzas y colaboraciones entre los diferentes actores.

El trabajo de laboratorio realizado permitió evaluar la viabilidad de utilizar los residuos agrícolas del plátano como recursos de valor para productos dentro de la industria, demostrando un potencial significativo. Estos hallazgos indican la posibilidad de generar productos de valor, obtener beneficios ambientales, contribuir a la economía circular y abrir nuevas oportunidades comerciales. Estos resultados respaldan la importancia y el interés en continuar explorando y desarrollando el uso de estos residuos en la industria.

En conclusión, este estudio ha demostrado que el aprovechamiento de los residuos agrícolas del plátano a través de su transformación en un material aglomerado de fibras con aplicaciones para la agroindustria es una estrategia prometedora. Mediante la implementación de procesos circulares, se pueden lograr sistemas más eficientes y sostenibles que generen productos de valor a partir de los residuos agroindustriales. Este enfoque tiene el potencial de mejorar la gestión de los recursos agrícolas, promover la sostenibilidad y contribuir al desarrollo de una economía circular en el sector agroindustrial platanero en Tabasco y otras regiones productoras de México y Latinoamérica.

6.1.1. Aportaciones desde el diseño

El diseño como piedra angular de la investigación, permitió abordar desde una visión más amplia el desarrollo de materiales, considerando su aplicación dentro de un contexto particular a partir de los recursos locales disponibles. En este proceso, el diseño brindó métodos, herramientas y visiones para generar alternativas sostenibles que se pudieran apropiar a largo plazo dentro del sector agrícola analizado. Con ello, lograr fomentar la innovación local al inspirar nuevas formas de utilizar los recursos disponibles, creando oportunidades para la investigación y el desarrollo en la región.

De esta manera, al combinar métodos de diseño con un estudio experimental de biomateriales, se adoptó una visión holística que abarcó todo el sistema en cuestión. Esto significó considerar no solo la creación de biomateriales a nivel de laboratorio, sino también cómo se integran en un sistema más amplio, como cadenas de suministro, procesos de producción y aplicaciones prácticas. Con ello se puede lograr mayor eficiencia y efectividad en contextos específicos. Esto es fundamental para asegurar que los biomateriales desarrollados sean prácticos y tengan un impacto real en aplicaciones reales.

Al desarrollar materiales que son aplicables y beneficiosos para un contexto particular, se contribuye a mejorar la calidad de vida de las personas en esa área. Esto puede incluir la creación de empleos locales y la resolución de problemas específicos de la comunidad. Al maximizar la utilización de materias primas y minimizar el desperdicio, a través del diseño, se genera una reducción de costos y una menor huella ambiental. La sostenibilidad es una consideración fundamental, promoviendo la creación de materiales respetuosos con el medio ambiente que contribuyen a la sostenibilidad a largo plazo. El diseño también impulsa la innovación al generar escenarios futuros que deriven en potenciales productos que permitan la exploración de nuevas combinaciones de materiales y técnicas de fabricación según los recursos y capacidades del contexto, lo que fomenta el avance tecnológico y la adopción de tecnología según las necesidades y condiciones de la región o sector particular.

La aplicación de métodos de diseño en el desarrollo de materiales aporta una serie de ventajas sustanciales. En primer lugar, el enfoque centrado en el usuario asegura que los materiales satisfagan las necesidades y expectativas de los usuarios finales, lo que aumenta su efectividad y utilidad. Además, el diseño permite una optimización precisa de las propiedades y el rendimiento de los materiales, desde la resistencia hasta la durabilidad y la conductividad. En resumen, el diseño desempeñó un papel esencial en la investigación, ya que permitió contextualizar y desarrollar materiales que son relevantes, eficientes y adecuados para un entorno específico. Esto no solo beneficia a la investigación en sí, sino que también puede tener un impacto significativo en aplicaciones prácticas y en la resolución de desafíos del mundo real en contextos reales.

6.2. Limitaciones de la investigación y posibles vías futuras

La investigación puede presentar algunas limitaciones, y es importante reconocerlas para identificar posibles vías futuras de mejora y desarrollo. Dentro de las posibles limitaciones de la investigación se encuentra:

- **Escala de laboratorio:** Una limitación común en la investigación de laboratorio es la falta de escala real. Los resultados obtenidos en un entorno controlado de laboratorio pueden no reflejar completamente las condiciones y desafíos encontrados en la producción a gran escala. Una posible vía futura sería realizar pruebas a mayor escala, como ensayos piloto o implementación en campo, para evaluar la viabilidad y los desafíos prácticos de utilizar los residuos agrícolas del plátano en la industria.
- **Evaluación económica:** La evaluación económica para analizar los costos y beneficios asociados con la implementación del sistema de aprovechamiento de residuos agrícolas puede ampliarse para mejorar la consideración de los aspectos financieros y el potencial retorno de inversión. Un análisis más exhaustivo contribuye a determinar la viabilidad económica de la propuesta. La presente investigación puede ampliarse para incluir análisis económicos detallados, considerando los costos de recolección, transformación y comercialización, así como la valoración de los productos finales.
- **Investigación de mercado:** La investigación puede no abordar completamente el análisis de mercado y la demanda potencial de los productos derivados de los residuos agrícolas del plátano. Es importante comprender las necesidades del mercado y las preferencias de los consumidores para garantizar la aceptación y comercialización exitosa de los productos. Investigaciones futuras pueden enfocarse en la evaluación de la demanda del mercado, el análisis de competidores y las estrategias de comercialización para promover la adopción de estos productos.
- **Evaluación de impacto ambiental:** Aunque se reconocen los beneficios ambientales de utilizar los residuos agrícolas del plátano, la investigación puede carecer de una evaluación completa de su impacto ambiental en comparación con otras alternativas disponibles. Futuras investigaciones podrían incluir análisis de ciclo de vida y evaluaciones comparativas para evaluar de manera más precisa los beneficios ambientales y las implicaciones de utilizar los residuos agrícolas en diferentes aplicaciones industriales.
- **Consideraciones socioeconómicas:** La investigación puede no haber abordado completamente las consideraciones socioeconómicas relacionadas con la implementación del sistema de aprovechamiento de residuos agrícolas. Estos aspectos incluyen la participación de los agricultores, el impacto en las comunidades agrícolas locales y la equidad en la distribución de beneficios. Investigaciones futuras podrían explorar en mayor detalle estos aspectos, involucrando a los actores relevantes y considerando los aspectos sociales y culturales para lograr una implementación inclusiva y sostenible.

- Comprobación biológica: Esto implica evaluar si la introducción de estos materiales no tiene efectos negativos en la salud de las plantas, el suelo y el ecosistema circundante. Estas pruebas biológicas pueden garantizar que su aplicación sea compatible dentro del contexto, identificando posibles problemas y permitiendo ajustes en el diseño o la implementación de las alfombrillas para minimizar cualquier impacto negativo en el ecosistema agrícola.
- Análisis del uso y adopción del producto en el contexto: A través de encuestas y entrevistas a los agricultores, se puede evaluar el uso y la adopción que se tendrían las almohadillas luego de un tiempo, así como evaluar la viabilidad de que sea implementado a futuro en más empresas productoras o si se requieren cambios para que resulte factible dentro del sector platanero o incluso, en otros sectores agrícolas del país.

En conclusión, para hacer viable la implementación de sistemas de aprovechamiento de residuos agrícolas del plátano, es necesario llevar a cabo estudios de factibilidad, establecer asociaciones estratégicas, promover políticas favorables, proporcionar capacitación y transferencia de conocimientos, y comunicar los beneficios a la sociedad. Con un enfoque integral y colaborativo, se pueden superar los desafíos y aprovechar al máximo los residuos agrícolas del plátano, generando beneficios económicos, sociales y ambientales para las comunidades agrícolas y el medio ambiente.

En el futuro, las investigaciones sobre el aprovechamiento de residuos agrícolas del plátano y su transformación en productos de valor deben enfocarse en varios aspectos clave. En primer lugar, es importante optimizar los procesos de transformación para hacerlos más eficientes y sostenibles. Esto implicaría investigar y desarrollar métodos y tecnologías que permitan una extracción y procesamiento más eficientes de las fibras presentes en los residuos agrícolas del plátano, así como una fabricación más efectiva de los productos finales. De igual forma, se debe explorar y desarrollar nuevas aplicaciones para los productos derivados de los residuos agrícolas del plátano. Esto significa investigar su potencial en diferentes industrias, como la agroindustria, la construcción y la fabricación de envases biodegradables. La búsqueda de nuevas aplicaciones permitirá diversificar y ampliar el mercado para estos productos, creando oportunidades adicionales de valorización de los residuos agrícolas.

La evaluación del impacto ambiental es otro aspecto crucial a tener en cuenta en las investigaciones futuras. Es importante comprender y cuantificar el impacto ambiental de los sistemas de aprovechamiento de residuos agrícolas del plátano en comparación con alternativas convencionales. Esto implicaría realizar análisis de ciclo de vida, evaluar la huella de carbono y otros indicadores ambientales para garantizar que estos sistemas sean beneficiosos desde una perspectiva ambiental.

Además de los aspectos técnicos y ambientales, es fundamental desarrollar modelos de negocio sostenibles y rentables basados en la economía circular. Esto implica analizar la viabilidad económica de los sistemas de aprovechamiento de residuos agrícolas del plátano, identificar los

canales de comercialización más adecuados y estudiar estrategias de implementación a largo plazo. Los modelos de negocio sólidos y sostenibles son esenciales para garantizar la viabilidad a largo plazo de estos sistemas.

En una etapa posterior, es esencial llevar a cabo entrevistas contextuales para evaluar la adopción de las alfombrillas en el contexto agrícola. Estas entrevistas proporcionan una comprensión profunda de las percepciones y actitudes de los agricultores hacia las alfombrillas, identifican barreras y facilitadores para su uso, revelan prácticas de uso concretas y recopilan retroalimentación valiosa de los usuarios reales. Además, permite construir el sistema producto-servicio de la mano de los propios agricultores, de tal manera que la propuesta sea lo más cercana posible a la realidad y se incremente la posibilidad de que sea "apropiada" dentro del contexto. Por lo que esta información cualitativa es esencial para adaptar las soluciones a las necesidades locales y evaluar su escalabilidad dentro de otros contextos.

Por último, se debe prestar atención a la transferencia de tecnología y la escalabilidad de los sistemas de aprovechamiento de residuos agrícolas del plátano. Es crucial desarrollar tecnologías que sean fácilmente transferibles y escalables, lo que permitirá la adopción y replicación exitosa de estos sistemas en diferentes regiones y contextos. Además, es necesario identificar las barreras y desafíos para la implementación a gran escala y desarrollar estrategias para superarlos.

7. Referencias

- Alfonso, C., Caballero, J., Castillo, O., Castillo, I., Pérez, G., & Stecco, M. (1). (2015). Biocueros: Pieles marinas curtidas con savia de la musa paradisiaca. *Revista De Iniciación Científica*, 1(1), 46-50. Recuperado a partir de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/349>.
- Arango, A. & Barbutin, H. (2018). Productos de valor agregado a partir de residuos de cosecha y post-cosecha del plátano para el desarrollo territorial del Municipio de San Juan de Urabá. <http://hdl.handle.net/20.500.12622/4451>.
- Arteaga, L. (2014). Evaluación de residuos agroindustriales como sustrato para la producción de celulosa bacteriana empleando *gluconacetobacter medellinensis*.
- Artesanías de Colombia. (2015) Artesanía y Técnica Trabajo en Calceta de Plátano. MINCIT. Costa Rica 2015.
- Ashby, M., Shercliff, H., & Cebon, D. (2014). *Materials engineering science processing and design* (3 ed.). (U. o. Department of Engineering, Ed.) Oxford, UK: Elsevier.
- Bakker, C. A., den Hollander, M. C., van Hinte, E. & Zijlstra, Y. (2014). *Product that Last. Product Design for Circular Business Models*. Delft: TU Delft Library.
- Basurto, S., & Escalante, R. (2012). Impacto de la crisis en el sector agropecuario en México. *Economía UNAM*, 9(25), 51-73.
- Benyus, J. (2002). *Biomimicry: Invention Inspired by Nature*, Nueva York: HarperCollins Publishers.
- Bhamra, T.; Lofthouse, V. (2007). *Design for Sustainability: A Practical Approach*; Gower Publishing Ltd.: Hampshire, UK
- Bistagnino, L. (2009). *Design Sistemico. Progettare la sostenibilità produttiva e ambientale*. Bra, Italy: Slow Food Editore
- Bono Cabré, R. (2012). *Diseños Cuasi-Experimentales Y Longitudinales*. OMADO (Objectes i MAterials DOcents)
- Boisier, S. (2009). Sinergia E Innovación Local. *Semestre Económico*, 24(24), 21– 35
- Botero, J., & Mazzeo, M. (2009). Obtención de harina de ráquis del plátano dominico hartón, y evaluación de su calidad con fines de industrialización. Universidad de Caldas. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería de Alimentos
- Boulding, K. (1966). The Economics of Knowledge and the Knowledge of Economics". *American Economic Review*, Vol. 56, No. 1/2, March 1, 1966: 1–13
- Braungart, M., McDonough, W., Bollinger, A. (2007) *Cradle-to-cradle design: Creating healthy emissions—A strategy for eco-effective product and system design*. J. Clean.
- Braungart, M. & McDonough, W. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. North Point Press.

- Brown, J. R. (1982). *Biogenesis of natural polymer systems, with special reference to cellulose assembly and deposition.*, Richmond, Virginia: New York: Plenum Press.
- Camere, S., & Karana, E. (2018b). Experiential Characterization of Materials: Toward a Toolkit. In C. Storni, K. Leahy, M. McMahon, E. Bohemia, & P. Lloyd (Eds.), *Proceedings of DRS 2018 International Conference: Catalyst* (Vol. 4, pp. 1685–1705).
- Camere S, Karana E (2017) Growing materials for product design. In: *Alive. active. Adaptive proceedings.* Delft University of Technology international conference on experiential knowledge and emerging materials, Delft: TU Delft Open, June 19–20, pp 24–3
- Capra, F., & Luisi, P. (2014). *The Systems View of Life: A Unifying Vision.* Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511895555
- Castillo, G; Canto, B. (2011). Un mil usos: el plátano. *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana.*
- Castro Herazo, C. I. (Abril De 2012). *Desarrollo De Materiales Compuestos AutoEnsamblados De Celulosa Bacteriana/Alcohol Polivinílico Durante La Biosíntesis De La Celulosa Bacteriana.* Tesis. Medellin, Colombia
- Carrero, V., Soriano, R. M., & Trinidad, A. (2012). *Teoría Fundamentada Grounded Theroy.* El desarrollo de la teoría desde la generalización conceptual. Cuadernos metodológicos 37. Madrid: CIS.
- Causado Rodríguez, E., & Reatiga Charris, I. (2013). Cadena logística de subproductos residuales en la industria de tajada de plátano para exportación. *Revista Dimensión Empresarial*, 11(2), 9-16
- CCA. (2014). *La quema de residuos agrícolas: fuente de dioxinas.* Comisión para la Cooperación Ambiental. Montreal, Canadá.
- CEDRSSA. (2019). *Reporte: La producción y el comercio del plátano.* Palacio legislativo de San Lázaro. Cámara de Diputados.
- Ceebios, EuraMaterials, MNHN. (2021). *BiOMIg Bio-inspired materials open innovation generator.* Bpifrance
- CENAPRED. (2022). *Aprender de las inundaciones de 2020 Tabasco, México. Análisis de Capacidades Post-Desastre - PERC.* La Cruz Roja Mexicana, SET, IFRC y Zurich México. Recuperado de: <https://preparecenter.org/resource/inundaciones-de-2020-en-tabasco-aprender-del-pasado-para-preparar-el-futuro/>
- Chambouleyron, M. & Pattini, A. (2004). *El diseño y el imperativo ecológico.* Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Artes y Diseño.
- Charnley, F., Lemon, M., & Evans, S. (2011). Exploring the process of whole system design. *Design Studies*, 32(2), 156–179.
- Chávez-Pacheco, J. L., Martínez Yee, S., Contreras Zentella, M., & Escamilla Marván, E. (2004). *Celulosa Bacteriana En Gluconacetobactes Xylium: Biosíntesis Y Aplicaciones.* *Revista Especializada En Ciencias QuímicoBiológicas*, 7(1), 18-25.
- Circular systems. (2018). *AgraLoop BioFibre.* Recuperado de: <https://circularsystems.com/agraloop>
- Collet, C. (2013). *This is Alive.* Recuperado de: <http://thisisalive.com/about/>
- Cohen, N., Sicher, E. y Ugur S. (2020) *Designing with microbial cellulose to feed new biological cycles.* *International Journal of Food Design*, vol. 4, nº 2, pp. 155-171.
- Contreras Medrano, V. (2003) *El control de la erosión de suelos con mantas orgánicas: experiencias y aplicaciones prácticas.* *Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente*, ISSN 1136-4785, Nº. 117, 2003, pp. 64-66.

- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica. (2006). Manejo sostenible del cultivo del plátano.
- Creswell, J. (2008). *Mixed Methods Research: State of the Art*. University of Michigan. Recuperado de: http://www.sitemaker.umich.edu/creswell.workshop/files/creswell_lecture_slides.ppt
- Cuello Núñez, R. (2019). *Diseño sostenible en la sociedad del 2020: análisis de tendencias y desarrollo de un proyecto editorial*. Universidad Politécnica de Valencia.
- De los Rios, I. C., & Charnley, F. J. S. (2017). Skills and capabilities for a sustainable and circular economy: The changing role of design. *Journal of Cleaner Production*.
- Díaz, J, & Silva Leal, J. (2015). Análisis De Flujo De Materiales En Sistemas Humanos: Una Revisión. *Revista EIA*, (23), 149-161.
- Doveil, F. (2020). The future belongs to biomaterials. How designers are taking up the challenge. *Lifegate*. Recuperado de: <https://www.lifegate.com/biomaterials-design-future>
- Driessnack, M., Sousa, V. y Costa, I. (2007). Revisión de los diseños de investigación relevantes para la enfermería: Métodos mixtos y múltiples. *Revista Latino- Americana de Enfermagem*. Pág. 179-182.
- Duvey, V., Saxena, C., Singh, L., Ramana, K., & Chauchan, R. (2002). Pervaporation Of Binaywater-Ethanol Mixtures Through Bacterial Cellulose Membrane. *Separation And Purification Technology*, 27(3), 163-171.
- Elkington, J. (1986). *The Green Designer*, Booklet prepared for the Green Designer Exhibition, The Design Council, London.
- Espino, X. (2019). *Buenas Prácticas Agrícolas Para El Cultivo De Plátano*. ASMIIA. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020a). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020*.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020b). *Análisis del mercado del banano Panorama general de febrero de 2020*
- Fernandes, E., Marangoni, C., Souza, O., & Sellin, N. (2013). Thermochemical characterization of banana leaves as a potential energy source. *Energy Conversion and Management*, 2013(75), 603-608.
- Filippone, M., Mamani, M. (2018) *Bioinsumos : componentes claves de una agricultura sostenible*. FAO.
- FP - Fresh Plaza. (2018). *Latinoamérica más el Caribe representaron las exportaciones bananeras de mayor valor en 2018*. Recuperado de: <https://www.freshplaza.es/article/9180004/latinoamerica>
- Franky, J. (2015). *El acto de diseñar: entre otras quijotadas*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Frosch, R. (1995). *Industrial Ecology. Adapting Technology for a Sustainable World*. *Environment*, 37(10), pp. 17-37.
- Fundación Ellen MacArthur. (2017). *Circular Design*. Recuperado de: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/explore/circular-design>
- Fundación Ellen MacArthur. (2016). *Diseño circular: convertir la ambición en acción*. Recuperado de: <https://ellenmacarthurfoundation.org/es/temas/diseno-circular/vision-general>
- Ellen MacArthur Foundation. (2013) *Towards the Circular Economy Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*.

- Galeana, E. A., & Rojas, M. N. (2017). Aislamiento de nanofibrillas de celulosa a partir de residuos sólidos orgánicos agrícolas para la producción de biomateriales que puedan sustituir a las fibras sintéticas.
- Gamble, C. N., Hanan, J. S., & Nail, t. (2019). What Is New Materialism? *Angelaki*, 24 (6), 111–134. DOI: 10.1080/0969725X.2019.1684704
- Gañan P., J. Cruz, S. Garbizu, A. Arbelaiz, I. Mondragón. (2004). Stem and bunch banana fibers from cultivation wastes: Effect of treatments on physico-chemical behavior, *J. Appl. Polym.*
- Garavello, E., Da Silva, M., Márcia, R., & Pacheco dos Santos, K. (2008). Artesanía con fibra de banano en la perspectiva de la multifuncionalidad en comunidades quilombolas. *Interciencia*, 33(1), 34-40.
- Giaccardi, E., & Karana, E. (2015). Foundations of Materials Experience: An Approach for HCI. Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, 2447–2456.
- Gómez, C. (2019). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): una revisión crítica. *Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Global. Panorama.*
- González D. 2013. Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la producción de alimentos funcionales: una aproximación desde la nutrición animal. Trabajo de grado, Corporación Universitaria Lasallista, Caldas, Antioquia.
- Guerrero, A. B., Aguado, P. L., Sánchez, J., & Curt, M. D. (2016). El plátano, más residuos que producto. ¿Una fuente de bioenergía? Recuperado el 20 de julio de 2018, de Universidad Politécnica de Madrid: http://www.upm.es/observatorio/vi/index.jsp?pageac=innovacion/articulo.jsp&id_articulo=607&id_tipo_articulo=2
- Guerrero R y Valenzuela L. 2011. Agroindustria y medio ambiente. Trilogía. *Ciencia Tecnología Sociedad*, 23(33):63-83
- Haro Velasteguí, A. J., Borja Arévalo, A. E., Triviño Bloisse, S. Y., & Dominio de las Ciencias. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. *Dominio de Las Ciencias*, ISSN 2477-8818, Vol. 3, Nº. 2, 2, 2017, Págs. 506-525.
- Hedrick, T.E., Bickman, L. y Rog, D.J. (1993). *Applied research design. A practical guide.* Newbury Park, CA: Sage.
- Hernández, R. Fernández C. y Baptista P. (2010). *Metodología de la Investigación.* México DF: Mc Graw Hill.
- Hernández Vidal, N. E., López Bautista, V., Morales Morales, V., Méndez Ordóñez, W., & Calderón Osorio, E. S. (2018). Caracterización química de la Fibra de Coco (*Cocus nucifera* L.) de México utilizando Espectroscopía de Infrarrojo (FTIR). *Ingeniería Y Región*, 20(1), 67–71. <https://doi.org/10.25054/22161325.1914>
- Kagan, S. (2011). Aesthetics of Sustainability: A Transdisciplinary Sensibility for Transformative Practices. *Transdisciplinary Journal of Engineering & Science*, 2.
- Kalia, S., Kaith, B., Kaur, I. (2011). *Fibras de celulosa: compuestos biológicos y nanopolímeros.* Springer.
- Karana, E., Blawuhoff, D., Hultink, E.-j., & Camere, S. (2018). When the Material Grows: A Case Study on Designing (with) Mycelium-based Materials. *International Journal of Design*, 12 (2), 119–136
- Kasper, F., Eveline, R., Marangoni, C., Souza, O., y Sellin, N. (2013). Thermochemical characterization of banana leaves as potential energy source. *Energy conversion and management*. 75: 603 – 608.

- Knošková, L. (2020). Circular Design and Consumer Involvement in Circular Economy. *Studia Commercialia Bratislavensia*, 13(43), 25–34.
- Lankester, A. (2018). What is a Circular Economy? Recuperado de: <https://www.changinggears.net/what-is-circular-economy/>
- Lievano, S. (2019). Desafíos del Cambio Climático en Tabasco, México. *Rev. Castellano-Manchega Ciencias* 26 (2019) 207–224.
- López, J., Cuarán, J., Arenas, L., & Flórez, L. (2014). Usos potenciales de la cáscara de banano: elaboración de un bioplástico. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 1, 7–21.
- Madge, P. (1997). *Ecological Design: a new critique*. Design Issues: Volume 13, Number 2, MIT Press, Massachusetts, 1997.
- Manzini, E., Vezzoli, C. (2002). *Product Service Systems and Sustainability. Opportunities for Sustainable Solutions*, UNEP-DTIE, Paris.
- McDonough, W., Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*; North Point Press: New York, NY, USA.
- McKinsey & Company. (2012). *Towards the Circular Economy: an economic and business rationale for an accelerated transition*. Ellen MacArthur Foundation. p. 60.
- Mejía, G., Gómez, J. (2020). Los desechos generados por la industria bananera colombiana. *Zona Logística*. Seminario Internacional Gestión Ambiental de Residuos Sólidos y Peligrosos. Recuperado de: <https://zonalogistica.com/los-desechos-generados-por-la-industria-bananera-colombiana/>
- Minuto, a., Pittarello, F., & Nijholt, A. (2014). New Materials = New Expressive Powers: Smart Material Interfaces and Arts, An Interactive Experience Made Possible Thanks to Smart Materials. *Proceedings of the 2014 International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, 141–144.
- Moreno, M., De los Rios, C., Rowe, Z., & Charnley, F. (2016). A Conceptual Framework for Circular Design. *Sustainability*, 8(9), 937.
- Moscoloni, N. (2005). Complementación metodológica para el análisis de datos cuantitativos y cualitativos en evaluación educativa. *Revista Electrónica de Metodología aplicada*. Pág. 1-10.
- Myceco, C. (2020). Biomimétisme. Quels leviers de développement & quelles perspectives pour la France?. *Restitution de la Journée de Travail France Stratégie*
- Nurhayati, A. (2014). Characterization of banana (*Musa spp.*) pseudo-stem and fruit - bunch - stem as a potential renewable energy resource. *International Journal of Energy and Power Engineering* 8(8):815 – 819
- OECD (2009), “Eco-Innovation Policies in The People’s Republic of China”, Environment Directorate, OECD.
- ONU. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible. Agenda 2030*. Organización de las Naciones Unidas
- Ortega, A. O. (2018). Enfoques de investigación. *Métodos para el diseño del proyecto de Investigación*. Pág. 3-20.
- O'sullivan, A. (1997). Cellulose: The Structure Slowly Unravels. *Cellulose*, 4(3), 173-207.
- Otzen, T., Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Sampling Techniques on a Population Study*
- Ordoñez, K. & Sepúlveda, C. (2019). Caracterización físico química de los residuos del plátano y el café para su posible uso como materias primas en la fabricación de papel. Recuperado de:

<http://hdl.handle.net/11349/24795>.

- Oxman, N. (2016). Age of Entanglement. *Journal of Design and Science*.
<https://doi.org/10.21428/7e0583ad>
- Parisi, S., & Shetty, S. (2020). Alive, Provocative, Surprising: Emotional Dimensions of Bio-Synergistic Materials for Socially Meaningful Design. *Diseña*, (17), 128–159.
<https://doi.org/10.7764/disena.17.128-159>
- Parra Negrete, L. A., del Villar Quiñones, P., & Prieto Rodríguez, A. (2010). Extracción de fibras de agave para elaborar papel y artesanías. *Acta Universitaria*, 20(4), 77–83.
<https://doi.org/10.15174/au.2010.63>
- Paz, I., Rivera, C., Buelvas, L., Franco, G., & Marsiglia, D. (2015). Diagnóstico de los principales residuos agrícolas generados en el departamento de Bolívar. *Scientia Agroalimentaria*, 2(2015), 39-50.
- Pedraza, C. G. (2019). Caracterización de la fibra del pseudotallo de plátano como refuerzo y desarrollo de un material compuesto para fabricación de teja. (Trabajo de grado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Duitama.
- Pedhazur, E. y Schmelkin, L. (1991). *Measurement, design, and analysis. An integrated approach*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Plantalogic. (2021) Alfombras para Maleza de Fibra de coco. Galuku. Sydney, Australia. Recuperado de <https://getplantlogic.com/wp-content/uploads/2021/06/Plantlogic-Weed-Mat-ESP.pdf>
- PROFEPA. (2015). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Reforma DOF 22-05-2015. Recuperado de: <https://www.gob.mx/profepa/documentos/ley-general-para-la-prevencion-y-gestion-integral-de-los-residuos-62914#:~:text=Tiene%20por%20objeto%20garantizar%20el,la%20contaminaci%C3%B3n%20de%20sitios%20con>
- Projar. (2020). Fibra de coco. Valencia, España. Recuperado de https://www.projar.es/wp-content/uploads/2020_Cat_Fibra-de-Coco_ONLINE.pdf
- Ramirez, K. (2019). Generación de residuos de plátano y su posible utilización para apoyar la seguridad alimentaria. UAEM. Morelos.
- Ramírez S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales, cascarilla de arroz (*Oriza sativa*) y residuos de papa (*Solanun tuberosun*) para la producción de *Trichoderma spp*. Trabajo de grado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- Rogers, H. (2005). A Brief History of Plastic. *The Brooklyn Rail*. Recuperado de: <https://brooklynrail.org/2005/05/express/a-brief-history-of-plastic>
- Rognoli, V., Bianchini, M., Maffei, S., & Karana, E. (2015). DIY materials. *Materials & Design*, 86, 692-702
- Rojas, M. (2019). Diseño Circular para cambiar el mundo. Muak Studio. recuperado de: <https://muakstudio.medium.com/diseño-circular-para-cambiar-el-mundo>
- Rosas, D.; Ortiz, H.; Herrera, J y Leyva O. (2016). Revalorización de algunos residuos agroindustriales y su potencial de aplicación a suelos agrícolas. *Agroproductividad*, 9(8):18-23.
- RSA. (2013). Investigating the Role if Design in the Circular Economy. *The Great Recovery*. RSA
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *Biotechnología*. Vol.16. Instituto de Ingeniería, UNAM
- Secretaría de Economía (SE). (2012). Monografía del sector plátano en México: situación actual y oportunidades de mercado. Dirección General de Industrias Básicas

- SEG. (2020). Degradación ambiental de Tabasco. Grupo SEG. Recuperado de: <https://www.gruposegmx.com/post/degradacion-ambiental-de-tabasco>
- SEGOB. (2022). Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2022-2024. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5673264
- Setywati, M. I., Chien, L., & Lee, C. (2009). Self- Immobilized Recombinant Acetobacter Xylium For Biotransformation. *Biochem. Eng.J*, 43, 78-84
- SIPSA. (2014). El cultivo del plátano (*Musa paradisiaca*), un importante alimento para el mundo. Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario. Dane.
- SIAP. (2018). Atlas Agroalimentario 2012-2018. Recuperado el 22 de agosto de 2018, de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera: https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/AtlasAgroalimentario-2018
- Skinner, P. O., & Cannon, R. E. (2000). *Acetobacter Xylinum: An Inquiry Into Cellulose Biosynthesis*. *The American Biology Teacher*, 62(6), 442-444.
- Tamayo Gutiérrez, E., Sarasty Miranda, O., & Mosquera Quelal, E. (2017). Aprovechamiento de residuos ligno-celulósicos en la elaboración de empaques secundarios ecológicos. *Industrial Data*, 20(2), 37-42.
- Torres, K., Hidalgo, P. (2013). Experimentación tecnológica de la fibra de banano aplicada en el diseño de objetos. Universidad del Azuay.
- UNEP. (2007). *Diseño para la Sostenibilidad: Un enfoque práctico para economías en desarrollo*. Universidad Tecnológica de Delft
- Van, C. (1996). "Experiments in Dutch ecodesign", *Co-Design Journal, The interdisciplinary journal of design and contextual studies*, Issue 5/6, Mike Press, Sheffield Hallam. University, UK.
- Vargas Corredor, Y. A., & Pérez Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 1(1), 59-72.
- Velasteguí, A.; Arévalo, A.; Bloisse, S. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. *Dominio de las Ciencias*, ISSN-e 2477-8818, Vol. 3, Nº. 2, 2, 2017, págs. 506-525
- Vezzoli, C., Manzini, E. (2008). *Design for Environmental Sustainability*; Springer: London, UK, 2008.
- Vincent, J. (2006) "Applications: Influence of Biology on Engineering", En: *Journal of Bionic Engineering*, No.3, pp.161-177.
- Wastling, T.; Charnley, F.; Moreno, M. (2018) *Design for Circular Behaviour: Considering Users in a Circular Economy*. *Journal Sustainability*; V. 10, 22p.; DOI: 10.3390/su10061743. May,
- WDS - World Design Summit. (2017). *Montréal Design Declaration Issued at the 2017 Montréal World Design Summit*.
- White, H. y Sabarwal, S. (2014) *Diseño y métodos cuasi experimentales. Síntesis metodológicas Sinopsis de la evaluación de impacto n.º 8*. UNICEF
- WTE - World Top Exports. (2019). *Bananas Exports by Country*. World's Top Exports. Recuperado de: <https://www.worldstopexports.com/bananas-exports-country/>
- Yamada, Y. y Hoshino, K. , (1997).The phylogeny of acetic acid bacteria based on the partial sequences of 16S ribosomal RNA: the elevation of the subgenus *Gluconoacetobacter* to the generic level. *Biosci Biotechnol Biochem. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, vol. 61, nº 8, pp. 1244-51.

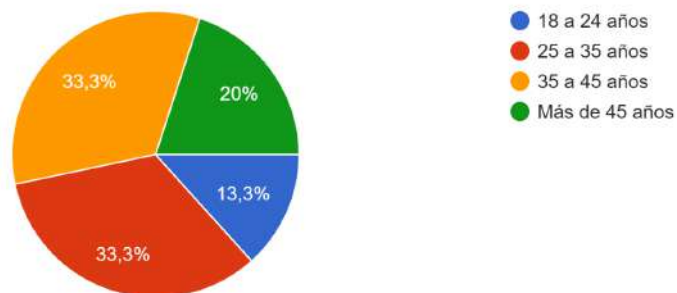
8. Anexos

08

Anexo A: Resultados del cuestionario virtual

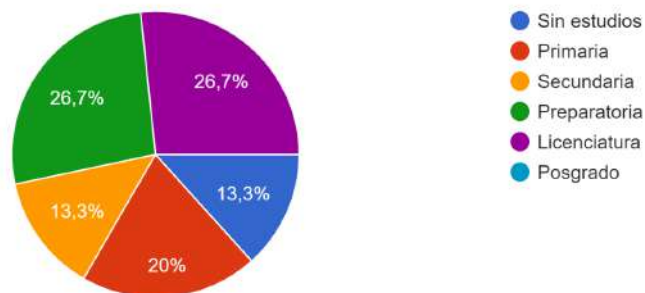
Edad

15 respuestas

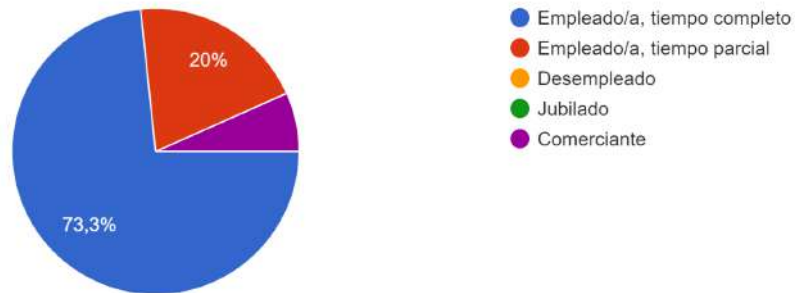


Nivel de Estudios

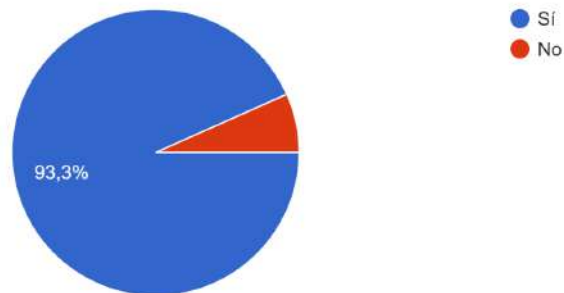
15 respuestas



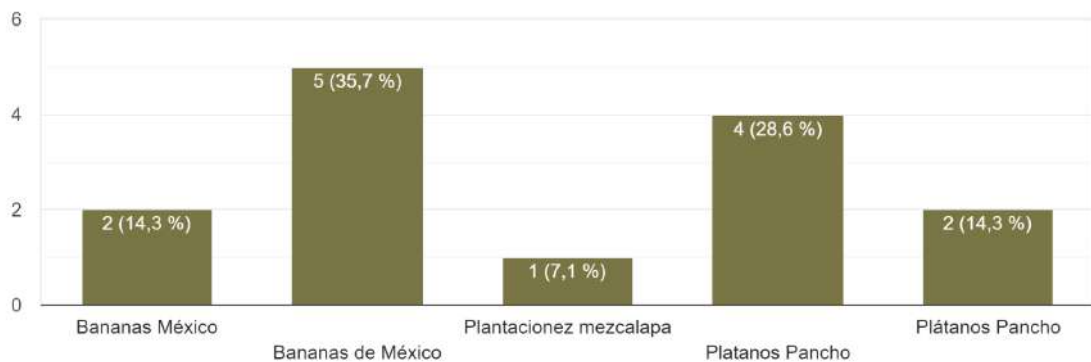
Ocupación
15 respuestas



¿Conoce o trabaja en alguna organización platanera?
15 respuestas

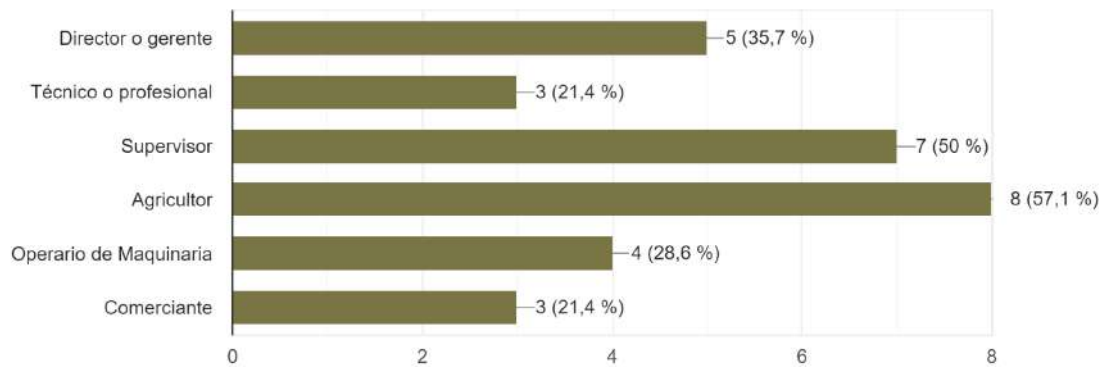


En caso de ser sí, ¿En cuál organización platanera trabaja o conoce?
14 respuestas



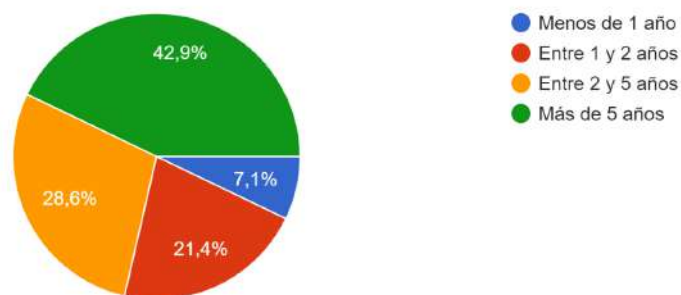
¿Qué cargo desempeña en la organización?

14 respuestas



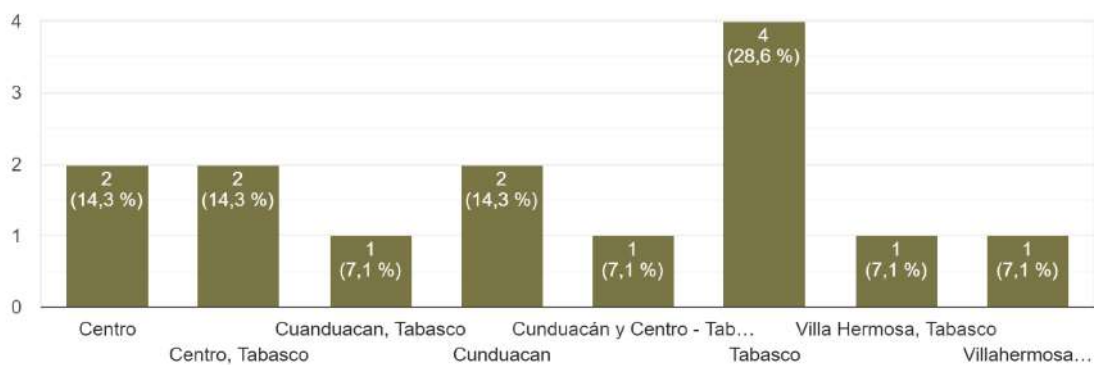
¿Cuántos años de experiencia en la industria tiene?

14 respuestas



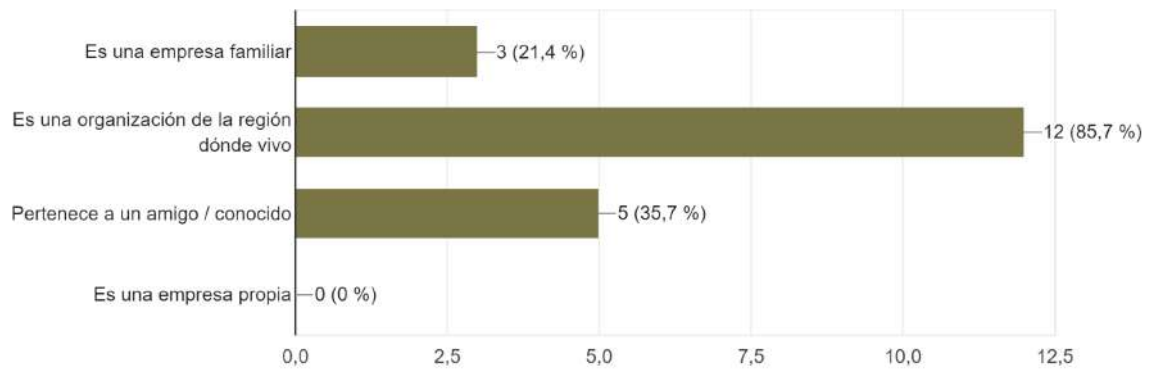
¿En qué región del país trabaja?

14 respuestas



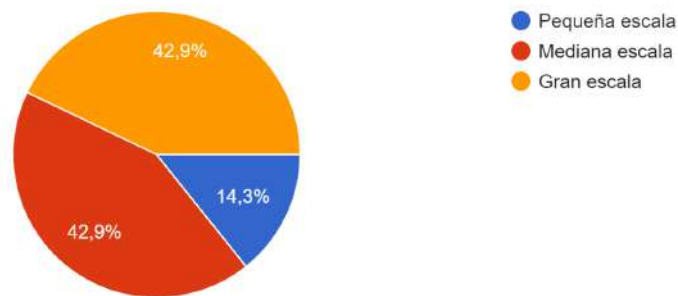
¿Cuál es su vínculo con la organización?

14 respuestas



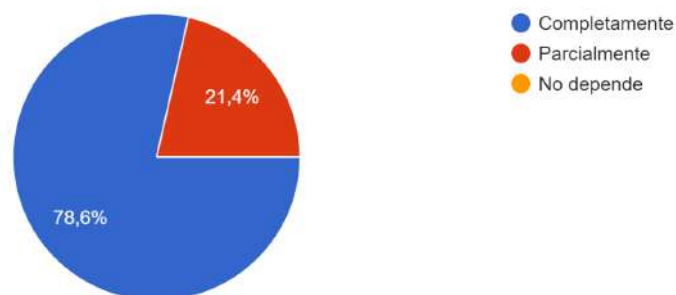
¿Cuál es la escala de producción de su organización?

14 respuestas



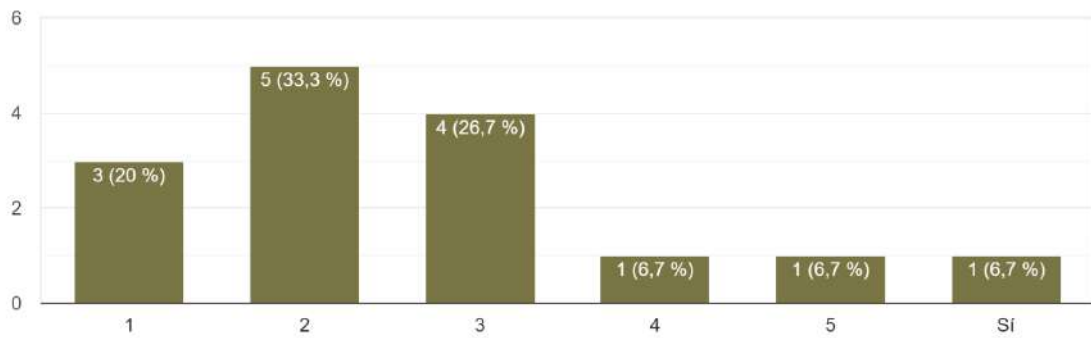
¿Su sustento económico depende de su trabajo en las plantaciones de plátano?

14 respuestas



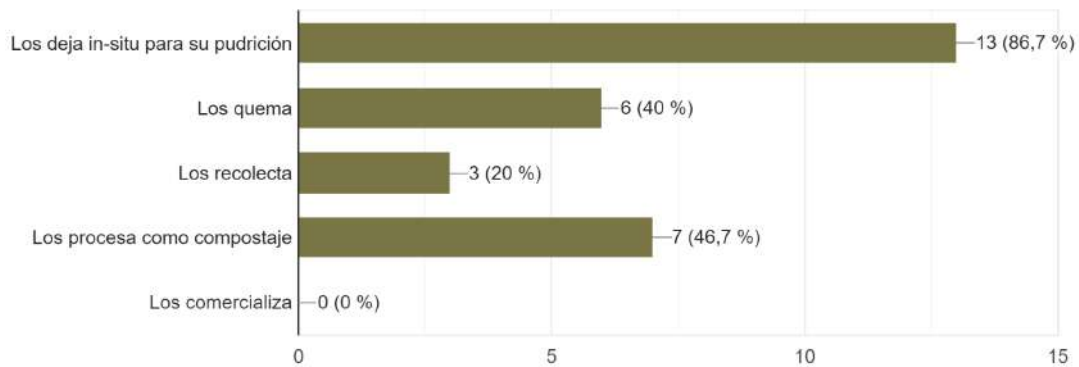
Del 1 al 5, ¿Qué tanto valor tiene un residuo agrícola para usted?

15 respuestas



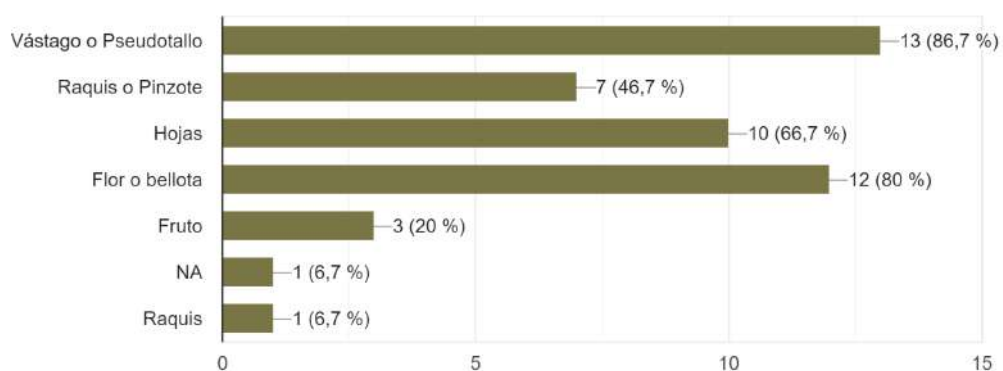
Según su conocimiento, ¿Qué hace la industria con estos residuos?

15 respuestas



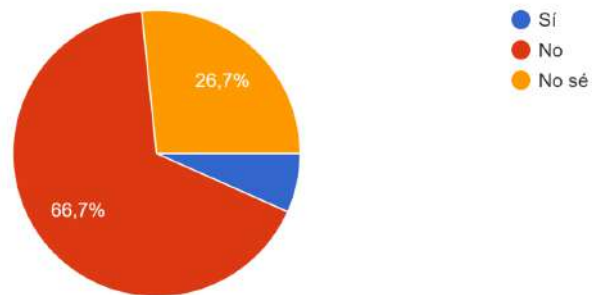
¿Cuál(es) de estas partes de la planta se desechan en su organización?

15 respuestas



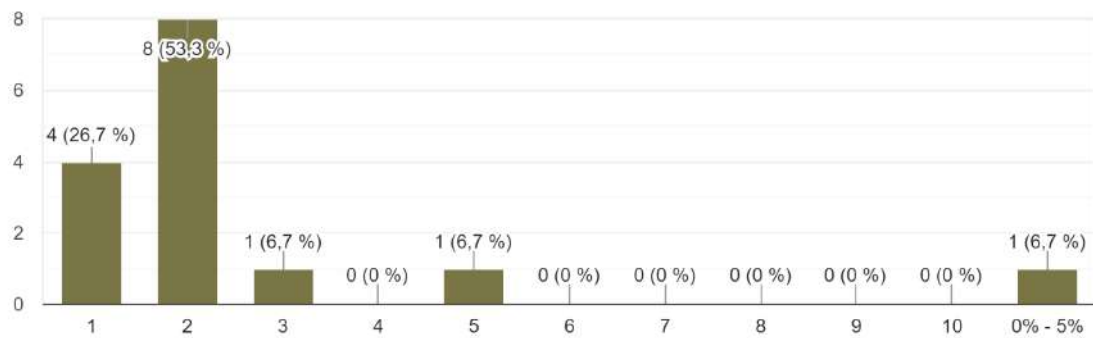
¿Reconoce algún tipo de uso de estos residuos agrícolas en su organización?

15 respuestas



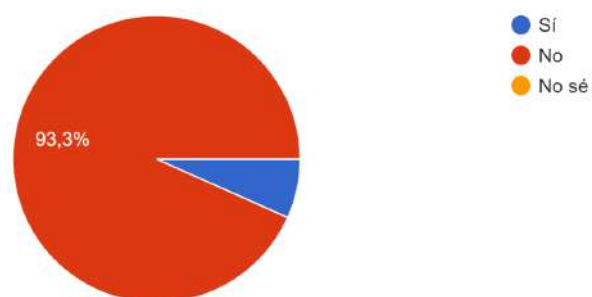
¿Qué porcentaje de los residuos considera que se aprovechan en su organización?

15 respuestas



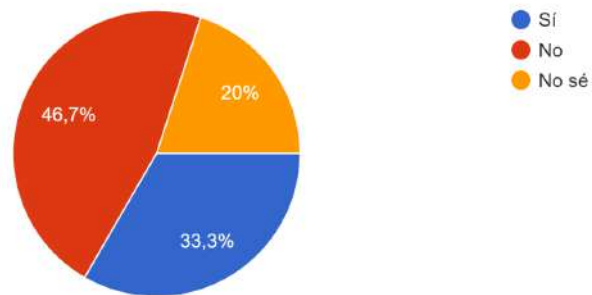
En su organización, ¿Existe una clasificación de los residuos después de la cosecha?

15 respuestas



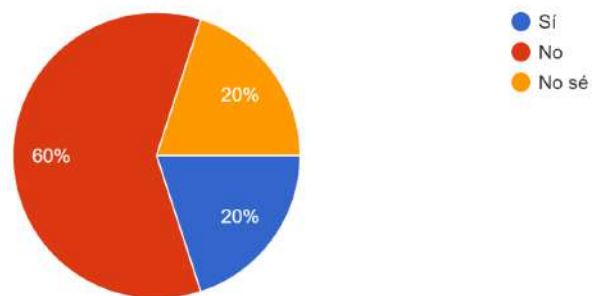
¿Se cuenta con un área para disponer los residuos?

15 respuestas



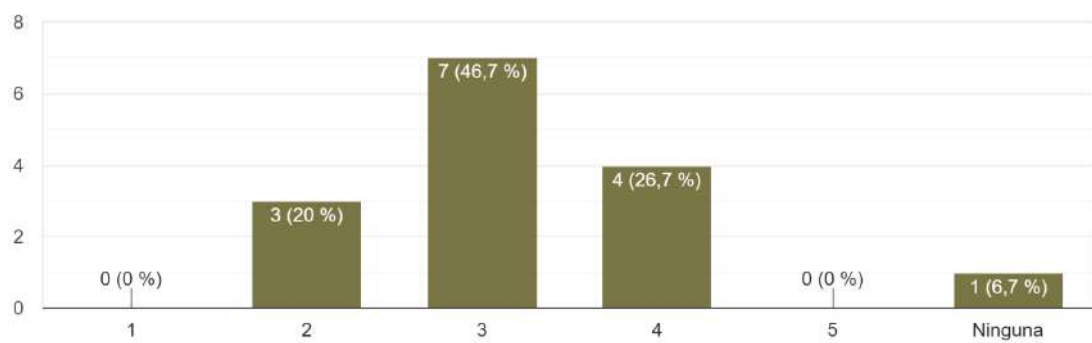
¿Existen convenios o personal para la recolección de los residuos?

15 respuestas



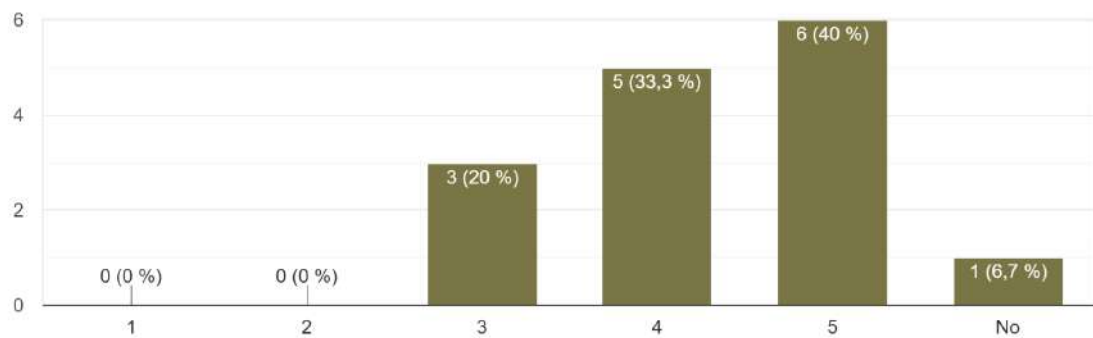
¿Considera que existe una gestión eficiente de residuos en su organización?

15 respuestas



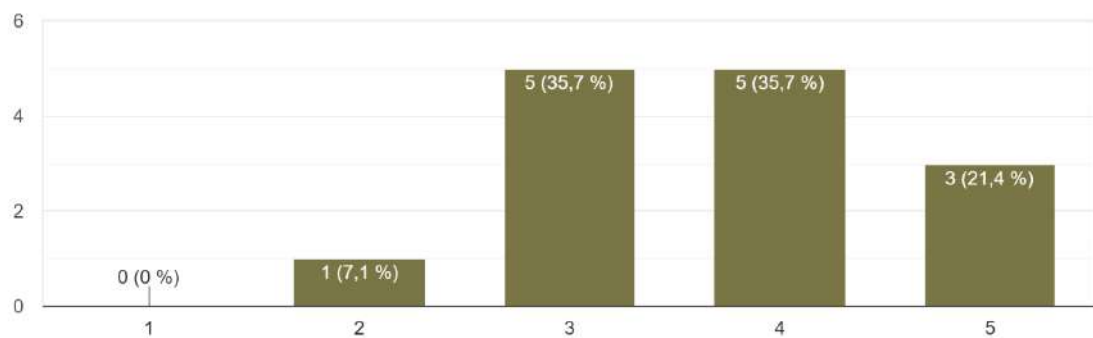
¿Qué tanta importancia se le da al cuidado del ambiente en su organización?

15 respuestas



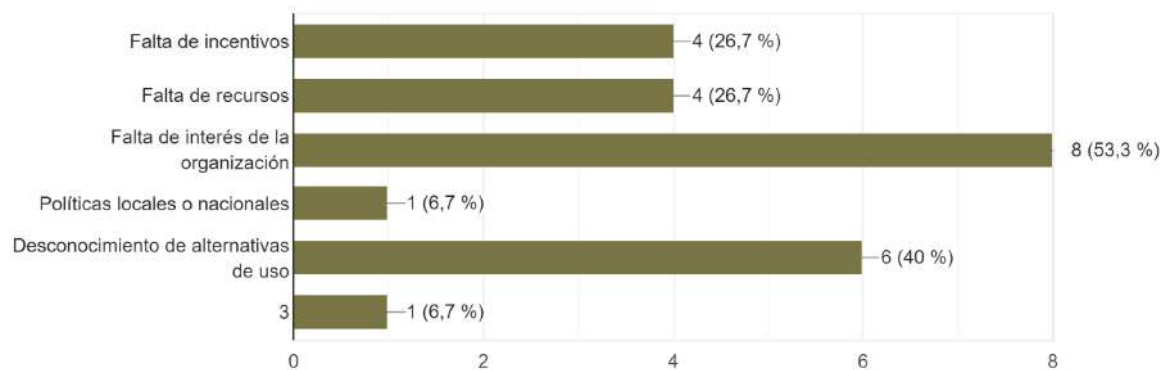
¿Considera importante darle otros usos a los residuos agrícolas que son desechados?

14 respuestas



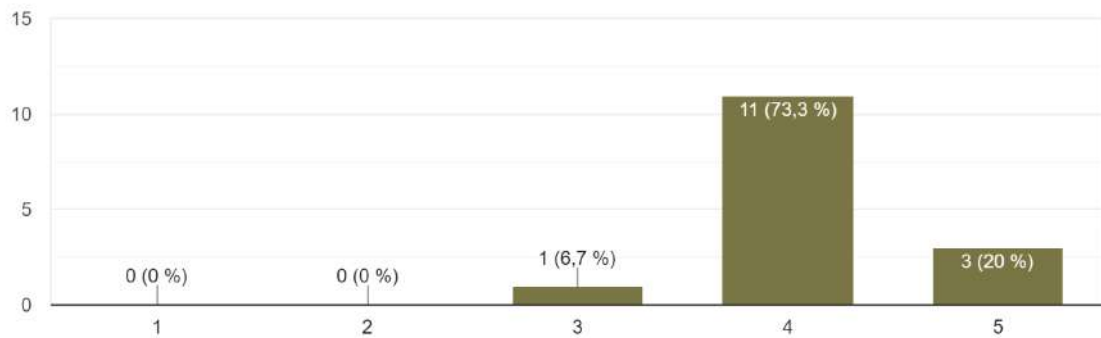
¿Qué barreras considera que existen en su organización para dar un manejo diferente a los residuos?

15 respuestas



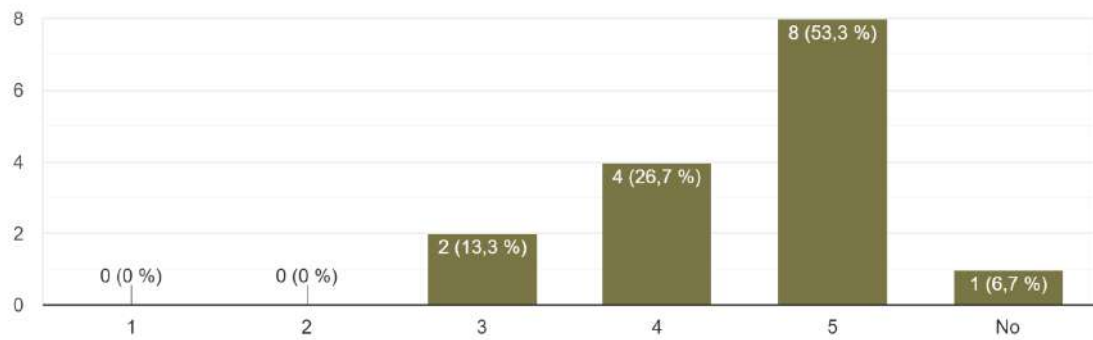
¿Considera que su organización apoyaría proyectos que mejoren la gestión de los residuos agrícolas post cosecha?

15 respuestas



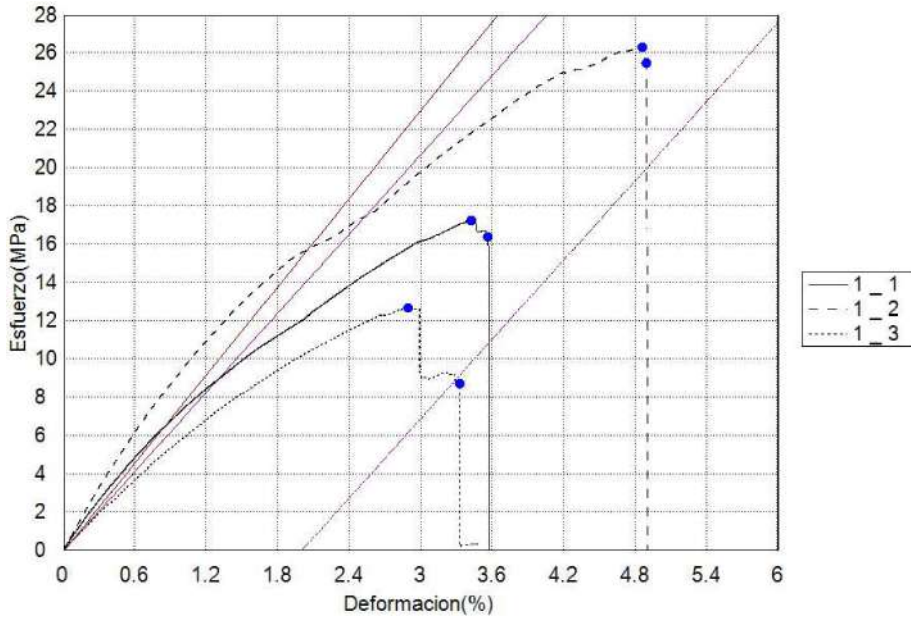
¿Considera importante que se generen proyectos que apoyen el trabajo local y vinculen a la comunidad de la región?

15 respuestas



Anexo B: Resultados de las pruebas mecánicas

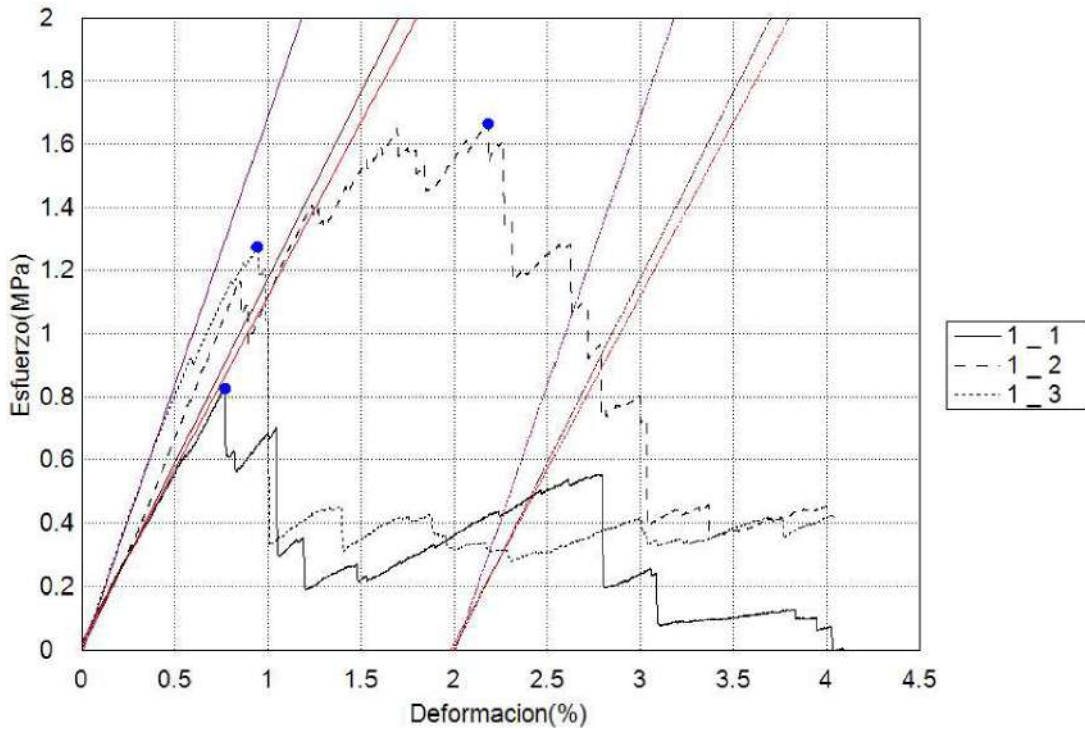
1B - Aglomerado de PVA (baja densidad)



Prueba mecánica muestras 1B. Elaboración propia

Nombre	M. Elastico	LimiteElastico1_Fuerza	LE1_Esfuerzo	Max._Fuerza	Max._Esfuerzo	Max._Desplazamiento	Rotura_Esfuerzo	Energia 1
Parámetros	Esfuerzo 0.01 - 0.03 MPa	2 %	2 %	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Sensibilidad 10	Calc. at Entire Areas
Unidad	MPa	N	MPa	N	MPa	mm	MPa	J
1_1	--	--	--	227.75	17.253	0.856	16.390	0.124
1_2	769.143	--	--	295.75	26.289	1.215	25.455	0.226
1_3	690.743	109.30	8.886	155.85	12.671	0.724	8.710	0.079
Media	729.943	109.30	8.886	226.45	18.738	0.932	16.852	0.143
Desviación Estándar	55.4372	--	--	69.9591	6.92933	0.25410	8.38204	0.07532
Maximo	769.143	109.30	8.886	295.75	26.289	1.215	25.455	0.226
Minimo	690.743	109.30	8.886	155.85	12.671	0.724	8.710	0.079
Rango	78.4000	0.00000	0.00000	139.900	13.6180	0.49100	16.7450	0.14700

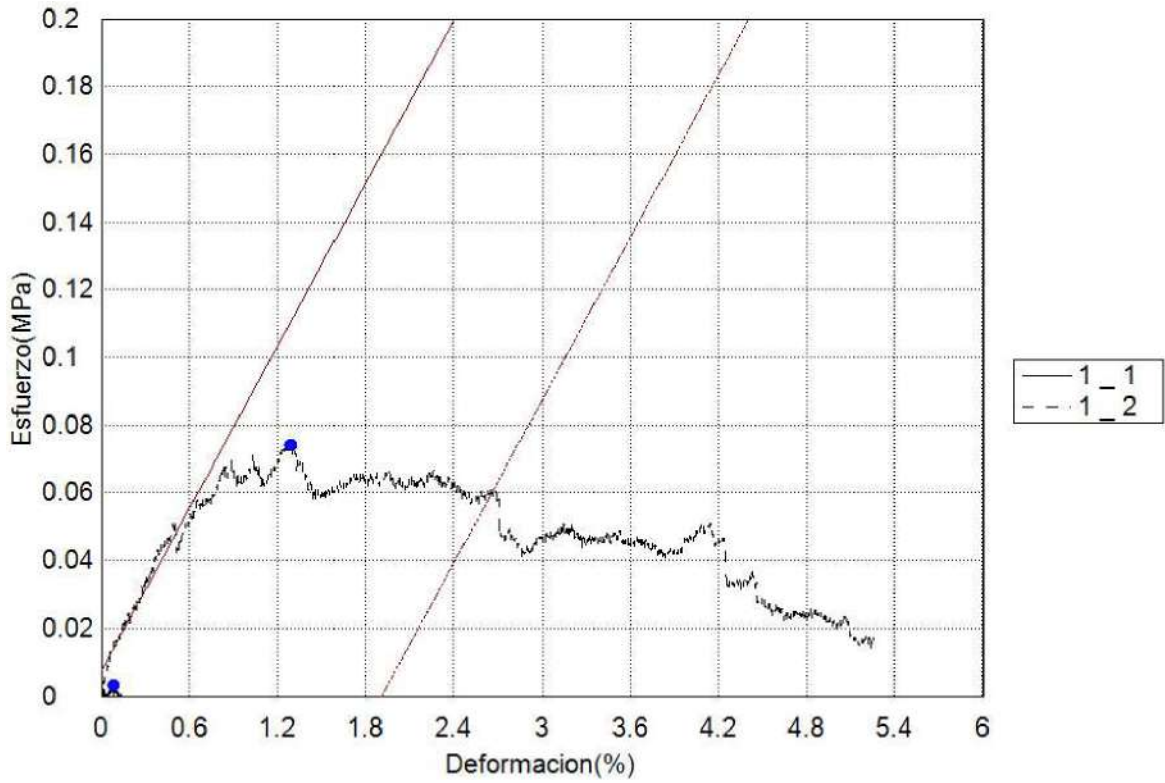
2BL - Aglomerado de PVA (baja densidad) y lixiviado - 50:50



Prueba mecánica muestras 2BL. Elaboración propia

Nombre	M. Elastico	LimiteElastico1 Fuerza	LE1_Esfuerzo	Max. Fuerza	Max. Esfuerzo	Max. Desplazamiento	Rotura_Esfuerzo	Energia 1
Parametros	Esfuerzo 0.1 - 0.3 MPa	2 %	2 %	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Sensibilidad 10	Calc. at Entire Areas
Unidad	MPa	N	MPa	N	MPa	mm	MPa	J
1_1	109.878	8.17	0.486	13.88	0.826	0.193	--	0.005
1_2	117.239	16.88	0.879	31.95	1.664	0.546	--	0.018
1_3	170.091	6.95	0.315	28.09	1.274	0.236	--	0.010
Media	132.403	10.67	0.560	24.64	1.255	0.325	--	0.011
Desviacion Estandar	32.8459	5.41537	0.28919	9.51620	0.41933	0.19260	--	0.00656
Maximo	170.091	16.88	0.879	31.95	1.664	0.546	--	0.018
Minimo	109.878	6.95	0.315	13.88	0.826	0.193	--	0.005
Rango	60.2130	9.93000	0.56400	18.0700	0.83800	0.35300	--	0.01300

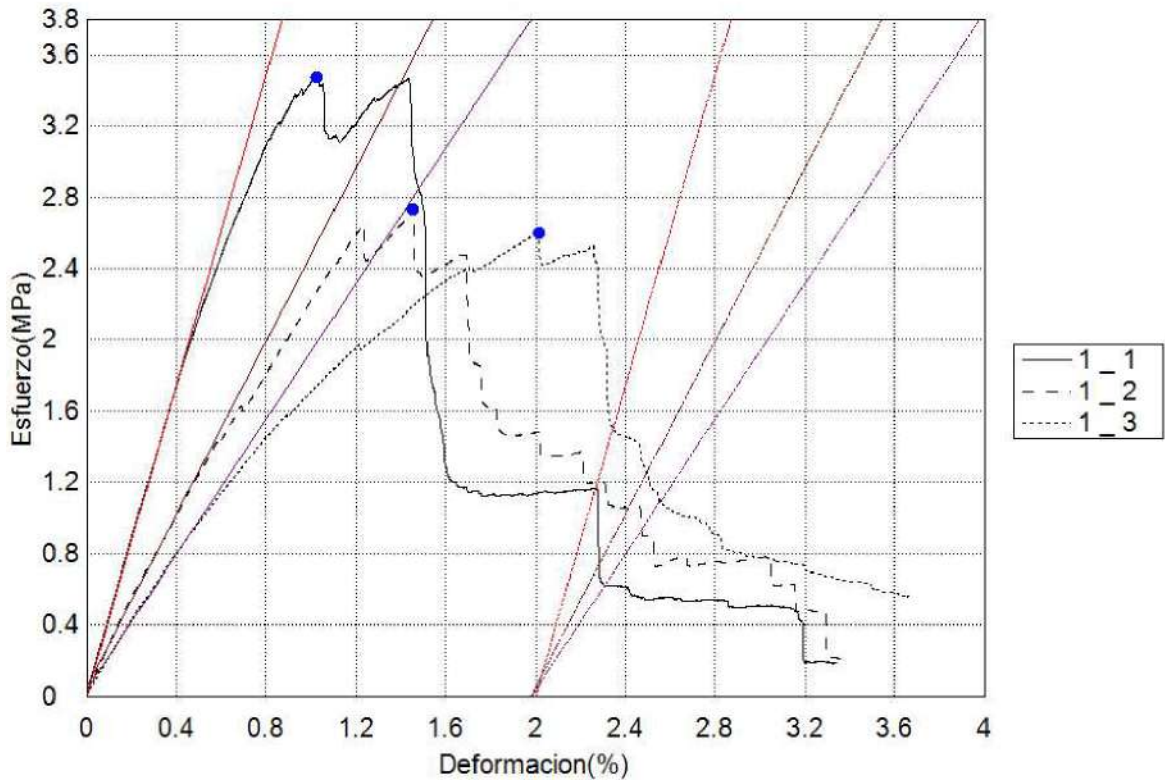
3BL - Aglomerado de PVA (baja densidad) y lixiviado - 70:30



Prueba mecánica muestras 3BL. Elaboración propia.

Nombre	M. Elastico	LimiteElastico1_Fuerza	LE1_Esfuerzo	Max._Fuerza	Max._Esfuerzo	Max._Desplazamiento	Rotura_Esfuerzo	Energia_1
Parametros	Esfuerzo 0.01 - 0.03 MPa	2 %	2 %	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Sensibilidad 10	Calc. at Entire Areas
Unidad	MPa	N	MPa	N	MPa	mm	MPa	J
1_1	--	--	--	0.09	0.003	0.021	--	0.000
1_2	8.004	1.77	0.059	2.23	0.074	0.323	--	0.002
Media	8.004	1.77	0.059	1.16	0.039	0.172	--	0.001
Desviacion Estandar	--	--	--	1.51321	0.05020	0.21355	--	0.00141
Maximo	8.004	1.77	0.059	2.23	0.074	0.323	--	0.002
Minimo	8.004	1.77	0.059	0.09	0.003	0.021	--	0.000
Rango	0.00000	0.00000	0.00000	2.14000	0.07100	0.30200	--	0.00200

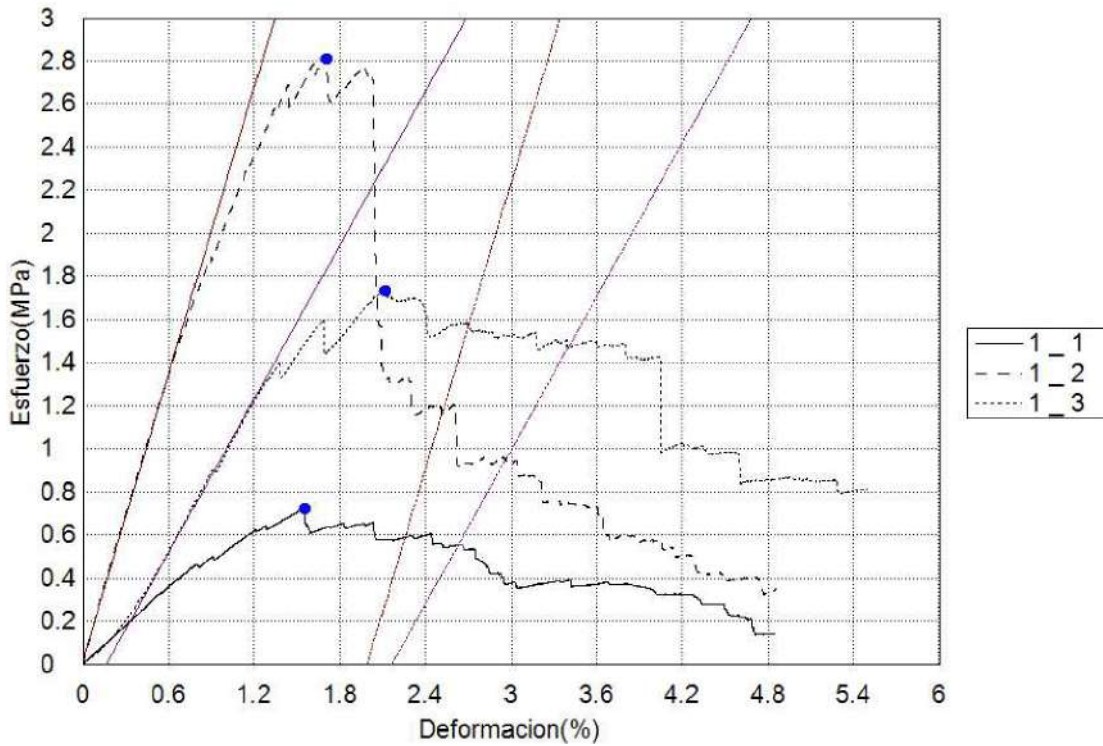
1M - Aglomerado de PVA (media densidad)



Prueba mecánica muestras 1M. Elaboración propia

Nombre	M. Elastico	LimiteElastico1 Fuerza	LE1_Esfuerzo	Max. Fuerza	Max. Esfuerzo	Max. Desplazamiento	Rotura Esfuerzo	Energia 1
Parámetros	Esfuerzo 0.3 - 0.8 MPa	2 %	2 %	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Sensibilidad 10	Calc. at Entire Areas
Unidad	MPa	N	MPa	N	MPa	mm	MPa	J
1_1	435.543	23.06	1.164	68.81	3.475	0.257	--	0.025
1_2	242.679	24.88	1.057	64.24	2.728	0.364	--	0.027
1_3	189.873	29.23	1.095	69.46	2.601	0.503	--	0.034
Media	289.365	25.72	1.105	67.50	2.935	0.375	--	0.029
Desviación Estándar	129.318	3.17027	0.05424	2.84476	0.47223	0.12335	--	0.00473
Maximo	435.543	29.23	1.164	69.46	3.475	0.503	--	0.034
Minimo	189.873	23.06	1.057	64.24	2.601	0.257	--	0.025
Rango	245.670	6.17000	0.10700	5.22000	0.87400	0.24600	--	0.00900

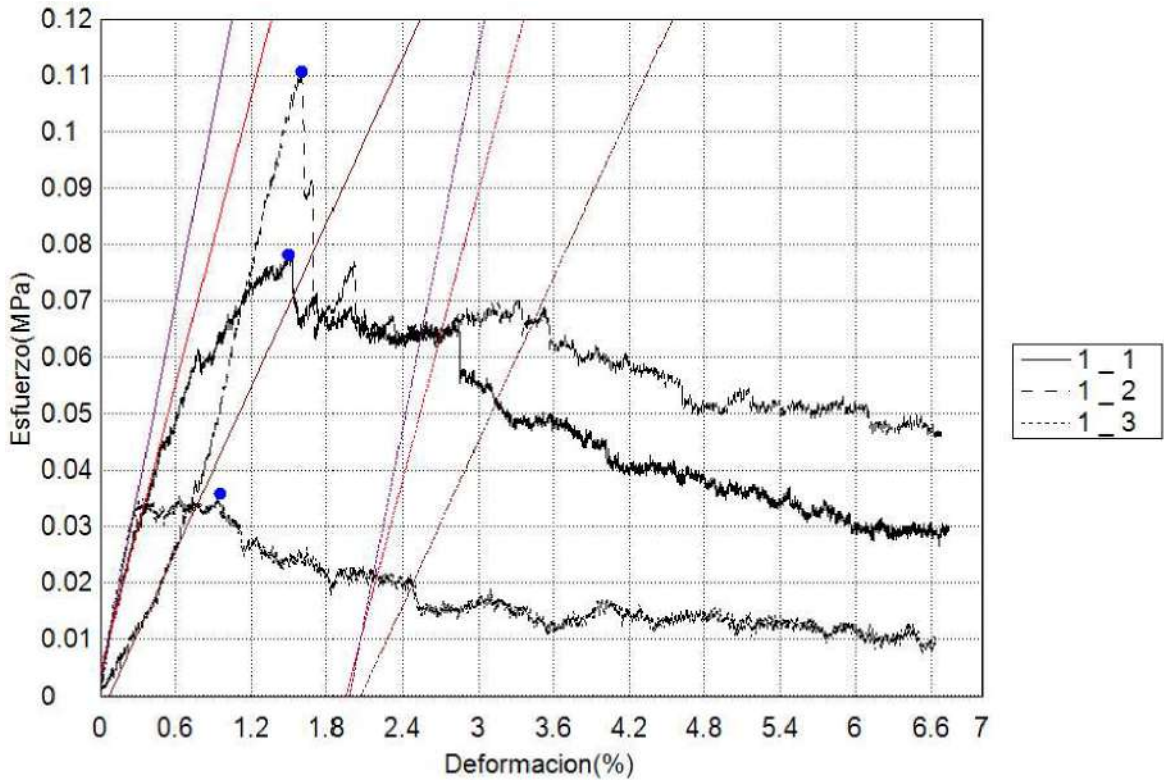
2ML - Aglomerado de PVA (media densidad) y lixiviado - 50:50



Prueba mecánica muestras 2ML. Elaboración propia.

Nombre	M. Elastico	LimiteElastico1_Fuerza	LE1_Esfuerzo	Max. Fuerza	Max. Esfuerzo	Max. Desplazamiento	Rotura_Esfuerzo	Energia 1
Parametros	Esfuerzo 0.3 - 0.8 MPa	2 %	2 %	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Sensibilidad 10	Calc. at Entire Areas
Unidad	MPa	N	MPa	N	MPa	mm	MPa	J
1_1	--	--	--	22.56	0.723	0.388	--	0.016
1_2	221.471	20.73	1.171	49.76	2.812	0.426	--	0.026
1_3	118.936	30.45	1.471	35.86	1.732	0.530	--	0.033
Media	170.204	25.59	1.321	36.06	1.756	0.448	--	0.025
Desviacion Estandar	72.5032	6.87308	0.21213	13.6011	1.04470	0.07351	--	0.00854
Maximo	221.471	30.45	1.471	49.76	2.812	0.530	--	0.033
Minimo	118.936	20.73	1.171	22.56	0.723	0.388	--	0.016
Rango	102.535	9.72000	0.30000	27.2000	2.08900	0.14200	--	0.01700

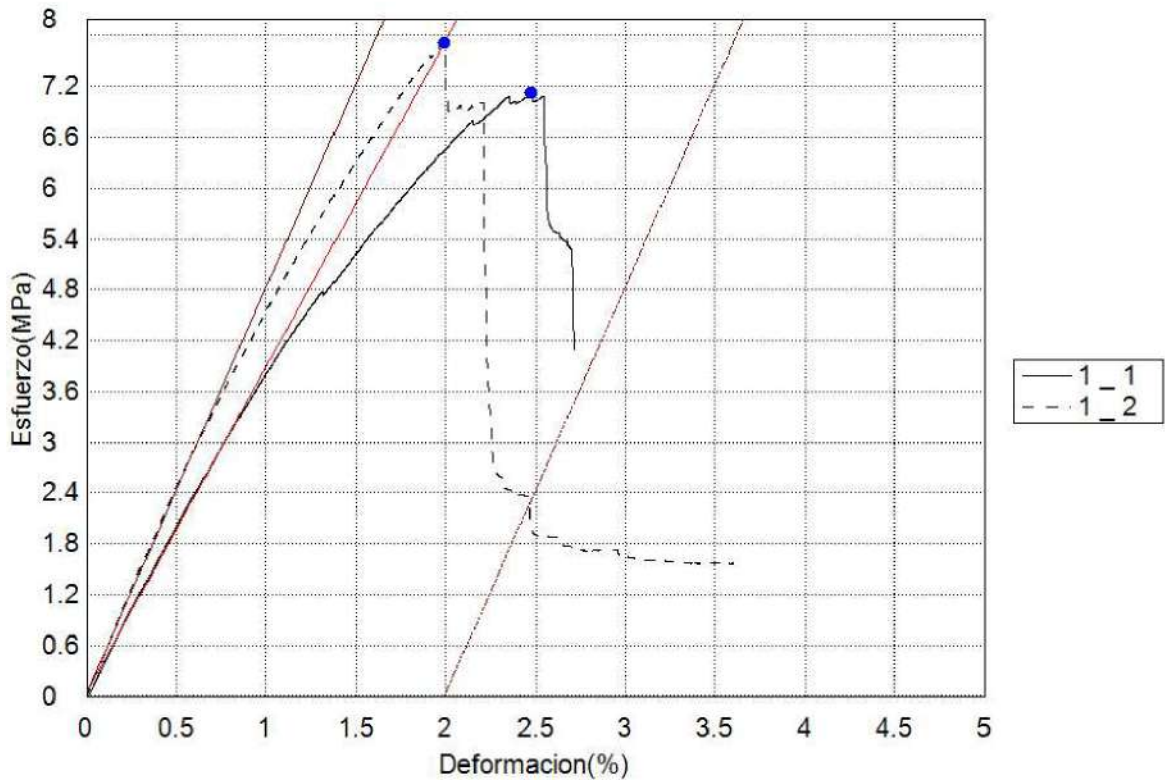
3ML - Aglomerado de PVA (media densidad) y lixiviado - 70:30



Prueba mecánica muestras 3ML. Elaboración propia.

Nombre	M. Elastico	LimiteElastico1_Fuerza	LE1_Esfuerzo	Max. Fuerza	Max. Esfuerzo	Max. Desplazamiento	Rotura Esfuerzo	Energia 1
Parámetros	Esfuerzo 0.01 - 0.03 MPa	2 %	2 %	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Sensibilidad 10	Calc. at Entire Areas
Unidad	MPa	N	MPa	N	MPa	mm	MPa	J
1_1	8.502	2.27	0.063	2.84	0.078	0.374	--	0.003
1_2	4.853	2.47	0.066	4.14	0.110	0.400	--	0.004
1_3	11.204	0.72	0.021	1.24	0.036	0.238	--	0.001
Media	8.186	1.82	0.050	2.74	0.075	0.337	--	0.003
Desviación Estándar	3.18725	0.95786	0.02516	1.45258	0.03711	0.08700	--	0.00153
Maximo	11.204	2.47	0.066	4.14	0.110	0.400	--	0.004
Minimo	4.853	0.72	0.021	1.24	0.036	0.238	--	0.001
Rango	6.35100	1.75000	0.04500	2.90000	0.07400	0.16200	--	0.00300

1A - Aglomerado de PVA (alta densidad)

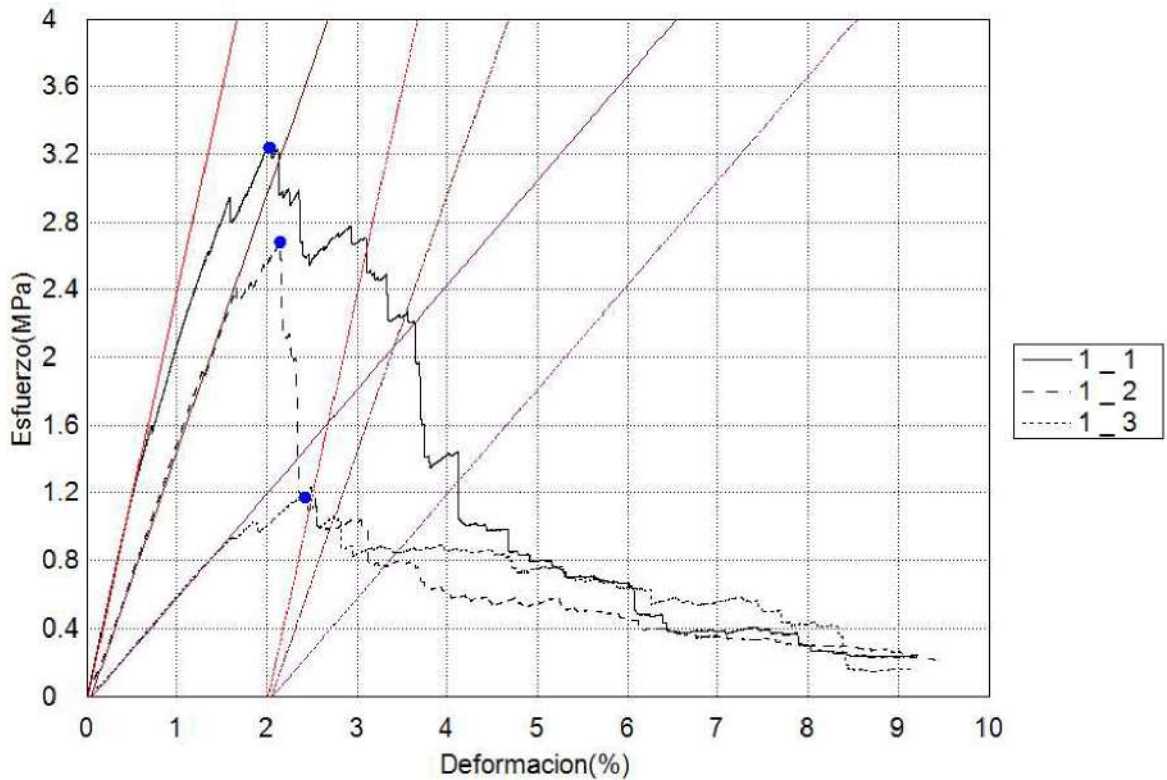


Prueba mecánica muestras 1A. Elaboración propia.

Nombre	LE1_Esfuerzo	Max._Esfuerzo	Rotura_Esfuerzo	M.Elastico	PF(%FS)_Esfuerzo	PF(%FS)_Desplazamiento	PF(%FS)_Deformacion
Parametros	0.2 %	Calc. at Entire Areas	Nivel(%/Max) 50	Esfuerzo 0.1 - 1.5 MPa	0.1 %	0.1 %	0.1 %
Unidad	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	mm	%
1_1	4.610	5.841	--	340.368	--	--	--
Media	4.610	5.841	--	340.368	--	--	--
Desviacion Estandar	--	--	--	--	--	--	--
Maximo	4.610	5.841	--	340.368	--	--	--
Minimo	4.610	5.841	--	340.368	--	--	--
Rango	0.00000	0.00000	--	0.00000	--	--	--

Nombre	Max._Deformacion	LE1_Deformacion	Rotura_Deformacion	Max_Displ_Esfuerzo	Max_Displ_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	0.2 %	Nivel(%/Max) 50		
Unidad	%	%	%	MPa	%
1_1	2.263	1.549	--	5.841	2.263
Media	2.263	1.549	--	5.841	2.263
Desviacion Estandar	--	--	--	--	--
Maximo	2.263	1.549	--	5.841	2.263
Minimo	2.263	1.549	--	5.841	2.263
Rango	0.00000	0.00000	--	0.00000	0.00000

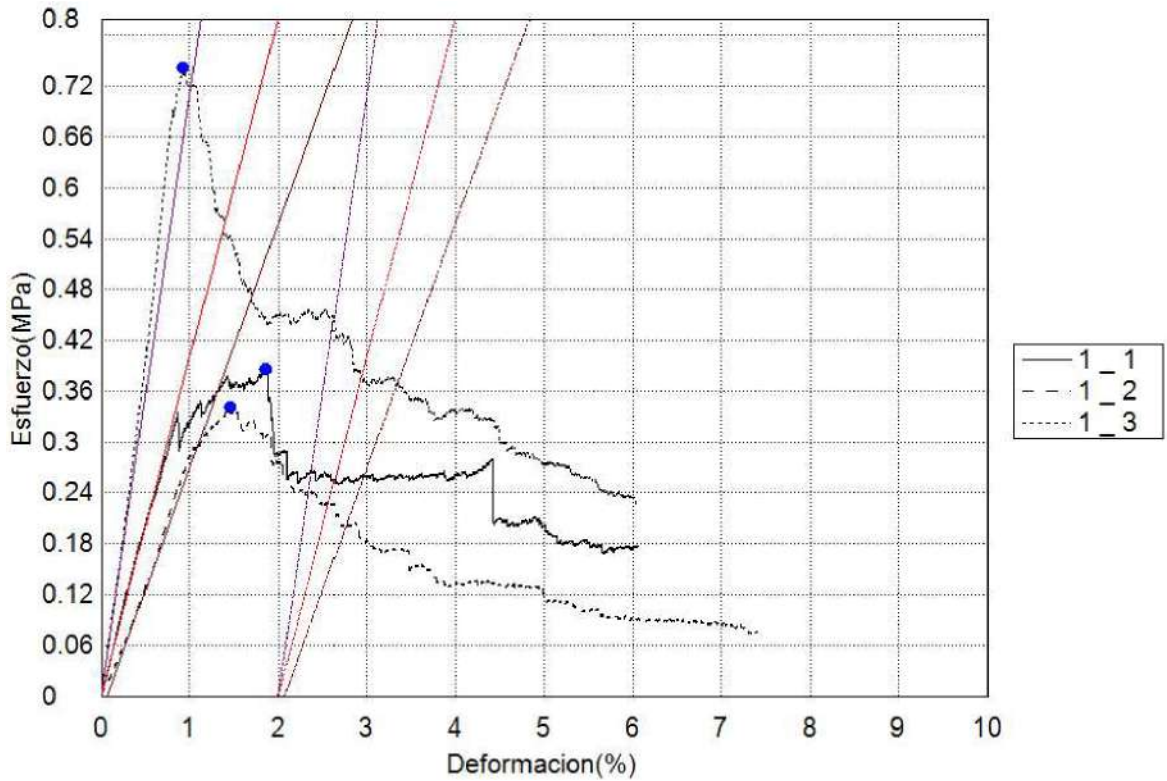
2AL - Aglomerado de PVA (alta densidad) y lixiviado - 50:50



Prueba mecánica muestras 2AL. Elaboración propia.

Nombre	M. Elastico	LimiteElastico1 Fuerza	LE1_Esfuerzo	Max. Fuerza	Max. Esfuerzo	Max. Desplazamiento	Rotura Esfuerzo	Energia 1
Parámetros	Esfuerzo 0.3 - 0.8 MPa	2 %	2 %	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Sensibilidad 10	Calc. at Entire Areas
Unidad	MPa	N	MPa	N	MPa	mm	MPa	J
1_1	241.303	45.84	2.641	56.21	3.239	0.509	--	0.050
1_2	151.800	17.46	0.988	47.37	2.681	0.535	--	0.032
1_3	61.670	15.15	0.844	21.06	1.173	0.606	--	0.027
Media	151.591	26.15	1.491	41.55	2.364	0.550	--	0.036
Desviación Estándar	89.8167	17.0911	0.99853	18.2843	1.06878	0.05021	--	0.01210
Maximo	241.303	45.84	2.641	56.21	3.239	0.606	--	0.050
Minimo	61.670	15.15	0.844	21.06	1.173	0.509	--	0.027
Rango	179.633	30.6900	1.79700	35.1500	2.06600	0.09700	--	0.02300

3AL - Aglomerado de PVA (alta densidad) y lixiviado - 70:30



Prueba mecánica muestras 3AL. Elaboración propia.

Nombre	M. Elastico	LimiteElastico1_Fuerza	LE1_Esfuerzo	Max._Fuerza	Max._Esfuerzo	Max._Desplazamiento	Rotura_Esfuerzo	Energia_1
Parámetros	Esfuerzo 0.06 - 0.18 MPa	2 %	2 %	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Sensibilidad 10	Calc. at Entire Areas
Unidad	MPa	N	MPa	N	MPa	mm	MPa	J
1_1	39.926	8.16	0.254	12.40	0.386	0.464	--	0.012
1_2	28.885	6.98	0.199	11.96	0.341	0.363	--	0.010
1_3	70.633	13.98	0.440	23.59	0.742	0.233	--	0.018
Media	46.481	9.71	0.298	15.98	0.490	0.353	--	0.013
Desviación Estándar	21.6322	3.74755	0.12629	6.59124	0.21968	0.11580	--	0.00416
Maximo	70.633	13.98	0.440	23.59	0.742	0.464	--	0.018
Minimo	28.885	6.98	0.199	11.96	0.341	0.233	--	0.010
Rango	41.7480	7.00000	0.24100	11.6300	0.40100	0.23100	--	0.00800

Bocetos propuesta de diseño

